

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SUL DE MINAS GERAIS – CÂMPUS MACHADO**

Lucas Costa Moterani

**Persistência de indaziflam no solo e controle de plantas
daninhas**

**MACHADO - MG
2017**

Lucas Costa Moterani

Persistência de indaziflam no solo e controle de plantas daninhas

Monografia apresentada ao IFSULDEMINAS – Campus Machado, como Trabalho de Conclusão de Curso, parte das exigências do curso de Engenharia Agrônômica para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Saul Jorge Pinto de Carvalho

**MACHADO - MG
2017**

Lucas Costa Moterani

Persistência de indaziflam no solo e controle de plantas daninhas

Monografia apresentada ao IFSULDEMINAS – Campus Machado, como Trabalho de Conclusão de Curso, parte das exigências do curso de Engenharia Agrônômica para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: _____
Prof. Saul Jorge Pinto de Carvalho

Membros: _____
Prof. Wellington Marota Barbosa

Prof. André Delly Veiga

**MACHADO - MG
2017**

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu avô Acélio Luiz Costa por ser quem sempre foi, um professor, um pai, um exemplo de agricultor e meu melhor amigo, eu tenho um orgulho eterno de o ter conhecido, de ter crescido ao seu lado, nunca vou esquecer de cada detalhe, de cada mania, de cada gesto. Você está gravado no meu coração, você foi e sempre será um exemplo para mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Maria Teresinha Costa e meus irmãos, Eduardo Costa Moterani e Jessica Costa Moterani, por todo carinho, incentivo e amparo na vida e nesta jornada.

Agradeço ao José Luiz Dias, por ter sido um exemplo de pessoa, de agricultor, além de ser um parceiro, um amigo, um conselheiro e um pai.

Ao meu orientador Saul Jorge Pinto de Carvalho, sempre presente em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho, pela atenção, paciência e conhecimentos compartilhados.

Aos integrantes do GAPE Matologia do IFSULDEMINAS – Campus Machado, pela parceria e companheirismo em nossos projetos.

Ao IFSULDEMINAS – Campus Machado e todos os seus funcionários, pelas oportunidades oferecidas e por ceder a estrutura para desenvolver experimentos.

RESUMO

O Brasil tem se destacado como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Neste ambiente de produção, diversos fatores afetam negativamente a produtividade e, dentre estes, a interferência imposta pelas plantas daninhas. Dentro das condições encontradas em campo, o herbicida indaziflam se torna opção no controle destas plantas. Assim, esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a persistência do herbicida indaziflam no solo, quando aplicado em pré-emergência, bem como o controle de corda-de-viola (*Ipomoea purpurea*, *I. hederifolia*, *I. nil*, *I. quamoclit*) e caruru (*Amaranthus viridis*). Para tanto, o experimento foi desenvolvido testando diferentes doses de indaziflam aplicadas em parcelas representadas por vasos plásticos com capacidade de 4,0 L preenchido com solo argiloso peneirado, em casa de vegetação. As sementeiras das espécies foram realizadas em zero, 30 e 60 dias após aplicação (DAA), sendo as duas últimas sementeiras na intenção de simular a reinfestação das parcelas. Avaliou-se o controle percentual e a massa seca presente nas parcelas aos 30, 60 e 90 DAA. Os dados foram analisados por meio de aplicação do teste F na análise da variância, seguido do teste de agrupamento de médias de Scott-Knott. Todas as análises estatísticas foram realizadas adotando-se o nível de 5% de significância. O herbicida indaziflam promoveu pleno controle de todas as plantas daninhas aos 30 DAA. Detectou-se efeito residual do produto aos 90 DAA, com controle diferenciado sobre as espécies. O comportamento do herbicida no solo é muito variável na literatura, sendo necessários maiores estudos.

Palavras-chave: Herbicida; *Ipomoea*; *Amaranthus*; pré-emergência.

ABSTRACT

Brazil has stood out as the world's largest producer of sugarcane (*Saccharum* spp.). In this production environment, several factors negatively affect productivity and, among them, the interference imposed by weeds. Within the conditions found in the field, the indaziflam herbicide becomes an option in the control of these plants. Thus, this work was carried out with the objective of evaluating the persistence of the indaziflam herbicide in the soil, when applied in pre-emergence, as well as the control of morning glory (*Ipomoea purpurea*, *I. hederifolia*, *I. nil*, *I. quamoclit*) and pigweed (*Amaranthus viridis*). For this, the experiment was developed by testing different doses of indaziflam applied in plots represented by plastic pots with capacity of 4,0 L filled with sifted clayey soil, under greenhouse conditions. Seeds were seeded at zero, 30 and 60 days after application (DAA), with the last two sowings in order to simulate reinfestation of the plots. The percentage control and the dry mass present in the plots at 30, 60 and 90 DAA were evaluated. Data were analyzed by applying the F-test on the analysis of variance, followed by the Scott-Knott averages clustering test. All the statistical analyzes were carried out adopting the level of 5% of significance. The indaziflam herbicide promoted full control of all weeds at 30 DAA. The residual effect of the product was detected at 90 DAA, with differential control over the species. The behavior of the herbicide in the soil is very variable in the literature, and further studies are needed.

