

**EFICIÊNCIA DO INDAZIFLAM NO CONTROLE DE PLANTAS
DANINHAS E NA REDUÇÃO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO**

REYNALDO TANCREDO AMIM

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
ABRIL – 2014**

**EFICIÊNCIA DO INDAZIFLAM NO CONTROLE DE PLANTAS
DANINHAS E NA REDUÇÃO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO**

REYNALDO TANCREDO AMIM

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
ABRIL– 2014

EFICIÊNCIA DO INDAZIFLAM NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E NA REDUÇÃO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO

REYNALDO TANCREDO AMIM

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 24 de abril de 2014

Comissão Examinadora:

Dr. Jair Felipe Garcia Pereira Ramalho (D.Sc. em Agronomia) – UFRRJ

Prof. Geraldo do Amaral Gravina (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Juarez Ogliari (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) – UENF
(Orientador)

SUMÁRIO

SUMÁRIO	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Indaziflam	4
2.2. Dinâmica de herbicidas no solo	7
2.2.1. Características físico-químicas dos herbicidas	7
2.2.1.1. Solubilidade em água (S_w)	7
2.2.1.2. Pressão de vapor (P)	8
2.2.1.3. Coeficiente de partição octanol-água (K_{ow})	8
2.2.1.4. Constante de ionização ácido (pK_a) ou base (pK_b).....	9
2.2.1.5. Constante da Lei de Henry (H).....	10
2.2.2. Interação herbicida X solo.....	10
2.2.2.1. Sorção.....	11
2.2.2.2. Lixiviação	14
2.2.3. O papel da matéria orgânica do solo	16
2.2.4. Persistência do herbicida no ambiente	17
2.3. Banco de sementes do solo	19
2.3.1. O procedimento de amostragem.....	24
2.3.2. Metodologias de avaliação.....	27

2.3.2.1. Contagem de plântulas em casa de vegetação	28
2.3.2.2. Contagem direta de sementes na amostra de solo	29
2.3.3. Relação entre banco de sementes e fitossociologia	30
3. TRABALHOS	32
3.1. Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas.....	32
3.2. Banco de sementes em cana-de-açúcar após quatro safras com aplicação de herbicidas pré-emergentes.....	53
4. RESUMOS E CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

RESUMO

AMIM, Reynaldo Tancredo, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Abril de 2014. EFICIÊNCIA DO INDAZIFLAM NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E NA REDUÇÃO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO. Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas.

O indaziflam é um novo ingrediente ativo com efeito herbicida, em fase de registro no Brasil, cujo mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose. Controla Liliopsidas e Magnoliopsidas, sendo mais eficiente para Liliopsidas. Possui elevado poder residual no solo, possibilitando bons níveis de controle por mais de 150 dias. Foram conduzidos dois experimentos. O primeiro, visou avaliar a influência de três solos com diferentes características físico-químicas sobre a eficiência do indaziflam, com cinco doses (0; 30; 60; 90; 120 e 150 g.ia.ha⁻¹), no controle de cinco espécies daninhas (3 Liliopsidas: *Rottboellia cochinchinensis*-ROOEX, *Panicum maximum*-PANMA, *Digitaria horizontalis*-DIGHO; e 2 Magnoliopsidas: *Euphorbia heterophylla*-EPHHL e *Ipomoea grandifolia*-IAOGR). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Campos dos Goytacazes–RJ, em DBC, com quatro repetições e fatorial 3x6x5. O solo foi peneirado, colocado em bandejas perfuradas e as espécies semeadas a 0,015 m de profundidade. O indaziflam foi aplicado sobre o material de solo úmido e as bandejas colocadas sob irrigação diária de 5 mm. Avaliaram-se a emergência, sete dias após a aplicação-DAA, e o controle das espécies, 40 DAA. No outro trabalho o objetivo foi avaliar o efeito do manejo das plantas daninhas com os herbicidas pré-emergentes indaziflam em três doses (75,

100 e 150 g.ia.ha⁻¹), indaziflam+metribuzim (75+960 g.ia.ha⁻¹) e diuron+hexazinone (936+264 g.ia.ha⁻¹) durante quatro safras de cana-de-açúcar, sobre o banco de sementes do solo, nas profundidades 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m, comparado com a testemunha capinada. Os tratamentos foram distribuídos em DBC, com 4 repetições, no fatorial 6x2. O experimento de campo foi conduzido em Paulínia – SP, e o solo foi coletado com trado tipo caneca de 8,5 cm de diâmetro e transportados para a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes – RJ, onde as amostras foram colocadas em bandejas e deixadas em casa de vegetação, sob irrigação diária. Realizou-se a contagem e identificação de plântulas emergidas até o sexto mês e calculou-se a Densidade, a Frequência e a Abundância, absoluta e relativa, e o Índice de Valor de Importância. No primeiro experimento observou-se que o indaziflam foi mais eficiente no controle das Liliopsidas. EPHHL e IAAGR foram melhor controladas no solo de textura franco-argilo-arenosa, com estimativa de 65 e 72 g.ia.ha⁻¹ para o controle satisfatório (80%). Não houve diferença no controle das Liliopsidas utilizadas neste trabalho, nos diferentes tipos de solo. No segundo experimento, houve maior redução do banco de sementes total e da espécie *Gnaphalium coarctatum* nos tratamentos 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam. Todos os tratamentos com herbicida reduziram o Índice de Valor de Importância das espécies *E. pilosa*, *D. sanguinalis*, *P. setosum*, *G. coarctatum* e *P. pauciflora*. O banco de sementes total na profundidade de 0,10-0,20 m, e da espécie *Portulaca oleracea*, nas duas profundidades, não foi influenciado pelos herbicidas. O uso de herbicidas pré-emergentes por quatro safras consecutivas de cana-de-açúcar reduziu o banco de sementes na profundidade 0 - 0,10 m.

Palavras-chave: herbicida, alquilazine, classe textural, matéria orgânica do solo, *Saccharum* sp.

ABSTRACT

AMIM, Reynaldo Tancredo, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. April, 2014. EFFICIENCY OF INDAZIFLAM IN WEED CONTROL AND REDUCTION OF SOIL SEED BANK. Advisor: DSc. Silvério de Paiva Freitas.

