

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**MARIA CAROLINA GOMES PAIVA**

**SORÇÃO E DESSORÇÃO DO HERBICIDA INDAZIFLAM EM SOLOS  
BRASILEIROS**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2017**

**MARIA CAROLINA GOMES PAIVA**

**SORÇÃO E DESSORÇÃO DO HERBICIDA INDAZIFLAM EM SOLOS  
BRASILEIROS**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa como parte das  
exigências para a obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo. Modalidade: Projeto.**

**Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas**

**Coorientadores: Matheus Ferreira França Teixeira**

**Wendel Magno de Souza**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2017**

**MARIA CAROLINA GOMES PAIVA**

**SORÇÃO E DESSORÇÃO DO HERBICIDA INDAZIFLAM EM SOLOS  
BRASILEIROS**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa como parte das  
exigências para a obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo. Modalidade: Projeto.**

APROVADO: 19 de Junho de 2017.

---

Prof. Francisco Cláudio Lopes de Freitas  
(orientador)  
(UFV)

**Dedico a minha mãe Célia e ao meu pai Geraldo, que abdicaram de muitos projetos pessoais para a realização do meu sonho.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por tudo que superei na vida, por me abençoar muito mais do que eu mereço e por Teus planos serem maiores que os meus sonhos.

Agradeço a Nossa Senhora Aparecida por nunca ter me abandonado, sempre iluminando o meu caminho.

Agradeço aos meus pais Célia Regina Gomes Paiva e Geraldo Paiva e ao meu irmão Gustavo Celito Gomes Paiva pelo carinho, apoio e amor incondicional.

Agradeço aos Professores e a toda equipe do Manejo Integrado de Plantas Daninhas pela dedicação, conhecimentos compartilhados e paciência.

Agradeço a todos profissionais do MAPA (Viçosa), em especial a Silvana Rizza pelos ensinamentos e confiança.

Agradeço a Universidade Federal de Viçosa pelas oportunidades e principalmente por me proporcionar conhecer pessoas maravilhosas.

Agradeço aos estudantes de Pós-Graduação Matheus Ferreira França Teixeira e Wendel Magno de Souza pela confiança e orientação.

Agradeço ao Professor Francisco Cláudio Lopes de Freitas, pelo suporte, apoio, dedicação e orientação.

## RESUMO

O controle de plantas daninhas é prática indispensável nos campos de produção, visando à obtenção de elevados rendimentos em qualquer exploração agrícola. Os métodos normalmente utilizados para controlar as plantas daninhas são preventivo, cultural, biológico, físico, mecânico e químico. Contudo, o controle químico, que consiste na utilização de herbicidas, tem sido o mais empregado pelos agricultores, com as vantagens de menor dependência de mão-de-obra, maior eficiência no controle, baixo custo e elevado rendimento operacional. O indaziflam é um herbicida recentemente lançado no Brasil, com registro para aplicação em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas, no controle de gramíneas e algumas plantas de folhas largas nas culturas do café, cana-de-açúcar, eucalipto, pinus e citros. Todavia, o comportamento do herbicida indaziflam em solos tropicais ainda é pouco conhecido. Visando o posicionando adequado desse herbicida, propõe-se neste projeto avaliar a sorção e a dessorção do indaziflam em solos brasileiros, utilizando a cromatografia líquida de alta eficiência. Espera-se com essa pesquisa melhor entendimento da dinâmica do herbicida indaziflam em solos brasileiros, possibilitando assim recomendações seguras, do ponto de vista agronômico e ambiental.

**Palavras-chave:** adsorção, controle químico, impacto ambiental, manejo.

## ABSTRACT

Weed control is an indispensable practice in the fields of production, aiming at obtaining high yields on any farm. The methods normally used to control weeds are preventive, cultural, biological, physical, mechanical and chemical. However, chemical control, which consists of the use of herbicides, has been the most used by farmers, with the advantages of less dependence on labor, greater control efficiency, low cost and high operational efficiency. Indaziflam is a herbicide recently launched in Brazil, with registration for application in pre and post emergence of weeds, in the control of grasses and some broadleaf plants in coffee, sugarcane, eucalyptus, pinus and citrus. However, the behavior of the indaziflam herbicide in tropical soils is still poorly understood. Aiming at the adequate positioning of this herbicide, it is proposed in this project to evaluate the sorption and desorption of indaziflam in Brazilian soils using high performance liquid chromatography. This research is expected to better understand the dynamics of the indaziflam herbicide in Brazilian soils, thus enabling safe recommendations, from the agronomic and environmental point of view.