Key words: Herbicide; *Ipomoea*; *Amaranthus*; preemergence.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 <i>Ipomoea</i>	10
2.2 <i>Amaranthus</i>	11
2.3 Indaziflam	12
2.4 Características físico-químicas e relação molécula-solo	14
2.4.1 Solubilidade em água (S_w):	14
2.4.2 Coeficiente de partição octanol-água (K_{ow})	14
2.4.3 Constante de ionização ácido (pK_a) ou base (pK_b)	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5 CONCLUSÕES	23
6 REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil tem se destacado como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Somente na safra de 2016, foram cultivados mais de 10 milhões de hectares. Em termos de produção, foram obtidos 728 milhões de toneladas em 2016, com estimativa de produção semelhante de cana-de-açúcar em 2017 (IBGE, 2017). Neste ambiente de produção, existem diversos fatores que podem afetar negativamente a produtividade. Um dos fatores mais importantes é a interferência imposta pelas plantas daninhas, o que torna o manejo adequado de importância fundamental para a redução das perdas e para a lucratividade do segmento agrícola (CHRISTOFFOLETI et al., 2006).

As plantas daninhas produzem grande quantidade de sementes viáveis e de longa durabilidade, com dormência desuniforme e adaptações para disseminação a curta e longa distância (AMIM et al., 2016). Para reduzir o problema de infestação surgiram, desde meados de 1950, grupos químicos de agentes herbicidas com o propósito de controlar plantas (FOLONI, 2016). O método químico para controle de plantas daninhas é o preferido dos produtores na cultura da cana-de-açúcar, em razão do menor custo, maior eficácia, grande extensão das áreas agrícolas, escassez de mão de obra e disponibilidade de registro de diversos produtos (MOREIRA et al., 2010, RAIMONDI et al., 2010; MONQUERO et al., 2008).

O controle químico na cana-de-açúcar é baseado na aplicação de herbicidas em pré-emergência das plantas daninhas e da cultura (CHRISTOFFOLETI e LÓPEZ-OVEJERO, 2005). Ainda, como no manejo da cana as áreas devem ser mantidas desinfestadas por longos períodos, tem-se a necessidade de utilização de herbicidas com ação residual prolongada (CARVALHO et al., 2012). Assim, faz-se necessária a utilização de produtos que atendam tais condições. Dentre as opções de produtos registrados para a cultura está o indaziflam, registrado no Brasil em janeiro de 2016, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Um herbicida de baixa solubilidade em água, para o controle de plantas daninhas nas culturas de cana-de-açúcar, café e *Citrus* (AMIM et al., 2016). O herbicida possui elevado período residual no solo, podendo ser superior a 150 dias, persistindo no solo por maior período que outros produtos pré-emergentes (KAAPRO e HALL, 2012).

Segundo Campos et al. (2009), a flora infestante dos canaviais tem se alterado com a suspensão do uso do fogo para queima. Com a colheita da cana sem queima (cana-crua), houve a seleção de espécies com capacidade para germinar sob a camada de palha, com destaque, entre outras, para plantas do gênero *Ipomoea*. Ainda, de acordo com Raimondi et al. (2010), espécies de *Amaranthus* vem se tornando problema nas áreas agrícolas do cerrado brasileiro, onde os produtores têm encontrado dificuldade no seu controle.

Comumente, espécies do mesmo gênero ou família de plantas não respondem de maneira uniforme à aplicação herbicidas, caracterizando a susceptibilidade diferencial das espécies (CHRISTOFFOLETI et al., 2006; CARVALHO et al., 2006). Assim, informações que relacionem o período da atividade residual de herbicidas com a eficácia sobre diferentes espécies são importantes e facilitam a tomada de decisão em um sistema de produção, de forma a obter controles satisfatórios com possível economia de herbicida e redução de custos (CAMPOS et al., 2009).

Assim, esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a persistência do herbicida indaziflam no solo, quando aplicado em pré-emergência, bem como o controle de plantas daninhas do gênero *Ipomoea* e *Amaranthus*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gênero *Ipomoea*

Em geral, as espécies da família *Convolvulaceae* são plantas nativas da América do Sul, onde são encontradas infestando lavouras, especialmente em culturas anuais de verão das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. *Ipomoea* é o gênero que mais se destaca no âmbito da família, com 600-700 espécies, no mundo. Dentre as espécies do gênero, existem diversas plantas daninhas que são importantes infestantes, destacando-se *I. hederifolia*, *I. quamoclit*, *I. purpurea*, *I. triloba* e *I. nil* (DUARTE et al., 2008).

Conhecidas popularmente por corda-de-viola, as espécies do gênero *Ipomoea* têm ciclo biológico longo, terminando após a maturação das culturas. Ainda, seus ramos se fixam aos colmos das plantas de cana-de-açúcar, tendendo assim a causar problemas na colheita e tratos culturais (KISSMANN e GROTH, 1999; LORENZI, 2000). Estas espécies também podem influenciar negativamente nos tratos culturais de outras culturas, principalmente mecanizados, como soja e milho; sendo considerada uma séria infestante em culturas tanto perenes quanto anuais. Vários pesquisadores também afirmam que a corda-de-viola pode causar reduções do número final de colmos e de produtividade para cana-de-açúcar, no sistema de cana crua (KUVA, 2006; PROCÓPIO, SILVA e VARGAS, 2008; NICOLAI, 2009; PERIM et al., 2009). De acordo com Silva et al. (2009), o potencial de redução do número de colmos e da produtividade é superior a 30 e 40%, respectivamente.