The indaziflam is a new active ingredient with herbicidal effect, under registration in Brazil, whose mechanism of action is inhibition of cellulose biosynthesis. Controls and Liliopsidas Magnoliopsidas, being more efficient for Liliopsidas. Has high residual power in the soil, allowing good levels of control for more than 150 days. Two experiments were conducted. The first, aimed to evaluate the influence of three soils with contrasting physicochemical characteristics (sand, clay and sandy clay loam) on the efficiency of indaziflam with five doses (0, 30, 60, 90, 120 and 150 g.ia.ha⁻¹) in five control weeds (3 Liliopsidas: *Rottboellia cochinchinensis* - ROOEX, *Panicum maximum*- PANMA, *Digitaria horizontalis* - DIGHO and 2 Magnoliopsidas: *Euphorbia heterofilla* - EPHHL and *Ipomoea grandifolia* - IAOGR). The experiment was conducted in a greenhouse, in Campos - RJ in DBC with four replications and a factorial 3x6x5. The soil was sieved, and placed on perforated trays species seeded at 0,015 m depth. The indaziflam was applied to moist soil and trays placed under daily irrigation of 5 mm. We evaluated the emergency, seven days after application - DAA, and control of the species, 40 DAA. In another study we evaluated the effect of weed management with pre-emergent herbicides indaziflam in three rates (75 , 100 and 150 g.ia.ha⁻¹), indaziflam+metribuzim (75+960 g.ia.ha⁻¹) and diuron+hexazinone (936+264 g.ia.ha⁻¹) during four harvests of sugarcane, on the

soil seed bank at depths from 0 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m, compared to the other treatments. Treatments were arranged in a randomized block with four replications in a factorial 6x2. The field experiment was conducted in Paulínea - SP, and the soil was collected with auger of 8.5 cm diameter and transported to the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, in Campos dos Goytacazes - Brazil, where the samples were placed in trays and left in a greenhouse, watered daily. There was the counting and identification of seedlings until the sixth month and the calculated density, frequency and abundance, absolute and relative, and Importance Value. In the first experiment, it was observed that the indaziflam was more effective in controlling *Liliopsisidas*. The species EPHHL and IAAGR were better controlled in the soil of sandy clay loam texture, with an estimated 65 to 72 g.ia.ha⁻¹ for satisfactory control (80%). There was no difference between the types of soil for control of *Liliopsisidas* used in this work. In the second experiment, there was a greater reduction in total seed bank and species *Gnaphalium coarctatum* in treatments 100 and 150 g.ia.ha⁻¹ indaziflam and herbicides reduced the Importance Index of *E. pilosa*, *D. sanguinalis*, *P. setosum*, *G. coarctatum* and *P. pauciflora*. The seed bank total from depth 0.10 to 0.20 m, and *Portulaca oleracea* seed bank at both depths, were not affected by herbicides. The use of pre-emergent for four consecutive harvests of sugar cane herbicides reduces the seed bank in depth from 0 to 0.10 m.

Keyword: herbicide alkilazine, textural class, soil organic matter, *Saccharum* sp.

1.INTRODUÇÃO

Os herbicidas foram a classe de agrotóxicos mais consumidos no Brasil em 2012, respondendo por 32,3% do faturamento do setor e 57,1% da quantidade de produto comercial vendida (Ferreira et al., 2013), mostrando sua importante participação na agricultura brasileira. Entretanto, é importante usá-los de forma racional e consciente, pois a atividade agrícola é muito questionada e julgada do ponto de vista ambiental, e para isso, muitos estudos são realizados para compreender o comportamento desses produtos no solo (Mancuso et al., 2011).

Uma vez no solo, a molécula do herbicida pode seguir diferentes destinos no ambiente, governados por alguns processos como, por exemplo, a sorção (adsorção ou dessorção), a lixiviação ou escoamento superficial, a degradação química e/ou biológica, e a absorção pelas plantas, além das interações entre todos esses processos (Prata, 2002, Mancuso et al., 2011). Os processos de sorção são os principais mecanismos de retenção dos herbicidas e governam os movimentos sofridos por eles no solo, sendo determinantes no seu destino ambiental (Vieira et al., 1999; Selim e Zhu, 2005).

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 novo ingrediente ativo com efeito herbicida, cujo mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose, pertencente à classe química “alkylazine” (Tompkins, 2010). O produto encontra-se em fase de registro no país, para uso em cana-de-açúcar, café, citros,

eucalipto e pinus, com requerimento de registro feito em maio de 2010 (Brasil, 2010). Esse herbicida pode controlar tanto Liliopsidas quanto Magnoliopsidas, em pré ou em pós-emergência inicial (Brosnan et al., 2011; Perry et al., 2011; Brosnan et al., 2012), sendo mais eficiente no controle de Liliopsidas (Kaapro e Hall, 2012). Possui baixa solubilidade em água ($0,0028 \text{ kg m}^{-3}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), $K_{oc} < 1.000 \text{ mLg}^{-1}$ de carbono orgânico, $Pka = 3,5$ e $\log K_{ow}$ em pH 4; 7 ou 9 = 2,8 (Tompkins, 2010).

Segundo Kawamoto e Urano (1989), quanto menor a solubilidade em água do herbicida maior será a afinidade da molécula de matéria orgânica do solo (MOS), a qual é o principal sítio de sorção de herbicidas pouco solúveis em água. Porém, esses herbicidas também podem ser adsorvidos, em menor intensidade, pelos colóides de argila (Inoue et al., 2008; Rocha et al., 2013; Vivian et al., 2007). Esse fato torna a dose adequada dependente dessas características, podendo variar em função dos tipos de solo.

Outra característica importante do indaziflam é seu elevado período residual no solo, sendo superior a 150 dias, persistindo no solo por mais tempo em relação a outros herbicidas pré-emergentes (Kaapro e Hall, 2012). Brosnan et al. (2011) 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 e MOS igual a 2,1% e, outro de textura franco-arenosa e MOS de 2,5%, observaram controle acima de 90% aos 195 dias após a aplicação em pré-emergência. Resultados semelhantes foram obtidos por Perry et al. (2011) com mais de 90% de controle para *Digitaria sanguinalis* aos 203 DAA. Porém, Alonso et al. (2011) alertam para o fato de que esse período pode ser, possivelmente, inferior a 150 dias nas regiões tropicais devido às altas temperaturas e chuvas abundantes.

As práticas adotadas no manejo das plantas daninhas alteram e atuam sobre a entrada e saída de sementes do banco de sementes do solo, refletindo, em médio e longo prazo, em sua composição (Kuva et al., 2008). Blanco et al. (1994) demonstraram que o controle periódico das populações, não permitindo a reprodução sexuada das espécies dentro de um ciclo, determinou índices populacionais extremamente baixos no ciclo seguinte das espécies *Amaranthus viridis*, *Bidens pilosa*, *Brachiaria plantaginea* e *Digitaria horizontalis*.