**Keywords:** adsorption, chemical control, environmental impact, management.

## SUMÁRIO

1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA .....	9
2. INTRODUÇÃO .....	9
3. OBJETIVOS .....	11
3.1 OBJETIVO GERAL.....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
4.1 HERBICIDA INDAZIFLAM .....	11
4.2 INTERAÇÃO HERBICIDA X SOLO.....	12
4.2.1 SORÇÃO E DESSORÇÃO.....	13
4.2.1.1 ISOTERMAS DE SORÇÃO .....	15
5. METODOLOGIA .....	16
6. CRONOGRAMA.....	18
7. ORÇAMENTO .....	19
8. RESULTADOS ESPERADOS.....	20
9. REFERÊNCIAS.....	20



## 1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

**Título:** Sorção e dessorção do herbicida indaziflam em solos brasileiros

**Proponente:** Maria Carolina Gomes Paiva

CPF: 112.408.436-31

TEL: (31) 3891-8154

Email: [maria.c.paiva@ufv.br](mailto:maria.c.paiva@ufv.br)



**Cargo/Função:** Estudante de graduação da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Instituição executora do projeto:**

- Universidade Federal de Viçosa (UFV)

## 2. INTRODUÇÃO

As plantas daninhas competem com culturas por água, luz, nutrientes e espaço, causando reduções na produtividade. Além disso, essas plantas reduzem a qualidade do produto comercial, podem ser hospedeiras de pragas e doenças e dificultar as operações de tratos culturais e colheita (VASCONCELOS *et al.*, 2012). Assim, o manejo das plantas daninhas torna-se prática indispensável nos campos de produção.

O controle das plantas daninhas pode ser realizado utilizando-se os métodos preventivo, cultural, biológico, físico, mecânico e químico, isoladamente ou associados (REZENDE *et al.*, 2014). No entanto, o controle químico, que consiste na utilização de herbicidas, tem sido o método mais empregado pelos produtores, com as vantagens de menor dependência de mão-de-obra, possibilitar controle mais efetivo nas linhas de plantio, proporcionar flexibilidade quanto à época de aplicação e ser de baixo custo. Segundo Oliveira Jr, (2011) o controle químico também apresenta rendimento operacional elevado, quando comparado aos demais métodos.

Contudo, apesar dos benefícios para a agricultura, a utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas possui também restrições (OLIVEIRA JR., 2011). A utilização

indiscriminada desses compostos e a falta de conhecimento das interações dos herbicidas com o ambiente pode provocar contaminação de recursos naturais, principalmente do solo e de mananciais hídricos (SILVA *et al.*, 2007). Estudos conduzidos por Lapworth & Goody (2006) indicaram que dentre os agroquímicos, os herbicidas são os mais constantemente encontrados em águas superficiais e subterrâneas.

Seja por contato direto, através da aplicação de herbicidas em pré-emergência das plantas daninhas ou por escorrimento das folhas, por meio de aplicação de herbicidas em pós-emergência, uma proporção atinge o solo (KRAEMER, *et al.*, 2009). Uma vez presentes no solo, os herbicidas sofrem influência de agentes físicos, químicos e biológicos, podendo ser retidos pela fração orgânica e mineral do solo, degradados, volatilizados ou lixiviados para camadas mais profundas (OLIVEIRA & BRIGHENTI, 2011). Esses processos interferem diretamente e indiretamente na mobilidade, na disponibilidade para as plantas e principalmente no tempo de permanência desses agroquímicos no ambiente (AHAMAD *et al.*, 2001).

De acordo com Filizola *et al.* (2002), quando os herbicidas chegam no solo, pode ocorrer a migração desses compostos de um compartimento do ambiente para outro e a sua degradação. Esses processos podem permanecer por anos, como acontece com produtos extremamente persistentes (MELO *et al.*, 2010).