Correia e Durigan (2004) verificaram que 5, 10 e 15 t ha⁻¹ de palha sobre a superfície do solo inibiram a emergência de plântulas de *Brachiaria decumbens* e *Sida spinosa*; essa mesma camada de palha também inibiu a emergência de *Digitaria horizontalis*. No entanto, as espécies *Ipomoea grandifolia* e *I. hederifolia* mantiveram-se como plantas problema, não sofrendo alteração no número de plântulas emergidas; ainda, a presença de palha sobre o solo incrementou a emergência de plântulas de *I. quamoclit*.

2.2 Gênero *Amaranthus*

Espécies do gênero *Amaranthus* vêm se tornando problema, principalmente nas áreas de produção do cerrado brasileiro. *Amaranthus* spp., ou caruru, como são popularmente conhecidos, têm por característica a agressividade de crescimento e desenvolvimento, além de possuírem boa competitividade e poder depreciativo do produto a ser comercializado, como no caso da cultura do algodoeiro (JHA et al., 2008). Esta alta competitividade das espécies desse gênero pode estar relacionada com o ciclo de assimilação de carbono C4, com a velocidade e tempo de germinação, a velocidade de crescimento e a alta densidade de infestação (CARVALHO e CHRISTOFFOLETI, 2008).

O gênero compreende aproximadamente 60 espécies sendo que, dentre estas, algumas são mais comumente encontradas nos campos de produção agrícola, como *A. hybridus*, *A. lividus*, *A. spinosus* e *A. viridis* (CARVALHO et al., 2006; WISE et al., 2009). Ainda, são encontradas algumas espécies de interesse agrônomo que possuem elevado valor nutricional, como *A. caudatus*, *A. cruentus* e *A. hypochondriacus*. Porém, embora alguns aspectos relacionados ao gênero sejam positivos, a característica mais reconhecida está relacionada com as espécies que têm potencial competitivo com diversas culturas (CARVALHO e CHRISTOFFOLETI, 2007).

Nos Estados Unidos, por exemplo, em algumas regiões o caruru é considerado a terceira planta daninha problema em importância, quando em relação à necessidade de controle e interferência nas culturas (RAIMONDI et al., 2010). *A. viridis*, ou caruru-de-mancha, é encontrada nas regiões tropicais e subtropicais; sua presença já foi relatada em mais de 50 culturas, em mais de 80 países (CHAUHAN e JOHNSON, 2009). A espécie possui rápida germinação, curto ciclo de desenvolvimento e grande capacidade reprodutiva, o que a torna extremamente agressiva (AGUYOH e MASIUNAS, 2003).

2.3 Indaziflam

O indaziflam, (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6- [(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine), cuja fórmula estrutural está apresentada na Figura 1, é um herbicida de amplo espectro de ação e eficácia duradoura, mesmo quando utilizado em baixas dosagens para uso em pré ou pós emergência inicial e pode controlar tanto monocotiledôneas quanto dicotiledôneas. Foi primeiramente registrado em 2010 nos Estados Unidos para uso não-agrícola (KAAPRO e HALL, 2012). No Canadá, possui registro para o controle de plantas daninhas em áreas cultivadas com espécies frutíferas como maçã, pera, pêssigo, citros, uva e nozes (BAYER, 2012). No Brasil, este herbicida está registrado para as culturas da cana-de-açúcar, *Citrus* e café.

Este herbicida pertence à nova classe alkylazine, de inibidores da biossíntese de celulose. O mecanismo de ação ainda não está totalmente detalhado, mas sabe-se que age evitando que novas células da parede celular sejam formadas, resultando em não desenvolvimento e crescimento da planta (KAAPRO e HALL, 2012). O indaziflam inibe a deposição de cristais na parede celular afetando sua formação, divisão e o alongamento das células. Portanto, folhas já desenvolvidas serão pouco ou dificilmente afetadas pela ação deste herbicida e seu controle em pós-emergência torna-se comprometido (BROSNAN et al., 2012).

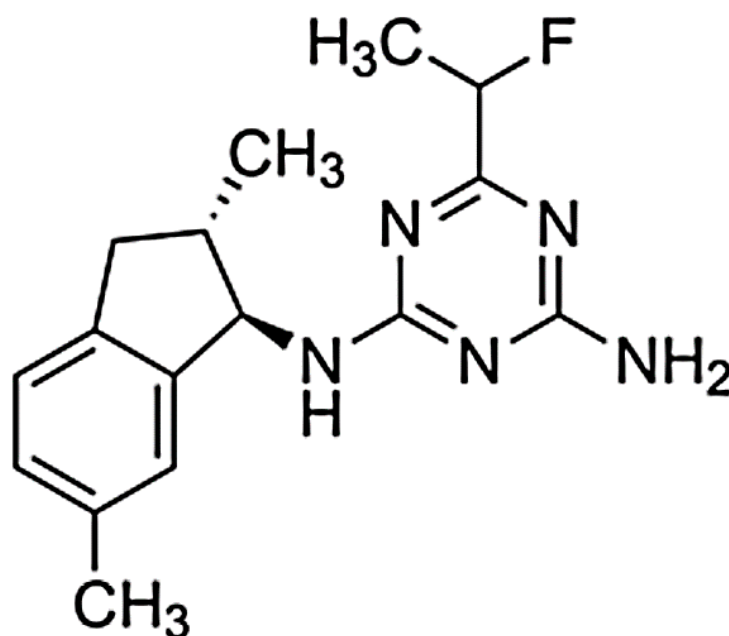


Figura 1: Fórmula estrutural da molécula de indaziflam.(SIGMA-ALDRICH, 2017)