Por outro lado, menores taxas de redução no banco de semente da espécie *Acanthospermum hispidum*, foram observadas por Voll et al. (1997a) quando foi realizado o controle das plantas daninhas com herbicidas aplicados em pós-emergência, com redução de 36% ao ano, contra 49% ao ano sem o uso de herbicidas. Dados semelhantes também foram observados por Voll et al. (1997b) para a espécie *Commelina benghalensis*. Em ambos os trabalhos, os autores justificam a maior taxa de redução das espécies estudadas nas áreas sem herbicida devido à grande infestação com *B. plantaginea*, gerando grande competitividade e inibindo o desenvolvimento das espécies em estudo, com aumento do banco de sementes da espécie predominante em ambos os casos.

A característica de baixa solubilidade em água do indaziflam pode fazer com que a dose do herbicida varie em função dos atributos físico-químicos do solo e, sua alta persistência no solo, aliada ao controle cultural proporcionado pelo fechamento da cultura ao longo do ciclo da cana-de-açúcar, podem atuar sobre a dinâmica do banco de sementes do solo. Dessa forma, os objetivos do trabalho foram:

1. Avaliar o efeito do herbicida indaziflam no controle de plantas daninhas Liliopsidas (*Rottboellia cochinchinensis*, *Panicum maximum*, *Digitaria horizontalis*) e Magnoliopsidas (*Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia*);
2. Avaliar a influência dos atributos físico-químicos de três tipos de solo diferentes, com o uso de diferentes doses do herbicida indaziflam, sobre a eficiência de controle das espécies *R. cochinchinensis*, *P. maximum*, *D. horizontalis*, *E. heterophylla* e *I. grandifolia*;
3. Avaliar a influência do indaziflam, isolado e em mistura com metribuzim, sobre a composição do banco de sementes de plantas daninhas de uma área com cana-de-açúcar, comparado com os manejos diuron+hexazinone e capinado, após quatro safras consecutivas de aplicação.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1. 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 novo ingrediente ativo com efeito herbicida, pertencente à nova classe química “alkylazine”. Seu mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose (Tompkins, 2010), não existindo, até o momento, nenhum herbicida registrado para uso no Brasil pertencente a esse grupo químico (AGROFIT, 2014). O produto encontra-se em fase de registro no país, para uso em cana-de-açúcar, café, citros, eucalipto e pinus, com requerimento de registro feito em maio de 2010 (Brasil, 2010).

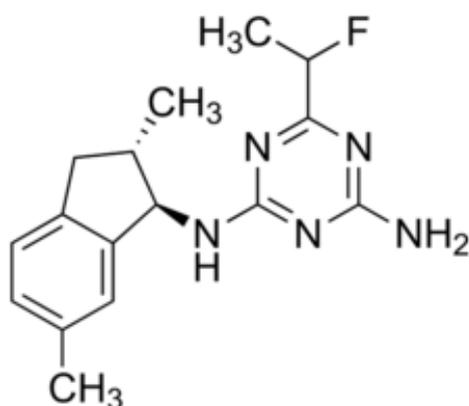


Figura 1. Fórmula estrutural da molécula do Indaziflam.

O Indaziflam pode controlar tanto Liliopsidas quanto Magnoliopsidas, em pré ou pós-emergência inicial (Brosnan et al., 2011; Perry et al., 2011; Brosnan et al., 2012). Mas, o controle de algumas Magnoliopsidas pelo indaziflam é menos eficiente em relação às Liliopsidas. Kaapro e Hall (2012) observaram maior controle de espécies da classe Liliopsida em relação às Magnoliopsidas pelo indaziflam, tanto em pré como em pós-plantio de *Pinus* e *Eucalyptus*, na Austrália. Os autores sugerem que, para aumentar seu espectro de controle, o indaziflam deve ser misturado com outro herbicida residual, já sendo testado o hexazinone (em *Pinus*), simazine e sulfometuron (em *Eucalyptus*). Jahla et al. (2013) também avaliaram o indaziflam em mistura com saflufenacil e glufosinato em pós-emergência das plantas daninhas em *citrus*, obtendo maior espectro de controle.

Alguns estudos têm sido conduzidos para avaliar a dose ideal do indaziflam para controle de plantas daninhas em gramados. Brosnan et al. (2012) observaram 100% de controle de *Digitaria ischaemum* em gramado com 35 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam aplicado em pré-emergência. Por outro lado, em ensaios conduzidos entre os anos de 2005 e 2009, Kaapro e Hall (2012) observaram taxas de controle de *Digitaria* sp. em gramado variando entre 69 e 98% para a dose de 37,5 g.ia.ha⁻¹ e de 89% para a dose de 50 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, obtendo-se 100% controle com 75, 80 e 100 g.ia.ha⁻¹.

Perry et al. (2011) ao estudarem o controle de *Poa annua*(Poaceae), *Digitaria sanguinalis* (Poaceae), *Kyllinga squamulata* (Cyperaceae), *Dichondra carolinensis* (Convolvulaceae) e *Solvia sessilis* (Astracã) em diferentes épocas de aplicação do herbicida indaziflam com doses entre 20 e 60 g.ia.ha⁻¹, no Alabama (EUA) observaram controle superior a 96% de *D. sanguinalis*, independente da dose, com aplicações sequenciais em outubro/março ou em novembro/março e, superior a 94% com uma única aplicação em março. Já o controle das Magnoliopsidas variou entre as espécies. Exceto em março, houve excelente controle de *S. sessilis* ($\geq 91\%$) enquanto que as espécies das famílias Cyperaceae e Convolvulaceae apresentaram menor nível de controle.

Jhala et al. (2013) avaliaram o indaziflam aplicado em pós-emergência em misturas no tanque e observaram que a adição do indaziflam à mistura glufosinato+saflufenacil melhorou o controle de Magnoliopsidas e Liliopsidas quando comparadas com glufosinato+saflufenacil, glufosinato, saflufenacil e

glifosato isolados. Além de aumentar a taxa de controle, a mistura indaziflam+glufosinato+saflufenacil proporcionou maior período de controle, observado pela menor densidade e biomassa de plantas daninhas nesse tratamento aos 60 DAA, sendo estatisticamente diferente dos demais.

Quando aplicado em pré-emergência o indaziflam apresenta maior período residual no solo em relação a outros herbicidas pré-emergentes, sendo superior a 150 dias, o que permite maior flexibilidade quanto à época de sua aplicação (Tompkins, 2010; Kaaproehall, 2012). Brosnan et al. (2011) avaliando o controle de *D. 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. Esses autores relatam que o efeito residual do indaziflam sobre o controle das plantas daninhas pode variar em função de diferentes espécies.