A sorção e a dessorção de herbicidas são importantes parâmetros que podem ser utilizados para determinar a dinâmica desses compostos no solo e avaliar se o produto terá efeito no ambiente (SILVA *et al.*, 2010). A sorção e a dessorção determinam as quantidades de pesticida que atingem a planta alvo e as quantidades que são volatilizadas, degradadas e lixiviadas, influenciando na definição da dose a ser utilizada (ALONSO *et al.*, 2011).

O indaziflam é um herbicida recentemente registrado no Brasil para ser aplicado em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas, no controle de gramíneas e algumas plantas de folhas largas nas culturas do café, cana-de-açúcar, eucalipto, pinus e citros, podendo ser utilizado isoladamente ou em mistura ao metribuzin e/ou ao isoxaflutole (BAYER, 2016). O controle é proporcionado pela inibição da biossíntese de celulose, fazendo com que novas células da parede celular não sejam formadas, resultando na paralisação do desenvolvimento da planta (GRIFFIN, 2005; TOMPIKINS, 2010; GUERRA *et al.*, 2013).

Quanto ao comportamento do indaziflam no solo, resultados de pesquisas, indicam que este herbicida apresenta elevada persistência no ambiente e variada mobilidade no perfil do solo, a qual é influenciada pelo teor de matéria orgânica, teor de argila e o pH do solo (U.S.

EPA, 2011). Todavia a maioria dos trabalhos que envolvem os estudos da dinâmica do indaziflam no ambiente e da avaliação dos riscos desses compostos nas mais diversas condições de solo foi realizada em regiões temperadas, tornando-se necessário estudo das interações dos herbicidas com os solos tropicais para recomendações seguras (ALONSO *et al.*, 2011).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Determinar a sorção e a dessorção do herbicida indaziflam em amostras de solos com diferentes características físicas e químicas, visando recomendações técnicas seguras desse herbicida do ponto de vista agrônomo e ambiental.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Quantificar a sorção do herbicida indaziflam em solos com diferentes atributos por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE);
2. Quantificar a dessorção do herbicida indaziflam em solos com diferentes atributos por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE);
3. Conhecer como os atributos de diferentes solos influenciam na sorção e na dessorção.

### **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **4.1 HERBICIDA INDAZIFLAM**

O Indaziflam, (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine), é um herbicida pertencente a nova classe química “alkylazine” e é recomendado para o uso em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas no controle de gramíneas e algumas plantas de folhas largas nas culturas do café, cana-de-açúcar, eucalipto, pinus e citros (TOMPKINS, 2010).

O seu mecanismo de ação está relacionado com a inibição da biossíntese de celulose, fazendo com que novas células da parede celular não sejam formadas, ocorrendo paralisação do desenvolvimento da planta (GRIFFIN, 2005; TOMPIKINS, 2010; GUERRA *et al.*, 2013). De acordo com Guerra *et al.* (2013) a inibição supostamente acontece na etapa da reticulação das microfibrilas de celulose. Além disso, o indaziflam também inibe a disposição dos cristais na parede celular, prejudicando a sua formação, o alongamento e a divisão celular. Com isso, dificilmente o indaziflam irá afetar plantas com folhas completamente desenvolvidas, visto que não ocorre a síntese de celulose e a parede celular já se encontra totalmente formada (GUERRA *et al.*, 2013).

O indaziflam apresenta meia-vida estimada no solo ( $t_{1/2}$ ) maior do que 150 dias, possui baixa solubilidade em água ( $0,0028 \text{ kg m}^{-3}$  a  $20^\circ\text{C}$ ), o  $K_{oc} < 1.000 \text{ mL g}^{-1}$  de carbono orgânico, o  $pK_a = 3,5$  e o  $\log K_{ow}$  em pH 4; 7 ou 9 = 2,8 (TOMPKINS, 2010). De acordo com Kawamoto e Urano (1989), quanto menor a solubilidade em água do herbicida maior será a afinidade pela matéria orgânica do solo, principal sítio de sorção de herbicidas pouco solúveis em água.

Há relatos que o indaziflam possui longa atividade residual quando comparados a outros herbicidas pré-emergentes, em consequência da sua alta persistência, mesmo com a aplicação de baixas doses (meia vida maior do que 150 dias) (GUERRA *et al.*, 2013). A maior atividade residual no solo do indaziflam sugere que este apresenta maior flexibilidade quanto à época de aplicação e evita a competição das plantas daninhas com as culturas de interesse por maior intervalo de tempo.