No Brasil, alguns estudos vêm demonstrando que o uso de doses de indaziflam superiores a 100 g ha^{-1} em pré-emergência para controle das espécies *Ageratum conyzoides* (mentrasto), *Sida rhombifolia* (guanxuma), *Digitaria horizontalis* (capim-colchão) e *Bidens pilosa* (picão-preto) resultaram em controle satisfatório por até 120 dias após aplicação (CHRISTOFFOLETI et al., 2012; NICOLAI et al., 2012).

Após a aplicação de um herbicida, o mesmo passa por diversos processos até sua degradação e desaparecimento na natureza. O comportamento e o destino de herbicidas no ambiente estão diretamente relacionados com características próprias da molécula (estrutura molecular e características físico-químicas) e do ambiente (temperatura, umidade, tipo de solo, chuva, matéria orgânica) (GEBLER e SPADOTTO, 2004).

Assim, para minimizar os impactos e riscos de contaminação ambiental, bem como evitar problemas de redução na eficácia agrônômica dos herbicidas, é necessário avaliar todas as variáveis envolvidas no seu comportamento no solo (MARCHESE, 2007). Uma vez aplicada, a molécula de herbicida pode seguir destinos distintos no ambiente, influenciados por processos como a retenção da molécula no solo, o transporte (por lixiviação ou escoamento superficial), a degradação (química e/ou biológica) e a absorção pelas plantas, bem como por mais de um processo simultaneamente (PRATA, 2002; MANCUSO, NEGRISOLI e PERIM, 2011), que irão determinar sua persistência no ambiente.

Em relação às suas características físico-químicas, segundo Tompkins (2010), o indaziflam possui baixa solubilidade em água ($0,0028 \text{ kg m}^{-3}$ a 20 °C), coeficiente de sorção normalizado para MOS (K_{oc}) $< 1.000 \text{ mL g}^{-1}$ de carbono orgânico, a constante de ionização base (pK_b) = 3,5 e o coeficiente de partição octanol-água ($\log K_{ow}$) de 2,8, em pH 4;7 ou 9. Quanto menor a solubilidade em água do herbicida, maior será a afinidade da molécula pela matéria orgânica do solo (MOS), que é o principal sítio de retenção de herbicidas com baixa solubilidade em água, devido à alta CTC e característica lipofílica (KAWAMOTO e URANO, 1989), bem como ser retido pelos coloides de argila (ROCHA et al., 2013).

2.4 Características físico-químicas e relação molécula-solo

2.4.1 Solubilidade em água (S_w):

A solubilidade em água é a massa máxima da molécula que pode ser dissolvida em determinado volume de água pura, a determinada temperatura. Seu valor é expresso em miligramas do herbicida por litro de água, geralmente a 25°C (OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). É a propriedade física mais importante relacionada ao transporte e ao destino de moléculas orgânicas em sistemas aquáticos e, também, é um dos determinantes do coeficiente de sorção ao solo (CHIOU et al., 1986). Pode ser diretamente relacionada com a potencialidade de lixiviação da molécula e, ainda, Kawamoto e Urano (1989) observaram que quanto maior a solubilidade em água menor será a afinidade da molécula pela matéria orgânica (K_{oc}).

2.4.2 Coeficiente de partição octanol-água (K_{ow})

É a relação entre a concentração do pesticida na fase de octanol saturado em água e sua concentração na fase aquosa saturada em octanol (ARSEGO, 2009). Refere-se à afinidade da molécula pela fase polar (água) e apolar (octanol), medindo a lipofilicidade da molécula. Valores de K_{ow} são expressos, normalmente, na forma logarítmica ($\log K_{ow}$), sem unidade (OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011).

De forma geral:

Valores de $\log K_{ow} > 4,0$ são consideradas lipofílicas (não polares) e são fortemente adsorvidas à matéria orgânica, apresentando baixa mobilidade no solo.

Valores de $\log K_{ow} < 1,0$ são mais solúveis em água (moléculas polares), apresentando pouca atração pela matéria orgânica do solo e possuem baixa capacidade de adsorção e acumulação no solo (LAVORENTI, PRATA e REGITANO, 2003).