Quanto às suas características físico-químicas, o indaziflam possui baixa solubilidade em água (0,0028 kg m⁻³ a 20 °C), o K_{oc} < 1.000 mL g⁻¹ de carbono orgânico, o P_{ka} = 3,5 e o log K_{ow} em pH 4; 7 ou 9 = 2,8 (Tompkins, 2010). Segundo Kawamoto e Urano (1989), quanto menor a solubilidade em água do herbicida maior será a afinidade da molécula pela MOS, a qual é o principal sítio de sorção de herbicidas pouco solúveis em água, devido à sua alta CTC e característica lipofílica. Esses herbicidas também podem ser adsorvidos pelos colóides de argila (Inoue et al., 2008; Rocha et al., 2013; Vivian et al., 2007).

Quanto à mobilidade do indaziflam, existem informações mostrando que esse herbicida está classificado como entre moderadamente móvel a móvel (Tompkins, 2010) ou a pouco móvel no solo (Alonso et al., 2011; Jhala et al., 2012; Jhala e Singh, 2012), existindo na literatura, porém, poucos trabalhos sobre sua mobilidade no solo.

2.2. Dinâmica de herbicidas no solo

Ao entrar em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos (sorção) e/ou biológicos (absorção, degradação) que regulam seu destino no ambiente. A molécula de herbicida pode ser absorvida pelas plantas, degradada por micro-organismos, lixiviada para as camadas subsuperficiais do solo, podendo até mesmo atingir os cursos d'água subterrâneos, ou se ligar aos coloides ou à matéria orgânica do solo, formando resíduos ligados (Prata e Lavorenti, 2000, Mancuso, et al., 2011).

Para melhor compreender o comportamento dos herbicidas no ambiente é preciso levar em consideração as características físico-químicas dos produtos e do solo, as condições ambientais e a dosagem aplicada, podendo assim, reduzir o risco de impacto ambiental devido a possíveis efeitos residuais, além de minimizar problemas de fitotoxicidade e perdas em culturas subsequentes (Mancuso et al., 2011), possibilitando aumentar a eficiência do uso dos herbicidas.

É necessário conhecer as principais propriedades físico-químicas das moléculas, as características físico-químicas do solo e suas inter-relações com os sistemas biológicos, atmosféricos e aquáticos para entender o complexo fenômeno de retenção dos herbicidas no solo (Oliveira e Brighenti, 2011).

2.2.1. Características físico-químicas dos herbicidas

Cada herbicida possui características específicas, mesmo pertencendo ao mesmo grupo químico, e seu conhecimento é essencial para o sucesso na utilização do produto, pois sua interação com as condições edafoclimáticas, irá governar sua dinâmica no solo (Christoffoleti e López-Ovejero, 2005). As principais propriedades físico-químicas dos herbicidas relacionados ao seu comportamento no ambiente são as seguintes: solubilidade em água (S_w), pressão de vapor (P), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), constante de equilíbrio de ionização ácido (pK_a) ou base (pK_b) e constante da lei de Henry (H) (Silva et al., 2007; Oliveira e Brighenti, 2011).

2.2.1.1. Solubilidade em água (S_w)

Segundo Lavorenti et al. (2003), a solubilidade em água é a quantidade máxima da molécula que pode ser dissolvida em determinada quantidade de

água pura, a determinada temperatura. Seu valor é expresso em milIAOGRama do herbicida por litro de água, geralmente a 25°C (Oliveira e Brighenti, 2011).

Essa 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). Segundo Vidal (2002), existe uma relação entre o coeficiente de adsorção normalizado pelo carbono orgânico (K_{oc}) e K_{ow} , visto que a sorção de compostos lipofílicos é muito relacionada à fração orgânica do solo. Kawamoto e Urano (1989) observaram que quanto maior a solubilidade em água menor será a afinidade da molécula pela matéria orgânica (K_{oc}).

2.2.1.2. Pressão de vapor (P)

É uma medida de saturação em termos de concentração ou pressão de um soluto na fase gasosa (Mackay et al., 1997). Esta característica indica o grau de volatilização do herbicida, ou seja, a tendência do herbicida passar para a forma de gás e se perder para a atmosfera. Quanto maior a pressão de vapor do herbicida, maior será a taxa de volatilização (Christoffoleti e López-Ovejero, 2005). Seguindo essa regra tem-se que moléculas com pressão de vapor maiores que 10^{-2} mm.Hg à temperatura ambiente são consideradas muito voláteis; entre 10^{-3} e 10^{-4} mediamente voláteis, entre 10^{-5} e 10^{-7} pouco voláteis e menores que 10^{-8} são consideradas não voláteis (Deuber, 1992).

A temperatura, a velocidade do vento e as condições do solo, assim como as características de adsorção e a solubilidade na água da molécula, também afetam a taxa de volatilidade do herbicida (Oliveira e Brighenti, 2011).

2.2.1.3. 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 intensidade da afinidade da molécula pela fase polar (representada pela água) e apolar (representada pelo octanol), medindo a lipofilicidade da molécula. Valores de K_{ow} não têm unidade e são expressos, normalmente, na forma logarítmica ($\log K_{ow}$) (Oliveira e Brighenti, 2011).

Moléculas com valores de $\log K_{ow} > 4,0$ são consideradas lipofílicas (não polares) e são fortemente adsorvidas à matéria orgânica, apresentando baixa

mobilidade no solo. Ao contrário, moléculas com $\log K_{ow} < 1,0$ são mais solúveis em água (moléculas polares), apresentando pouca atração pela matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, apresentam baixa capacidade de adsorção e acumulação no solo (Lavorenti et al., 2003).

2.2.1.4. 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:** são aqueles cujas formas moleculares são capazes de doar um próton e formar íons carregados negativamente (ânions);
- **Herbicidas básicos:** são aqueles cujas formas moleculares são capazes de receber prótons e formar íons carregados positivamente (Cátions).

É comum encontrar na literatura valores de pK_a , indistintamente para herbicidas ácidos ou básicos, dessa forma, deve-se considerar que a espécie química protonada é um ácido conjugado do herbicida básico. Por isto, será usada notação pK_a' para os herbicidas básicos, apenas para diferenciação dos herbicidas básicos (Oliveira e Brighenti, 2011).