Quanto à mobilidade, há informações que mostram que o indaziflam é moderadamente móvel a móvel (TOMPKINS, 2010), assim como pouco móvel no solo (ALONSO *et al.*, 2011; JHALA & SINGH, 2012). Porém, estudos associados à mobilidade do indaziflam no solo são escassos.

## **4.2 INTERAÇÃO HERBICIDA X SOLO**

O destino final dos herbicidas, sejam eles aplicados em pré ou pós-emergência das plantas daninhas e da cultura, é o solo, o qual atua como o principal receptor e acumulador desses compostos (LAW, 2001).

Ao atingirem o solo, inicia-se o processo de redistribuição e degradação dos herbicidas aplicados, onde estes estão sujeitos a ficar retido na solução do solo (sorção – adsorção e

absorção), ser transportado (lixiviação ou escoamento superficial), sofrer transformação (degradação química e/ou biológica), e ser absorvido pelas plantas (PRATA, 2002; MANCUSO *et al.*, 2011). Além disso, pode ocorrer a interação entre todos esses processos, regulando o destino dos herbicidas no ambiente (MANCURSO *et al.*, 2011). Esses processos podem perdurar por anos ou serem extremamente rápidos.

O efeito residual de herbicida está relacionado ao processo de dissipação desses compostos no ambiente, no qual é influenciado pelas condições climáticas, o sistema de cultivo utilizado e pelas características físico-químicas do herbicida e do solo (MANCURSO *et al.*, 2011).

Em algumas culturas como a da cana-de-açúcar a utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas é mais eficiente em épocas chuvosas, pois nesse período o herbicida ficará mais disponível na solução do solo favorecendo a sua absorção pelas plantas (PERIM, 2014). No entanto, como o plantio e a colheita são rotinas agrícolas realizadas praticamente o ano todo, a aplicação também ocorre em épocas de seca (AZANIA *et al.*, 2009; PERIM, 2014). Os herbicidas utilizados na época de seca devem apresentar alta solubilidade em água e fraca ou moderada adsorção ao solo, visando à persistência no solo até o início da estação chuvosa e a liberação do herbicida para a solução do solo (CORREIA & KRONKA JR., 2010).

Dentre os parâmetros para determinar o comportamento ou a dinâmica de um herbicida no solo destaca-se dois processos de retenção, a sorção e a dessorção. De acordo com Oliveira & Brighenti, 2011 conhecer os processos de sorção de um herbicida no solo permite conhecer a natureza da ligação herbicida-colóide do solo e as forças que atraem e retêm as moléculas do herbicida no solo.

#### **4.2.1 SORÇÃO E DESSORÇÃO**

A sorção refere-se a um processo de retenção de uma determinada substância pelo solo. É um termo utilizado para descrever processos de retenção de moléculas orgânicas sem uma distinção de qual fenômeno está ocorrendo: adsorção, absorção ou precipitação (DAMIN, 2005). O processo individual de sorção é complexo, em função dos diferentes atributos do solo e da sua perpetuidade com sistemas atmosféricos, biológicos e aquáticos (SILVA *et al.*, 2007).

A sorção de uma substância no solo, como, por exemplo, de um herbicida, promove um controle da quantidade da substância presente na solução do solo, determinando assim, sua persistência, mobilidade, lixiviação e biodisponibilidade do herbicida no meio (DAMIN, 2005; ARSEGO, 2009).

A sorção pode ocorrer sobre a matéria orgânica e sobre a fração inorgânica do solo (ARSEGO, 2009), sendo que a matéria orgânica é o fator de maior importância na sorção dos herbicidas com baixa solubilidade em água (KAWAMOTO E URANO, 1989) e em solos tropicais (SILVA *et al.*, 2007).

As interações hidrofóbicas são os principais mecanismos envolvidos na sorção de herbicidas pela matéria orgânica, que estão relacionadas com a hidrofobicidade da molécula e a afinidade desta pela fração orgânica do solo (DAMIN, 2005).

A adsorção é um fenômeno físico-químico de interface, onde moléculas de uma fase fluída (adsorvato) tendem a aderir à superfície de um sólido (adsorvente) (PINO, 2005).