2.4.3 Constante de ionização ácido (pK_a) ou base (pK_b)

Representa a maior ou a menor tendência de uma molécula (ácido ou base fraca) em se ionizar. Os valores dessas constantes indicam dentro de qual faixa de pH o pesticida se ionizará. Por ser relacionado ao pH, tem se usado, preferencialmente, a forma logarítmica da constante K, ou seja, o potencial da constante de ionização representado por " $pK = -\log K$ ". Esse fator é muito importante, pois as formas ionizadas de pesticidas se comportam diferentemente das não

ionizadas - moleculares ou neutras (PRATA, 2002). Segundo Oliveira e Brighenti (2011), conforme a constante de ionização, os herbicidas podem ser classificados em herbicidas ácidos ou básicos, cujas formas moleculares são capazes de formar ânions ou cátions, respectivamente:

De forma geral, para os herbicidas ácidos, quanto maior o pK_a , menor sua força ácida e menores são as chances de a molécula ficar aniônica. Ao contrário, para os herbicidas básicos, quanto menor o pK_a' , menor sua força básica e menores são as chances de a molécula ficar catiônica. Na forma aniônica, o herbicida terá mais chances de ser transportado livremente através da solução do solo, já na forma catiônica (herbicidas básicos) terá maior tendência de adsorção ao solo e não ser transportado para outras partes do ambiente (OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, IFSULDEMINAS, Campus Machado (21° 40' S; 45° 55' W; 850 m de altitude), entre março e julho de 2017. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico com capacidade para 4,0 L, preenchido com solo argiloso peneirado, coletado em um LATOSSOLO Vermelho-Amarelo (Tabela 1) (Figura 2). Os tratamentos constaram de diferentes doses do herbicida indaziflam, a saber (g ha⁻¹): 50, 75 e 100, além de testemunha sem aplicação; totalizando quatro tratamentos.

A dose proporcional a cada tratamento foi aplicada sobre 24 vasos, resultando em 96 vasos. Esta medida foi tomada para permitir a semeadura de sucessivos fluxos de plantas daninhas em vasos que receberam a mesma dose inicial, mantidos sob irrigação diária, sem déficit hídrico. Portanto, para cada data de semeadura foram considerados quatro tratamentos e quatro repetições, ou seja, 16 parcelas experimentais. Nos fluxos sucessivos, foram distribuídas sementes de corda-de-viola (*Ipomoea purpurea*, *I. hederifolia*, *I. nil*, *I. quamoclit*) e caruru (*Amaranthus viridis*). Para as espécies de corda-de-viola, foram distribuídas 20 sementes por vaso; para o caruru, foram distribuídos 0,25 g de sementes por vaso.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do solo utilizado no experimento (LATOSSOLO Vermelho Amarelo). Machado, 2017

Análise Físico-Granulométrica									
Areia						Argila	Silte	Floculação	Classe Textural:
Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total				
g kg ⁻¹						---			Argilosa
12	37	70	149	64	332	529	139	100	
Análise Química ⁽¹⁾									
CaCl ₂	pH KCl	H ₂ O	M.O.	P		CTC			
5,6	5,7	5,8	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			
			15,7	3,0		21,0			
K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V	m		
mg dm ⁻³	-----		cmol _c dm ⁻³		-----		%		
28	0,4	0,8	0,1	0,8	1,3	61,9	7,14		

⁽¹⁾M.O. – Matéria orgânica; CTC – Capacidade de troca catiônica; SB – soma de bases; V - saturação por bases; Laboratório de Análise de Solos – ESALQ/USP, Piracicaba – SP.



Figura 2. Parcelas do experimento nos primeiros dias após a instalação. Machado - MG, 2017

As pulverizações foram realizadas em 31/03/2017, direcionadas à superfície do solo, com auxílio de um pulverizador costal de precisão, pressurizado por CO₂, acoplado a barra com ponta única XR TeeJet 110.02, posicionada a 0,50 m dos alvos, com consumo relativo de calda de 200 L ha⁻¹. Após as pulverizações, sementes das plantas daninhas foram distribuídas aos vasos, separadamente por espécies. As semeaduras foram realizadas em zero, 30 e 60 dias após a aplicação (DAA), sendo as duas últimas semeaduras na intenção de simular a reinfestação das parcelas.

Aos 30 dias após cada semeadura, avaliou-se o controle percentual, bem como a massa seca residual presente em cada parcela. Para avaliação de controle, foram atribuídas notas variáveis entre zero e 100, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 representou a morte das plantas (Figura 3). A massa vegetal foi obtida a partir da colheita do material vegetal remanescente nas parcelas, com secagem em estufa a 70°C por 72 horas.

Os dados foram analisados por meio de aplicação do teste F na análise da variância, seguido do teste de agrupamento de médias de Scott-Knott. Todas as análises estatísticas foram realizadas adotando-se o nível de 5% de significância.



Figura 3. Parcelas do experimento com plântulas já emergidas, a exemplificar discrepância da eficácia do herbicida indaziflam entre tratamentos. Machado - MG, 2017

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira avaliação, realizada aos 30 DAA, relativa às plantas semeadas no dia das pulverizações, todas as doses de indaziflam promoveram controle de 100% de todas as espécies, com ausência de massa seca residual. Aos 60 DAA, avaliando-se o controle de *I. purpurea* e *I. hederifolia* semeadas aos 30 DAA (Tabela 2), foi detectado apenas efeito de doses de indaziflam, resultando em valor aproximado de 80% de controle, bem como massa de matéria seca inferior à testemunha sem aplicação (Tabela 3).