Prata (2002) chegou a equações que permitem as seguintes conclusões:

- **Para os herbicidas ácidos:** Quanto maior o Pka , menor sua força ácida e menores são as chances da molécula ficar aniônica.
 - i) Se o pH (solução do solo) = pK_a (pesticida), então $[HA] = [A^-]$;
 - ii) Se o pH (solução do solo) < pK_a (pesticida), então $[HA] > [A^-]$;
 - iii) Se o pH (solução do solo) > pK_a (pesticida), então $[HA] < [A^-]$.
- **Para os herbicidas básicos:** Quanto menor o Pka' , menor sua força básica e menores são as chances da molécula ficar catiônica.
 - i) Se o pH (solução do solo) = pK_a' (pesticida), então $[BH^+] = [B]$;
 - ii) Se o pH (solução do solo) < pK_a' (pesticida), então $[BH^+] > [B]$;

i) Se o pH (solução do solo) $> pK_a'$ (pesticida), então $[BH^+] < [B]$,

onde, $[AH]$ e $[A^-]$ é a concentração, no solo, do herbicida ácido associado ao próton H^+ (sem carga) e desprotonado (com carga negativa), respectivamente; $[BH^+]$ e $[B]$ é a concentração, no solo, do herbicida básico associado ao próton H^+ (carregado positivamente) e desprotonado (sem carga), respectivamente.

Isto ocorre principalmente com uma ou mais unidades de pH acima ou abaixo do valor do pK_a dos herbicidas ácidos ou básicos, respectivamente. Ficando na forma aniônica, o herbicida terá mais chances de ser transportado livremente através da solução do solo, a não ser que sofra reações de complexação. Já a predominância da forma catiônica (herbicidas básicos) implica em maior tendência de adsorção ao solo e não sendo transportado para outras partes do ambiente (Oliveira e Brighenti, 2011).

2.2.1.5. Constante da Lei de Henry (H)

Refere-se ao coeficiente de partição ar-líquido ou vapor-líquido e é obtida pela relação entre a pressão parcial e a concentração da molécula na interface ar-água. Quanto maior o valor H , maior é o potencial de volatilização (Arsego, 2009). É influenciada pelo peso molecular, a solubilidade e a pressão de vapor da molécula, e indica o grau de volatilidade de um composto químico em uma solução (Oliveira e Brighenti, 2011).

De acordo com Lyman et al. (1982), uma molécula de herbicida pode apresentar volatilidade baixa, média e alta, se $H < 10^{-7}$, entre 10^{-7} e 10^{-5} e $> 10^{-5}$ $\text{atm.m}^3.\text{mol}^{-1}$, respectivamente), sendo que acima de 10^{-3} , a volatilização torna-se extremamente importante.

2.2.2. Interação herbicida X solo

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 nesse meio (Marchese, 2007).

Uma vez no solo, uma molécula de herbicida pode seguir diferentes destinos no ambiente, governados por alguns processos como, a retenção no solo (sorção – adsorção e absorção), o transporte (lixiviação ou escoamento superficial), a transformação (degradação química e/ou biológica), e a absorção

pelas plantas, além da interação entre todos esses processos (Prata, 2002, Mancuso et al., 2011), que irão determinar sua persistência no ambiente. Nesta revisão serão focados apenas os fenômenos de sorção e lixiviação.

2.2.2.1. Sorção

A sorção é um processo interfacial e refere-se à adesão ou atração de uma ou mais camadas iônicas ou moleculares para uma superfície (Prata e Lavorenti, 2000). Os processos de sorção (adsorção ou dessorção) são os principais mecanismos de retenção dos herbicidas e governam os movimentos sofridos por eles no solo, sendo determinantes no seu destino no ambiente (Vieira et al., 1999; Selim e Zhu, 2005). O entendimento dos processos de sorção de herbicidas permite conhecer a natureza da ligação herbicida-coloide do solo que está envolvida na adsorção (Oliveira e Brighenti, 2011) e avaliar o potencial de contaminação do ambiente por esses compostos (Hinz, 2001).

A sorção dos herbicidas é influenciada, principalmente, pelas características do solo (pH, CTC, MOS e mineralogia) e da molécula (PKa, Kow, Sw, P, H) (Oliveira e Brighenti, 2011). Essas características têm influência sobre as forças que atraem e retêm as moléculas do herbicida para a interface dos coloides. Essas ligações podem ser: ligações covalentes e de pontes de hidrogênio, que são forças químicas, ou ligações hidrofóbicas, forças de van der Waals e ligações iônicas, que são forças físicas (Prata, 2002).

A molécula de herbicida adsorvida aos coloides pode formar os chamados resíduos ligados (Lavorenti, 1997). Burauel et al. (1998) definiram resíduos ligados como aqueles que não podem ser extraídos do solo sem que a natureza do resíduo e da matriz do solo sejam substancialmente alteradas. Em alguns casos, parte da fração ligada pode retornar a solução do solo, em um processo conhecido como remobilização (Lavorenti, 1997), porém, para algumas moléculas a remobilização é quase nula, como acontece, por exemplo, com o herbicida atrazine (grupo químico das Triazinas) ligado à fração orgânica do solo (Peixoto et al., 2005).

A adsorção e a formação de resíduo-ligado podem promover variações na dinâmica da molécula, como por exemplo, a diminuição da degradação do pesticida, a perda da sua identidade química (Calderbank, 1989), a alteração do escoamento superficial e da lixiviação deste pesticida e a perda de sua atividade

biológica tendo consequência direta na dinâmica do herbicida no solo. Moléculas que apresentam baixa tendência à formação de resíduo ligado e são pouco degradadas, tendem a permanecer na solução do solo, podendo ser absorvidas por raízes de plantas ou lixiviadas para camadas subsuperficiais do solo (Oliveira e Brighenti, 2011).

O método conhecido como "batch Equilibrium" tem sido muito empregado para determinar a sorção de agrotóxicos em solos e consiste na determinação da quantidade sorvida por meio da diferença entre a concentração de uma solução inicial do agrotóxico e a concentração da mesma solução após um período de equilíbrio desta solução com o solo. O ajuste dos dados pode ser feito por modelos matemáticos empíricos relativamente simples, como Freundlich e Langmuir (Pignatello, 2000). O modelo de Freundlich ($C_s = K_f C_e^{1/n}$) tem sido mais frequentemente utilizado

de PVC em trabalhos que visam estudar a adsorção de herbicidas em solos, por garantir boa linearidade (Assis et al., 2011, Rocha et al., 2013).