O fenômeno de adsorção de compostos ao solo pode ser explicado pela existência de forças de atração que são perpendiculares à superfície sólida (ORTIZ, 2000), e pode se dar por meios físicos como através de forças de Van der Waals ou por meios químicos, que ocorre por meio de interações eletrostáticas e/ou ligação de hidrogênio (ARSEGO, 2009).

A intensidade e a extensão do processo de sorção dependem dos atributos físicos e químicos do solo, tais como o teor de argila, matéria orgânica, pH, teor de  $\text{Ca}^{2+}$ , capacidade de troca catiônica e área superficial dos colóides do solo (BURNS *et al.*, 2006, ARSEGO, 2009). E das características do herbicida, tais como solubilidade, capacidade de dissociação eletrolítica (pKa), coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) e pressão de vapor (PV) (SILVA *et al.*, 2007).

Quando pouco sorvidos no solo, os herbicidas podem sofrer o processo de lixiviação, que é o movimento da molécula ao longo do perfil do solo. A lixiviação excessiva pode reduzir a eficácia do herbicida no combate as plantas daninhas, além de poder ocasionar a contaminação das águas subterrâneas.

Já a dessorção é um processo inverso da sorção, ou seja, é a liberação das moléculas de herbicida que foi anteriormente adsorvido (SILVA *et al.*, 2007). A força em ocorre a dessorção reflete a reversibilidade do processo de sorção.

O processo de sorção e dessorção podem ser descritas por uma equação matemática, chamada de Isoterma de sorção (NASCIMENTO & FONTES, 2004).

#### 4.2.1.1 ISOTERMAS DE SORÇÃO

Depois de decorrido um tempo de contado suficiente entre um fluido com um adsorvente, ocorre o equilíbrio de sorção, dessa forma a velocidade de dessorção se torna igual à velocidade de sorção (VASQUES, 2008). Sendo assim, é possível uma equação matemática que vai relacionar a concentração de equilíbrio na fase líquida com a concentração do adsorvato na interface a uma determinada temperatura. Essa equação matemática é chamada de Isoterma.

As isotermas apresentam uma relação entre a quantidade de uma determinada espécie adsorvida por unidade de massa do solo e sua concentração em solução no equilíbrio a uma determinada temperatura (BRANDÃO, 2006). Existem diversos modelos de isotermas de sorção, sendo o modelo de Freundlich o mais usado para descrever o comportamento de herbicidas no solo.

O modelo de Freundlich é aplicável quando a adsorção não é do tipo quimiossorção, ou seja, quando não ocorre formação de ligações químicas entre as valências livres do adsorvato e do adsorvente, o que tornaria o processo irreversível. Esse modelo considera que a energia de adsorção não é constante devido à heterogeneidade da superfície e por isso existe uma alta afinidade inicial do adsorvato pelo adsorvente (SILVA *et al.*, 2007).

A equação de Freundlich é aplicada na sorção de soluções e foi proposta sobre base puramente empírica. O modelo de Freundlich admite que a sorção ocorre em multicamadas e não prevê a saturação da superfície (KALAVATHY *et al.*, 2005). A capacidade de sorção é dada pela equação 1.

$$C_s = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (1)$$

Em que,  $K_F$  ( $L \cdot g^{-1}$ ) é a constante de Freundlich e  $n$  é um parâmetro empírico. A constante  $K_F$  é uma medida aproximada da capacidade de adsorção do adsorvente e a constante  $n$  relaciona-se com a intensidade de adsorção. A equação de Freundlich pode assumir a forma linearizada através da equação 2 onde reproduz bem a isoterma experimental (JUSOH *et al.*, 2005).

$$\log C_s = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

O valor da constante  $K_F$  está relacionado à capacidade de sorção. Quanto maior for este valor, maior será a capacidade de sorção. Já os valores de  $n$  entre 1 e 10 indicam adsorção favorável (CASTELLAN, 2010).

## 5. METODOLOGIA

O experimento será realizado no Laboratório de Herbicida no Solo, da Universidade Federal de Viçosa. Serão utilizadas amostras de dez solos de diferentes localidades do Brasil (Tabela 1). Os valores de pH de alguns desses solos serão corrigidos para a faixa agricultável. Os solos serão coletados na profundidade de 0 a 20 cm, destorroadas, secas à sombra e peneiradas em malha de 4 mm. De cada solo, serão coletadas subamostras para análise física e química, conforme a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1997).