Tabela 2. Controle¹ de *Ipomoea purpurea* e *I. hederifolia* avaliado aos 60 dias após aplicação (DAA) do herbicida indaziflam, para plantas semeadas aos 30 DAA. Machado, 2017

Indaziflam (g ha ⁻¹)	Espécie		Média
	<i>I. purpurea</i>	<i>I. hederifolia</i>	
Testemunha	0,0	0,0	0,0 B
50	80,0	82,0	81,0 A
75	82,5	80,0	81,0 A
100	79,5	79,5	79,8 A
CV (%) = 13,12	F _{int} = 8,79 ^{NS}	F _{esp} = 0,02 ^{NS}	F _{dose} = 206,45*

¹Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott com 5% probabilidade; *Teste F significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 3. Massa seca residual¹ percentual de *I. purpurea* e *I. hederifolia* avaliada aos 60 dias após aplicação (DAA) do herbicida indaziflam, para plantas semeadas aos 30 DAA. Machado, 2017

Indaziflam (g ha ⁻¹)	Espécie		Média
	<i>I. purpurea</i>	<i>I. hederifolia</i>	
Testemunha	100,0	100,0	100,0 C
50	25,1	16,8	20,9 A
75	38,4	24,4	26,8 B
100	34,8	18,8	31,4 B
Média	49,6 b	40,0 a	--
CV (%) = 16,60	F _{int} = 1,865 ^{NS}	F _{esp} = 13,27*	F _{dose} = 198,55*

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott com 5% probabilidade; *Teste F significativo a 1% de probabilidade.

Aos 90 DAA, avaliando-se plantas semeadas aos 60 DAA, detectou-se interação fatorial de doses e espécies. Neste caso, *A. viridis* e *I. quamoclit* foram controladas adequadamente pelo indaziflam. Em posição intermediária, registrou-se *I. nil*. Os menores valores de controle e, portanto, maior massa residual, foram encontrados para *I. purpurea* e *I. hederifolia* (Tabela 4 e 5).

Tabela 4. Controle¹ de plantas daninhas aos 90 dias após aplicação (DAA) do herbicida indaziflam, para plantas semeadas aos 60 DAA. Machado, 2017

Indaziflam (g ha ⁻¹)	Espécies				
	<i>I. purpurea</i>	<i>I. hederifolia</i>	<i>I. nil</i>	<i>I. quamoclit</i>	<i>A. viridis</i>
Testemunha	0,0 B a	0,0 B a	0,0 B a	0,0 B a	0,0 B a
50	62,5 A c	61,3 A c	79,3 A b	97,5 A a	99,0 A a
75	66,3 A c	66,3 A c	77,5 A b	92,5 A a	99,8 A a
100	70,0 A c	72,5 A c	88,3 A b	97,5 A a	99,5 A a
CV (%) = 11,67	F _{int} = 5,26*		F _{esp} = 42,74*	F _{dose} = 654,99*	

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott com 5% probabilidade; *Teste F significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 5. Massa seca¹ percentual de plantas daninhas aos 90 dias após aplicação (DAA) do herbicida indaziflam, para plantas semeadas aos 60 DAA. Machado, 2017

Indaziflam (g ha ⁻¹)	Espécies				
	<i>I. purpurea</i>	<i>I. hederifolia</i>	<i>I. nil</i>	<i>I. quamoclit</i>	<i>A. viridis</i>
Testemunha	100,0 B a	100,0 B a	100,0 B a	100,0 B a	100,0 B a
50	55,1 A b	46,7 A b	17,2 A a	3,9 A a	0,0 A a
75	47,8 A b	47,8 A b	18,6 A a	14,6 A a	0,0 A a
100	50,3 A b	40,4 A b	6,5 A a	2,5 A a	0,0 A a
CV (%) = 38,46	F _{int} = 2,16*		F _{esp} = 17,91**	F _{dose} = 109,80**	

¹Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott com 5% probabilidade; *Teste F significativo a 5% de probabilidade; **Teste F significativo a 1% de probabilidade.

Para outras espécies, estudos comprovaram a eficácia prolongada em relação a este trabalho. Brosnan, McCollough e Breeder (2011), por exemplo, avaliando o controle de *Digitaria ischaemum* com indaziflam aplicado em diferentes épocas, nas doses 35; 52,5 e 70 g.ia.ha⁻¹, em dois argissolos, um com textura franca, pH de 6,2 e MOS de 2,1% e, outro de textura franco-arenosa, pH de 5,8 e MOS de 2,5%, observaram controle acima de 98% até 105 dias após a aplicação em pré-emergência. Aos 195 dias após o tratamento, o controle foi reduzido, principalmente para as menores doses, porém permanecendo acima de 90% e sem diferença significativa entre as doses. Resultados semelhantes foram obtidos por Perry et al. (2011) com mais de 90% de controle para *D. sanguinalis* aos 203 DAA. Porém, vale ressaltar que esses autores afirmam que o efeito residual do indaziflam sobre o controle das plantas daninhas pode variar em função de diferentes espécies. Vale comentar, ainda, que ambos os trabalhos avaliaram monocotiledôneas, das quais é esperado um

comportamento diferenciado em relação às dicotiledôneas avaliadas no presente trabalho.