A variável " K_f " se refere à afinidade da molécula com o solo, ou seja, a força de adsorção do agroquímico pelo solo. O valor de " $1/n$ " está relacionado com a linearidade do modelo. Valores de " $1/n$ " <1 sugerem que aumentos na concentração adsorvida tornam mais difícil a adsorção de novas moléculas e podem ocorrer pelo preenchimento de sítios específicos de ligação, restando apenas sites menos atrativos àquela molécula. Já com " $1/n$ " >1 a adsorção das moléculas modifica a superfície adsorvente, favorecendo futuras adsorções. E com " $1/n$ " $=1$ a quantidade da substância adsorvida é diretamente proporcional à sua concentração no solo (Schwarzenbach et al., 1992).

Outro método utilizado são os bioensaios, no qual colunas na posição vertical são preenchidas com solo e o herbicida é aplicado na superfície da coluna, permanecendo na vertical por determinado tempo. Depois a coluna é colocada na horizontal e é aberta longitudinalmente, semeando-se a planta bioindicadora a cada intervalo do perfil, com posterior avaliação da intoxicação das plantas (Andrade et al. 2010). Esses autores concluíram que o bioensaio foi mais eficiente para confirmar a presença do ametrine do que o método de cromatografia líquida (HPLC), podendo ser utilizado como método preliminar visando à confirmação de resultados e/ou redução de custos e tempo das análises (Silva et al., 2012).

Outro parâmetro comumente utilizado para quantificar a retenção de um agrotóxico pelo solo é o coeficiente de distribuição solo-água (K_d), também conhecido como coeficiente de partição. Altos e baixos valores desse coeficiente são indicativos de maior e menor retenção do pesticida pelo solo, respectivamente (Oliveira et al., 2004). Esse coeficiente fornece uma medida da distribuição relativa do agrotóxico entre o adsorvente (argila) e o solvente (usualmente água) e é calculado pela razão entre quantidade adsorvida e a concentração de equilíbrio da molécula em solução (Oliveira e Brighenti, 2011).

A taxa de adsorção também depende das propriedades físico-químicas do solo, principalmente, superfície específica e CTC dos minerais da fração argila (Oliveira et al., 2004). A superfície específica e a CTC do solo estão diretamente relacionadas com a mineralogia do solo (Tabela 1).

Tabela 1: Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Superfície específica dos constituintes do solo com capacidade de adsorção

Constituintes do solo	Capacidade de Troca de Cátions (Cmol _c Kg ⁻¹)	Superfície específica (m ² g ⁻¹)
Matéria Orgânica	200 – 400	500 - 800
Vermiculita (2:1)	100 – 150	600 - 800
Montmorilonita (2:1)	80 – 150	600 - 800
Haloisita (1:1)	5 – 50	21 – 43
Caulinita (1:1)	3 – 15	10 – 20
Óxidos e Hidróxidos	2 – 5	100 - 800

Adaptado de: Bailey e White (1970) e Resende et al., 1997

Solos com teores elevados de argila 2:1 e/ou de matéria orgânica proporcionam maior taxa de adsorção e persistência de herbicidas, e baixos índices de dessorção, lixiviação e degradação (Si et al., 2006). Porém, no Brasil predominam solos altamente intemperizados, como Latossolos e Argissolos, nos quais predominam os minerais do tipo 1:1 (Caulinita) e óxidos de Fe (goethita e hematita) e de Al (gibsitita), os quais possuem cargas variáveis e originárias da adsorção de íons na superfície dos colóides do solo (principalmente, H⁺ e OH⁻), sendo a carga líquida determinada pelo íon que é adsorvido em maior quantidade, e por isso a carga variável é dependente do pH (Fontes et al., 2001).

O valor de pH, no qual a quantidade de cargas reversíveis positivas e negativas nas superfícies dos minerais é igual, é conhecido como ponto de carga

zero (PCZ), esse valor varia de 6,5 a 8,0 para a hematita, de 7,5 a 9,5 para a gibbsita (Parfitt, 1980) e fica em torno de 4,6 para a caulinita (Stumm e Morgan, 1981). Quando o PCZ for maior que o pH do solo, há predomínio de carga negativa na superfície dos coloides.

Diante do exposto, nas condições do Brasil, a caulinita é a principal fonte de carga negativa no solo (CTC) entre as frações minerais. Todavia, a MOS possui CTC de 2 a 30 vezes maior que a dos coloides minerais, representando de 30 a 90% o poder de adsorção e 2 a 30 vezes a CTC dos solos minerais (Brady e Weil, 2002) e a preservação de matéria orgânica promove a diminuição do ponto de carga zero no solo (Canellas et al., 2007).

A matéria orgânica é a fração do solo que mais afeta a retenção de pesticidas não polares. Por outro lado, o tipo e a quantidade de argila e o valor de pH do solo têm-se mostrado importantes fatores em relação à sorção de pesticidas polares ou ionizáveis (Cheng, 1990).

Outro coeficiente bastante empregado para avaliar a sorção dos pesticidas no solo é o K_{oc} , o qual consiste na normalização do K_d em função do teor de carbono orgânico do solo e é representado pela razão entre o K_d e o CO. O K_{oc} reflete a tendência de adsorção do herbicida pelo carbono orgânico do solo, sendo comumente usado em modelos matemáticos para avaliar a transformação e o potencial de transporte de herbicidas no ambiente (Oliveira e Brighenti, 2011).

Alonso et al. (2011) relatam que há relação positiva entre o teor de MOS com a adsorção do indaziflam. O diuron, que assim como o indaziflam, apresenta características lipofílicas e baixa solubilidade em água (Inoue et al., 2008; Tompkins, 2010), também apresenta essa mesma relação, como observado por diversos autores (Alister e Kogan, 2010; Inoue et al., 2010; Liu et al., 2010; Rocha et al., 2013), assim como outros herbicidas lipofílicos (Freitas et al., 1999).

2.2.2.2. Lixiviação

A lixiviação é o movimento do herbicida junto com a solução do solo, estando intimamente relacionado com o teor de matéria orgânica e argila, a solubilidade do herbicida e a quantidade de água que se move através do perfil do solo (Guimarães, 1987) e para ser lixiviado, o herbicida deve estar na solução do solo ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácidos fúlvicos e

húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros (Oliveira e Brighenti, 2011).

Quanto maior a solubilidade dos compostos em água e maior a quantidade do produto no solo, principalmente em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, maior será a taxa de lixiviação (Futch e Singh, 1999). Os processos de sorção e dessorção de agrotóxicos no solo estão entre os principais mecanismos envolvidos na lixiviação de herbicidas, uma vez que alteram a concentração das moléculas na solução de solo, tendo consequências diretas sobre a lixiviação das mesmas no perfil solo (Marchese et al., 2007). A lixiviação dos herbicidas também pode ser influenciada pela estrutura e mineralogia do solo, pois são transportados, principalmente, por fluxo de massa, sendo maior o transporte em solos com maior número de macroporos (Inoue et al., 2008).