Tabela 1: Localidade e classes de solos que serão utilizadas no experimento.

Localidades	Classes
Viçosa, MG	Argissolo Vermelho-Amarelo
Fortuna de Minas, MG	Cambissolo
Mossoró, RN	Planossolo
Santa Bárbara, SP	Latossolo Vermelho-Amarelo
Alegrete, RS	Gleissolo Haplico
Maringá, PR	Nitossolo Vermelho
Gurupi, TO	Latossolo Vermelho-Amarelo
Venda Nova do Imigrante, ES	Argissolo Vermelho-Amarelo
Sorriso, MT	Latossolo Vermelho
Redenção, PA	Neossolo Aluvial

Primeiramente será determinado o tempo necessário para o equilíbrio da sorção do herbicida em solo, empregando-se o método “*batch equilibrium*” (OECD, 2000), utilizando solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , contendo  $1 \text{ mg L}^{-1}$  de indaziflam obtida a partir de uma solução estoque de  $1.000 \text{ mg L}^{-1}$ . Serão adicionadas 10,0 mL dessa solução em tubos de polipropileno contendo 2,00 g de solo. Em seguida as amostras serão colocadas sob agitação vertical em diferentes tempos (0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0; 24,0 e 32,0 horas) à temperatura ambiente ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Após a agitação, as amostras serão centrifugadas a 3.000 rpm, durante sete minutos. Parte do sobrenadante será retirada e filtrada em filtro Milipore com membrana PTFE de  $0,45 \text{ }\mu\text{m}$  diretamente em “*vials*” de 1,5 mL, para posterior análise por Cromatografia



Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Será considerando como tempo de equilíbrio, o tempo no qual a concentração da solução analisada permanecer constante.

Para analisar a sorção do indaziflam serão preparadas soluções de trabalho do herbicida a partir da mesma solução-estoque, nas concentrações de: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mg L<sup>-1</sup> em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. Serão adicionados 10,0 mL dessas soluções em tubos de polipropileno contendo 2,00 g de solo, e agitados no tempo de equilíbrio estimado para cada solo. Após agitação, as amostras serão centrifugadas a 3.000 rpm, por sete minutos. O sobrenadante será retirado e filtrado em filtro Milipore com membrana PTFE de 0,45 µm, diretamente em “vials” de 1,5 mL, para posterior análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

A quantidade de herbicida sorvido ao solo (Cs) em mg kg<sup>-1</sup> será calculada a partir da diferença entre a quantidade de herbicidas inicialmente adicionada ao solo (Cp) em mg L<sup>-1</sup> e a quantidade encontrada na solução de equilíbrio (Ce) em mg L<sup>-1</sup>. De posse dos valores de Ce e de Cs, será ajustada a equação de Freundlich ( $C_s = K_f C_e^{1/n}$ ) para obtenção dos coeficientes de sorção (Kf) e interpretação dos resultados. Em seguida, será utilizada a Correlação de Pearson para medir o grau da correlação entre o Kf e os atributos dos solos. Os atributos do solo que serão utilizados na correlação são: teor de matéria orgânica, CTC, H + Al<sup>3+</sup>, fósforo remanescente, teor de argila, teor de silte, teor de areia e pH.

O estudo da dessorção será realizado logo após o ensaio de sorção. Na dessorção 10 mL da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> isento de herbicida será adicionada aos tubos de polipropileno anteriormente utilizados na sorção. Os solos serão ressuspensos em um agitador vortex e em seguida serão submetidos à nova agitação vertical pelo mesmo tempo em que foram realizados os ensaios de sorção. Após agitação, as amostras serão centrifugadas a 3.000 rpm, por sete minutos. Em seguida parte do sobrenadante será filtrada em filtro Milipore com membrana PTFE de 0,45 µm, para posterior análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

As concentrações do herbicida dessorvidos ao solo (Cd) em mg kg<sup>-1</sup> será calculada por diferença entre a quantidade sorvida ao solo em mg Kg<sup>-1</sup> e a quantidade que retornou para a solução de equilíbrio (Ce) em mg L<sup>-1</sup>. De posse do novo (Cs) e valores de Ce, será ajustada a equação de Freundlich ( $C_s = K_f C_e^{1/n}$ ) para obtenção dos coeficientes de dessorção e interpretação dos resultados. Em seguida, será utilizada a Correlação de Pearson para medir o grau da correlação entre o Kf e os atributos do solo. Os atributos do solo que serão utilizados na correlação são: teor de matéria orgânica, CTC, H + Al<sup>3+</sup>, fósforo remanescente, teor de

argila, teor de silte, teor de areia e pH. Também será calculado o índice de histerese, dividindo-se o (1/n) da sorção pelo (1/n) da dessorção.