Ainda, segundo Ogg Júnior e Dowler (1988), a quantidade de água, proveniente de chuva ou irrigação, aplicada na área após pulverização do herbicida pode afetar a distribuição, movimento, persistência e eficácia do produto, assim como a tolerância da cultura ao herbicida. Assim sendo, em ambiente com menor intensidade de irrigações, é provável que a persistência de indaziflam no solo seja mais prolongada, resultando em um controle efetivo das plantas daninhas por maior tempo.

Jhala e Singh (2012) realizaram teste de comparação entre a lixiviação de diferentes herbicidas, dentre eles o indaziflam. Neste teste, dentre os herbicidas testados, o indaziflam não foi o menos lixiviado, apesar de possuir as características físico-químicas “propensas” para que fosse: com a menor solubilidade em água e coeficiente de adsorção maior que a maioria. Esta afirmação está em acordo com Tompkins (2010), que o classifica como moderadamente móvel a móvel e que a dissipação de indaziflam no ambiente se dá por degradação e lixiviação; seus metabolitos são mais móveis que os de materiais de mesma natureza, sendo detectado em estudos de campo mesmo nas camadas mais profundas amostradas (105 a 120 cm).

Porém, no teste realizado por Jhala e Singh (2012), não houve lixiviação de indaziflam em camadas abaixo de 30 cm da superfície do solo, mesmo em condição de alta precipitação (15 cm ha^{-1}), indicando que a mobilidade de indaziflam é limitada, em consonância com o que sugerem Alonso et al. (2011), que classificam o herbicida como pouco móvel no solo.

É perceptível, com base nas informações apresentadas, que os dados existentes a respeito do comportamento da molécula quando depositada no solo são contrastantes quanto à sua mobilidade, porém, sabe-se que, como importante fator de dissipação de indaziflam no solo, a lixiviação de um herbicida pode ser reduzida com o uso de diferentes formulações e adjuvantes (SHARMA e SINGH, 2007), como é o exemplo da microencapsulação, portanto, são necessárias mais pesquisas nesta direção, afim de entender o seu comportamento em diferentes condições, reduzir sua discutida lixiviação e, conseqüentemente, aumentar sua permanência em atividade na camada superficial.

A eficácia do indaziflam foi reduzida ao longo das avaliações e reinfestações. Sendo a lixiviação do produto duvidosa, torna-se necessário avaliar a potencialidade

de dissipação por outros meios. Seguindo a afirmativa de Tompkins (2010), de que o indaziflam é dissipado principalmente por lixiviação e degradação, é necessário atentar à segunda opção. Normalmente o processo de degradação é mediado por microrganismos capazes de converter essas substâncias em metabólitos, CO₂ e H₂O. Os herbicidas, uma vez no solo, podem ser metabolizados como fonte de carbono e energia pelos microrganismos heterotróficos. Principalmente pelas bactérias e fungos (OECD, 2002), os quais podem encontrar no ambiente quente e úmido da casa de vegetação, a condição ideal para sua atividade e desenvolvimento. Com base nisso, para que se possa ampliar a discussão deste trabalho, é necessária a comparação com futuros trabalhos realizados em condição de campo.

5 CONCLUSÕES

O herbicida indaziflam promoveu pleno controle de todas as plantas daninhas aos 30 DAA. Detectou-se efeito residual do produto aos 90 DAA, com controle diferenciado sobre as espécies.

O comportamento do herbicida no solo é muito variável na literatura, sendo necessários maiores estudos.

6 REFERÊNCIAS

AGUYOH, J. N.; MASIUNAS, J. B. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with snap beans. **Weed Science**, v. 51, n.2, p. 202-207, 2003.

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

AMIM, R.T.; FREITAS, S.P.; FREITAS, I.L.J.; SCARSO, M.F. Banco de sementes do solo após aplicação de herbicidas pré-emergentes durante quatro safras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.10, p.1710-1719, 2016.

ARSEGO, I.B. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. 2009, 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Bayer **Indaziflam**, 15p. Bayer Environmental Science 2012. Disponível em: <https://www.cropscience.bayer.ca/~media/Bayer%20CropScience/Country-Canada-Internet/Products/Alion/Alion%20Herbicide%20Label%20-%20English_October%202014.ashx>. Acessado em: 29 set. 2017.

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

CAMPOS, L.H.F.; FRANCISCO, M.O.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Suceptibilidade de *Ipomoea quamoclit*, *I. triloba*, e *Merremia*

cissoïdes aos herbicidas sulfentrazone e amicarbazone. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.831-840, 2009

CARVALHO, S.J.P.; DIAS, A.C.R.; MINAMIGUCHI, M.H.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.278-285, 2012.

CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Competição de espécies de *Amaranthus* com plantas de feijoeiro. **Scientia Agricola**, v.65, n.3, p.239-245, 2008.

CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Estimativa da área foliar de cinco espécies do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p.317-324, 2007.

CARVALHO, S.J.P.; BUISSA, J.A.R.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-EVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Suscetibilidade diferencial de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* aos herbicidas trifloxysulfuron-sodium e chlorimuron-ethyl. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p.541-548, 2006.

CHAUHAN, B.S.; JOHNSON, D.E. Germination ecology of spiny (*Amaranthus spinosus*) and slender amaranth (*A. viridis*): troublesome weeds of direct-seeded rice. **Weed Science**, v.57, n.3, p.379-385, 2009.