A lixiviação do herbicida indaziflam ainda é pouco estudada, com informações de que sua mobilidade no solo seja classificada entre moderada a móvel (Tompkins, 2010) ou a pouco móvel no solo (Alonso et al., 2011; Jhala; et al., 2012). Estudando a lixiviação do indaziflam (73 g.ia.ha^{-1}) em solo com 91,6% de areia, 4,4% de silte, 4,0% de argila e 0,46% de MOS no perfil de 0 a 0,30 m, características similares ao solo da classe textural areia da Tabela 1, Jhala e Singh (2012) detectaram a presença do herbicida até 0,12 e 0,27 m, aproximadamente, com simulação de 50 e 150 mm de chuva, respectivamente. Em solo com a mesma textura Jhala et al. (2012) obtiveram resultados similares e ainda observaram que, mesmo dobrando a dose (145 g.ia.ha^{-1}) o indaziflam não lixiviou a maiores profundidades, que foi detectado até aproximadamente 0,3 m de profundidade, com 150 mm de precipitação.

Por outro lado, herbicidas dos grupos químicos das Triazinas e triazinonas possuem grande potencial de lixiviação. Resultados de pesquisas apresentados por Monquero et al. (2008c) e Garcia et al. (2012) mostram, respectivamente, que o ametrine (triazina) e o hexazinone (triazinona) têm tendência a serem lixiviados por influência do volume das precipitações pluviais ou de irrigações artificiais, com efeitos mais pronunciados em solos com textura média e com menor teor de matéria orgânica. Essa movimentação no perfil do solo pode determinar a seletividade e/ou a eficiência de controle das plantas daninhas, além do potencial de contaminação de águas subterrâneas.

Para a avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por agrotóxicos utiliza-se o índice de GUS (*Groundwater Ubiquity Score*), sugerido por Gustafson (1989), que indica o potencial de lixiviação, a partir do Koc e da meia-vida ($t_{1/2}$) do produto no solo, calculado por: $GUS = \log(t_{1/2}) * (4 - (\log K_{oc}))$. Os agrotóxicos são classificados quanto à sua tendência à lixiviação para águas subterrâneas da seguinte forma: $GUS < 1,8$ não sofre lixiviação; $1,8 < GUS < 2,8$ faixa de transição; $GUS > 2,8$: provável lixiviação.

Por isso, atenção especial deve ser dada ao processo de lixiviação de herbicidas, pois esse fenômeno é um importante agente de contaminação de corpos d'água, superficiais e subsuperficiais, além de poderem determinar a seletividade e/ou a eficiência de controle das plantas daninhas pelo herbicida. Segundo Inoue et al. (2002), o processo de lixiviação é considerado a principal rota de contaminação de mananciais aquáticos subsuperficiais com pesticidas.

2.2.3. O papel da matéria orgânica do solo

O material orgânico pode influenciar de duas maneiras no comportamento do herbicida no solo: aumentando a sorção do herbicida, indisponibilizando-o na solução do solo e reduzindo sua degradação e/ou lixiviação; ou ativando a microbiota do solo e promovendo um aumento de sua degradação (Prata e Lavorenti, 2000). Dessa forma, Marchese et al. (2007) alertam por maior atenção quando da incorporação de resíduos orgânicos ao solo, como por exemplo, o lodo de esgoto, uma vez que isto irá influenciar diretamente a dinâmica do pesticida no ambiente, podendo diminuir a eficácia do produto. Segundo Traghetta et al. (1996), as substâncias húmicas (ác. Húmico, ác. Fúlvico e Humina) são os principais sítios de sorção do atrazine no solo. O ácido húmico é responsável por 70% da capacidade de sorção para a atrazina (Barriuso et al., 1992).

A adsorção da matéria orgânica à superfície da fração mineral do solo promove a queda no valor do PCZ, principalmente em solos com elevado estágio de intemperismo, contribuindo assim para a formação de carga negativa no solo, conforme já discutido no item 2.2.2.1. Siqueira et al. (1990) observaram um decréscimo de 1,3 unidades no PCZ de um Latossolo Vermelho, com alto teor de ferro, para cada unidade de carbono orgânico. Portanto, a carga negativa da

matéria orgânica desenvolve-se a valores de pH bem mais baixos do que nos óxidos e minerais, sendo menos provável o predomínio de cargas positivas em solos com alto teor de matéria orgânica, nas condições de pH comumente encontrados em solos brasileiros (Fontes et al. 2001).

Por isso, a matéria orgânica exerce grande influência na adsorção dos herbicidas apolares (lipofílicos) devido às interações hidrofóbicas entre herbicida e matéria orgânica do solo (Freitas et al. 1999; Inoue et al., 2008; Liu *et al.*, 2010; Alonso et al., 2011 e Rocha et al., 2013). Também tem influência sobre a adsorção de moléculas ionizáveis de caráter básico, como é o caso das Triazinas (Andrade et al. 2010; Silva et al., 2012) e de herbicidas que já possuem carga na sua estrutura, como o paraquat (Dias e Fleck, 1982). Como exemplo de herbicidas apolares pode-se citar herbicidas do grupo das sulfonilureias, como o diuron, e o novo herbicida indaziflam, da classe química “alkylazine” (Tompkins, 2010).

2.2.4. Persistência do herbicida no ambiente

A persistência do herbicida é definida como a habilidade do composto em manter sua molécula íntegra e, conseqüentemente, suas características físicas, químicas e biológicas. Herbicidas com baixa persistência são degradados no solo por meio de processos físicos (fotodecomposição), químicos (oxidação/redução, hidrólise, formação de sais insolúveis em água e complexos químicos) ou biológicos (degradação microbiológica) (Oliveira e Brighenti, 2011). A taxa de dissipação do herbicida no solo é normalmente descrita por sua meia-vida ($t_{1/2}$), que expressa o tempo em que 50% da quantidade inicialmente aplicada é dissipada no solo (Lavorenti et al., 2003). Assim sendo, quanto menor a $t_{1/2}$ de um produto, menor será sua persistência no ambiente e, conseqüentemente, menor o seu efeito residual.

As transformações químicas e biológicas são os processos mais importantes na degradação dos herbicidas no solo. A susceptibilidade ou a resistência de um produto à degradação determinará o seu tempo de permanência no solo (Oliveira e Brighenti, 2011). A persistência do herbicida também pode ser influenciada pelo transporte do produto no solo por meio de volatilização, lixiviação e escoamento superficial (Mancuso et al., 2011).