A concentração de cada herbicida em solução será determinada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, modelo Shimadzu LC 20AT Japão, detector Shimadzu SPD-20A e coluna analítica de aço inoxidável C18 (VP, Shimadzu Shim-pack ODS 150 x 4 mm x 6 mm id.). As condições cromatográficas serão: fase móvel de acetonitrila: água (acidificada com 0,001% de ácido acético) a uma proporção de 60:40, fluxo de 1,0 mL min<sup>-1</sup>, volume de injeção de 20 µL, comprimento de onda de 212 nm e temperatura de 30 °C. Nessas condições cromatográficas, o tempo de retenção para o indaziflam será de aproximadamente entre 4 a 5 minutos.

A quantidade de indaziflam será mensurada por meio da comparação das áreas obtidas nos cromatogramas de cada teste pelo método de calibração externo. Todos os ensaios serão realizados em triplicata. Utilizando-se um padrão analítico do indaziflam, a identificação será realizada pelo tempo de retenção.

## 6. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Descrição das atividades	2018				2019	
	Trimestres				Trimestres	
	1	2	3	4	1	2
Aquisição dos solos	X					
Análise química e física dos solos	X	X				
Preparo de soluções padrão		X		X		
Análises cromatográficas e extração	X	X	X	X		
Elaboração de artigos científicos			X	X	X	X
Elaboração do relatório final						X

## 7. ORÇAMENTO

<b>Material Permanente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Balança Analítica	1	un.	4.980,00	4.980,00
			<b>Subtotal:</b>	<b>4.980,00</b>
<b>Material de consumo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Analises de solo	10	un.	20	200,00
Ponteira de pipetador de 10 ml	2	c/1000	30,00	60,00
Tubos Falcon 50 ml	5	c/20.	30,00	150,00
Sacos plásticos 0,5 kg	10	kg	6,00	60,00
Fita adesiva	5	Rolos	3,75	18,75
Etiqueta de papel	3	un.	10,00	30,00
Coluna aço inoxidável C18 (VP, Shimadzu Shim-pack ODS 150 x 4 mm x 6 mm id.)HPLC	1	un.	5.000,00	5.000,00
Indaziflam padrão analítico	1	un.	826,00	826,00
Acido acetico	0,5	L	143,00	71,50
Acetonitrila padrão HPLC, ≥99.9%	15	L	422,00	6.330,00
Filtro Milipore c/ membrana PTFE 0,45 µm	3	c/100	363,00	1.089,00
Seringa 5 mL sem agulha	4	c/100	24,90	99,60
			<b>Subtotal:</b>	<b>13.934,85</b>
<b>Bolsas</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Iniciação Científica	18	Meses	400,00	7.200,00

			<b>Subtotal:</b>	<b>7.200,00</b>
			<b>Total:</b>	<b>26.114,85</b>

## 8. RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se, com este trabalho, melhor entendimento da dinâmica do herbicida indaziflam em solos brasileiros, possibilitando assim recomendações seguras, com a finalidade de obter maior eficiência agrônômica do herbicida, reduzir custos e diminuir impactos ambientais.

## 9. REFERÊNCIAS

AHMAD, R.; KOOKANA R. S.; ALSTON A.M. Sorption of ametryn and imazethapyr in twenty five soils from Pakistan and Australia. **Journal of Environmental Science Health B**, v. 36, n. 2, p. 143-160, 2001.

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.

ARSEGO, I. B. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2009.

AZANIA C. A. M. et al. Manejo químico de convolvulaceae e euphorbiaceae em cana de açúcar em período de estiagem. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 841-848, 2009.

BAYER. **Manual técnico Alion**. 2016. Disponível em: file:///C:/Users/gateway/Downloads/Manual\_Tecnico\_Alion%20(2).pdf. Acessado em: 28 de março de 2017.