CHIOU, C.T.; MALCOLM, R.L. BRINTON, T.I., KILE, D.E. Water solubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acids. **Environmental Science & Technology**, v.20, n.5, p.502-508, 1986.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; NICOLAI, M.; MELO, M.S.C.; OBARA, F.E.B.; REICHENBACH, J. 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.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; BORGES, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; MONQUERO, P.A. Carfentrazone-ethyl aplicado em pós-emergência para o controle de *Ipomoea spp.* e *Commelina benghalensis* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 83-90, 2006.

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

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. 11-17, 2004.

DUARTE, D.J.; BIANCO, S.; MELO, M.N.; CARVALHO, L.B. Crescimento e nutrição mineral de *Ipomoea nil*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 577-583, 2008.

FOLONI, L.L. Importância nos sistemas de produção agrícola. In: _____ **O Herbicida 2,4 D: Uma visão geral**. Ribeirão Preto: LabCom Total, 2016. p.45-56.

GLEBER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental de herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.57-87.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Indicadores IBGE: Estatística da produção agrícola**. Janeiro de 2017 Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201702.pdf. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

JHA, P.; NORSWORTHY, J.K.; RILEY, M.B.; BIELEBERG, D.G.; BRIDGES JR., W. Acclimation of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) to shading. **Weed Science**, v.56, n.5, p.729-734, 2008.

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

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

KAWAMOTO, K.; URANO, K. Parameters for predicting fate of organochlorine pesticides in the environment (II) Adsorption constant to soil. **Chemosphere**, v. 19, n. 8, p. 1223-1231, 1989.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Paulo: BASF, 1999. v. 2. 978 p.

KUVA, M. A. **Banco de sementes, fluxo de emergência e fitossociologia de comunidade de plantas daninhas em agroecossistema de cana crua**. 2006. 105 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B. Comportamento de pesticidas em solos brasileiros. In: CURI, N; MARQUES, J.J.; GUILHERME, G.L.R.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; AVAREZ V., V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2003. v.3, p.335-400.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 608 p.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p.151- 164, 2011.

MARCHESE L. **Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrine em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto**, 2007. 81 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2007.

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.

MOREIRA, M.S.; MELO, M.S.C.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p.167-175, 2010.

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

NICOLAI, M. **Fluxos de emergência, épocas de aplicação de herbicidas e sistemas de manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar**. 2009. 160 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009

OGG JÚNIOR, A.G.; DOWLER, C.C. Applying herbicides through irrigation systems. In: McWORTHER, C.G.; GEBHARDT, M.R. (Eds.) **Methods of applying herbicides**. Champaign, IL: WSSA, 1988. p.145-164.

OLIVEIRA, M.F., BRIGHENTI, A.M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. INOUE, M.H. (Eds.) **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. p. 263-304.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Aerobic and anaerobic transformation in soil**. 24/04/2002. 17p. (OECD Guideline for Testing of Chemicals, 307).

PERIM, L.; TOLEDO, R.E.B.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S., VELINI, E.D. Eficácia do herbicida amicarbazone no controle em pós-emergência de espécies de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia* e *Merremia cissoides*). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 8, n. 1, p. 19-26, 2009.

PERRY, D.H., MCELROY, J.S., DOROH, M.C., WALKER, R.H. 2011. Indaziflam Utilization for Controlling Problematic Turfgrass Weeds. **Applied Turfgrass Science** v.8. doi:10.1094/ATS-2011-0428-01-RS

PRATA, F. **Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina**. Piracicaba, 2002. 149 p. (Tese Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 780 p.

RAIMONDI, M.A.; OLIVEIRA, R.S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D.F.; ARANTEES, J.G.Z.; FRANCHINI, L.H.; RIOS, F.A.; BLAINSKI, E.; OSIPE, J.B. Atividade residual de herbicidas aplicados ao solo em relação ao controle de quatro espécies de *Amaranthus*. **Planta Daninha**, v. 28, n. esp., p.1073-1085, 2010.

ROCHA, P.R.R.; FARIA, A.T.; BORGES, L.G.F.C.; SILVA, L.O.C.; SILVA, A.A.; FERREIRA, E.A. Sorção e dessorção do diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v.31, n.1, p.231-238, 2013.

SHARMA, S.D.; SINGH, M. Effect of surfactant on leaching of pendimethalin in Florida Candler fine sand. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.78, n.1, p.91-94, 2007.

SIGMA-ALDRICH. **32096 Indaziflam Pestanal®**, analytical standard. Disponível em: <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/32096>> Acesso em 20 de outubro de 2017.

SILVA, I.A.B.; KUVA, M.A.; ALVES, P.L.C.A.; SALGADO, T.P. Interferência de uma comunidade de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* na cana-soca. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 265-272, 2009.

TOMPKINS, J. 2010. **Pesticide Fact Sheet**: Indaziflam. Environmental Protection Agency. Unites States - USEPA. Disponível em: <http://www.epa.gov/opp00001/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-80818_26-Jul-10.pdf> Acessado em: 13 de outubro de 2017.

WISE, A.M.; GREY, T.L.; PROSTKO, E.P.; VENCILL, W.K.; WEBSTER, T.M. Estabilishing the geographical distribution and level of acetolactate synthase resistance of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) accessions in Georgia. **Weed Technology**, v.23, n.2, p.214-220, 2009.