BRANDÃO, P. C. **Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes**. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2006.

BURNS, I. G.; HAYES, M. H. B.; STACEY, M. Studies of the adsorption of paraquat on soluble humic fractions by gel filtration and ultrafiltration techniques. **Pesticide Science**, v. 4, n. 5, p. 629-641, 2006.

CASTELLAN, G. **Fundamentos de Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC, 527p, 2010.

CORREIA, N. M; KRONKA JR, B. Eficácia de herbicidas aplicados nas épocas seca e úmida para o controle de *Euphorbia heterophylla* na cultura da cana-de açúcar. **Planta daninha**, vol.28, n.4, p. 853-863, 2010.

DAMIN, V. **Biodegradação, sorção e dessorção do herbicida <sup>14</sup>C-Diuron em dois latossolos tratados com lodo de esgoto**. 2005. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba,SP, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. **Revista Atual**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FILIZOLA, H. F. et al. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guairá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2002.

GRIFFIN, J.L. Inhibition of cell wall synthesis. **Weed Course**.p.150-153, 2005.

GUERRA, N. et al. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285-295, 2013.

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

JUSOH, A. B. et al. Study on the removal of iron and manganese in groundwater by granular activated carbon. **Desalination**, v. 182, p. 347-353, 2005.

KALAVATHY, M. H. et al. Kinetic and isotherm studies of Cu (II) adsorption onto H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-activated rubber wood Sawdust. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 292, p. 354-362, 2005.

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.

KRAEMER, A.F., MARCHESAN, E., AVILA, L.A., MACHADO, S.L.O., GROHS, M., Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, v.27, 629-639, 2009.

LAPWORTH, D.J.; GOODDY, D. C.; Source and persistence of pesticides in a semi-confined chalk aquifer of southeast England. **Environmental Pollution**, v. 144, n. 3, p. 1031-1044, 2006.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **Journal Electrostatic**, 51(2):25-42.2001.

MANCURSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito Residual no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151- 164, 2011.

MELO, C.A.D.; MEDEIROS, W.N.; TUFFI SANTOS, L.D.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, G.L.; PAES, F.A.S.V.; REIS, M.R. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 965-971, 2004.

OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. Guidelines for testing of chemicals: adsorption-desorption using a batch equilibrium method, 106. **OECD, Paris, France**, 44p, 2000.

OLIVEIRA JR. R.S. (Editor). Introdução ao controle químico In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba-PR: Ompipax. p. 125-139, 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-PR: Ompipax, p. 263-304. 2011.

ORTIZ, N. **Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> e Cd<sup>2+</sup> em solução**. 2000. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 2000.

PERIM, L. **Dinâmica, eficácia e seletividade do diclosulam em condições de cana crua**. 2014. 74 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômica, Botucatu, 2014.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (Cocos nucifera)**. 2005. 113 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

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, 2002.

REZENDE, E.H. **Aplicação de herbicidas na implantação e reforma de áreas de *Eucalyptus urophylla*, antes e após o plantio.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SILVA, A. A.; SILVA, J.F. (Editores). **Tópicos em manejo de plantas daninhas.** Viçosa, MG. Ed. UFV. 367p. 2007.

SILVA, F. A.; LOURENCETTI, C.; DORES, E. F. G. C. Influência da temperatura, umidade e profundidade do solo na persistência do diuron e sulfato de endossulfam em um solo tropical. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1457-1463, 2010.

TOMPKINS, J. 2010. **Pesticide Fact Sheet: Indaziflam.** Environmental Protection Agency. Unites States. Disponível em: <[http://www.epa.gov/opp00001/chem\\_search/reg\\_actions/registration/fs\\_PC-80818\\_26-Jul-10.pdf](http://www.epa.gov/opp00001/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-80818_26-Jul-10.pdf)> Acessado em: 04 de abril de 2017.

U.S.EPA. **Pesticide fact sheet for indaziflam.** 2011. Disponível em: <http://www.epa.gov/opprd001/factsheets/indaziflam.pdf>. Acesso em: 16 de março de 2017.

VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S. Interferência de Plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **ACSA – Agropecuária do Semi-Árido**, v. 8, n. 1, p. 01-06, jan-mar, 2012.

VASQUES, A. R. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corante de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo.** 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.