Características do solo como, material de origem, tipos de minerais predominantes na fração argila, grupos funcionais e a quantidade da matéria orgânica, são responsáveis pela persistência dos herbicidas nos solos (Weber et al., 2004), assim como as condições climáticas e a quantidade de herbicida aplicada ao solo (Kraemer et al., 2009). Esses fatores atuarão sobre a sorção e dessorção e, conseqüentemente, sobre a persistência da molécula no solo.

A sorção atua indiretamente sobre a persistência reduzindo a lixiviação do herbicida no solo, o que afeta diretamente sua persistência no meio, além de promover ação indireta ao reduzir sua disponibilidade na solução do solo, acarretando menores taxas de degradação (biótica e abiótica) da molécula (Huang et al., 2004). Segundo Reginato et al. (2006), em alguns casos, a quantidade sorvida do pesticida torna-se totalmente resistente à degradação microbiológica, enquanto que em outros, somente reduz sua taxa de liberação, não eliminando a biodegradação.

Enquanto a sorção protege a molécula herbicida da degradação, reduzindo seu transporte e a degradação no solo, o processo de dessorção exerce o papel inverso, embora a velocidade da dessorção seja muito mais lenta (Fernandes et al., 2006). Com isso, herbicidas que tendem a sofrer maior sorção no solo, os com características de ácido forte, tendem a persistir mais no solo, embora na forma de resíduo-ligado (não disponível), do que herbicidas com menor taxa de sorção. Já solos com maior teor de matéria orgânica tendem a proporcionar maior formação de resíduo-ligado com os herbicidas, sendo tão mais importante a participação da matéria orgânica na retenção dos produtos quando mais arenoso for o solo.

Práticas agrícolas que favoreçam o aumento da microfauna do solo podem acelerar os processos de degradação de herbicidas pelo aumento da população de bactérias, fungos e actinomicetos capazes de degradar os herbicidas. O uso constante de um mesmo princípio ativo também pode selecionar micro-organismos específicos para degradá-lo. Porém, apesar de muitas vezes existir condições favoráveis à degradação, o herbicida pode não estar acessível à microbiota por estar adsorvido ao solo, comprometendo sua biodegradação. Assim, o aumento da sorção do herbicida promove um decréscimo na taxa de biodegradação, podendo a quantidade sorvida do pesticida tornar-se totalmente resistente à degradação microbiológica em alguns

casos, enquanto, em outros, sorção somente reduz sua taxa de liberação, não extinguindo a biodegradação (Oliveira e Brighenti, 2011).

Nesse contexto, a maior ou menor persistência do herbicida no solo influenciará o controle das plantas daninhas, a sua toxicidade às culturas em sucessão e o risco de contaminação ambiental, dependendo das propriedades do solo (teor de CO, pH, textura), da população de microrganismos, das condições ambientais (temperatura, precipitação) e das práticas culturais (sistema de semeadura, doses aplicadas), as quais regulam a concentração, o fluxo e o tempo de permanência das moléculas na solução do solo (Oliveira Jr., 2001).

2.3. Banco de sementes do solo

O banco de sementes é definido como o “reservatório de sementes e órgãos de reprodução vegetativa viáveis, porém dormentes, presentes no solo e/ou restos vegetais” (Simpson et al., 1989). Todo ambiente vegetado em algum momento durante o ano, como terras cultivadas, pastagens, florestas, terras úmidas, entre outras, possuem uma reserva de sementes no solo, seja em maior ou menor quantidade. Essas reservas são conhecidas como bancos de sementes do solo, o qual tem a função básica, porém crucial à sobrevivência das espécies, de substituir as plantas eliminadas por determinada causa, seja por senescência natural, ataque de doenças e/ou pragas, movimentos de solo, queimada, estiagem, temperaturas adversas, inundação e consumo animal ou por ação do homem (Carmona, 1992).

A longevidade e a viabilidade das sementes do banco podem ser determinadas por fatores intrínsecos aos propágulos, como o tipo de dormência ou a sensibilidade à desidratação, e por fatores ambientais, como umidade, temperatura, luminosidade, predadores e patógenos (Schupp et al., 1989; Yenish et al., 1992). Dependendo das espécies que o compõem e das condições ambientais, os bancos de sementes podem ser classificados em transitórios ou permanentes em função do tempo em que as sementes permanecem viáveis no solo (Vasconcelos, 2012).

Os bancos de sementes “transitórios” são aqueles cuja germinação ocorre no período de no máximo um ano após a dispersão dessas sementes, permanecendo por um curto período de tempo no solo, germinando quando há

disponibilidade de água, de luz e de temperatura ideal. Já os bancos “persistentes”, ou “permanentes”, são aqueles cujas sementes ficam viáveis no solo por um período superior a um ano, sendo capazes de repor a população de plantas, que seja eliminada por algum motivo, durante grande período de tempo, principalmente devido a mecanismos de dormência, requerendo condições específicas para germinar (Thompson, 1992).

As espécies que fazem parte dos bancos transitórios não acumulam sementes no solo e são muito raras, sendo mais relevantes para aspectos de regeneração e sucessão florestal, tendo pouca importância para a agricultura (Vasconcelos, 2012) e têm o papel de reestabelecer as populações após um ano de pouca produção de sementes, enquanto que os persistentes são capazes de regenerar a população, após a sua extinção de áreas onde estavam estabelecidas há muitos anos. Existem indícios de que a presença de bancos persistentes está associada à presença de sementes compactas, pequenas, lisas, que possuem mecanismos preciosos de estímulo à germinação (Thompson, 1987).

Como exemplos de espécies que compõem o banco de sementes permanente pode-se citar *Chenopodium album*, *Sinapsis arvensis*, *Viola arvensis*, *Amaranthus retroflexus* e *Euphorbia exigua*. As plantas daninhas geralmente formam bancos permanentes, com algumas exceções, podendo-se citar entre as que formam bancos transitórios *Avena fatua*, *Alopecurus myosuroides* e *Matricaria perflorata* (Barralis et al., 1986). Entre as que formam bancos permanentes estão *Brachiaria plantaginea* de 5 a 10 anos, *Digitaria horizontalis* de 5 a 7 anos, *Amaranthus* spp. de 5 a 9 anos, *Bidens pilosa* de 3 a 4 anos, *C. benghalensis* de 10 a 20 anos (Voll et al., 2001; Voll et al. 1997b; Voll et al. 1997c).

Segundo Carmona (1992), o tamanho e a composição botânica dessa reserva de sementes, em um dado momento, serão resultantes do balanço entre a entrada de novas sementes e as perdas de sementes que já compõem o banco (Figura 2).

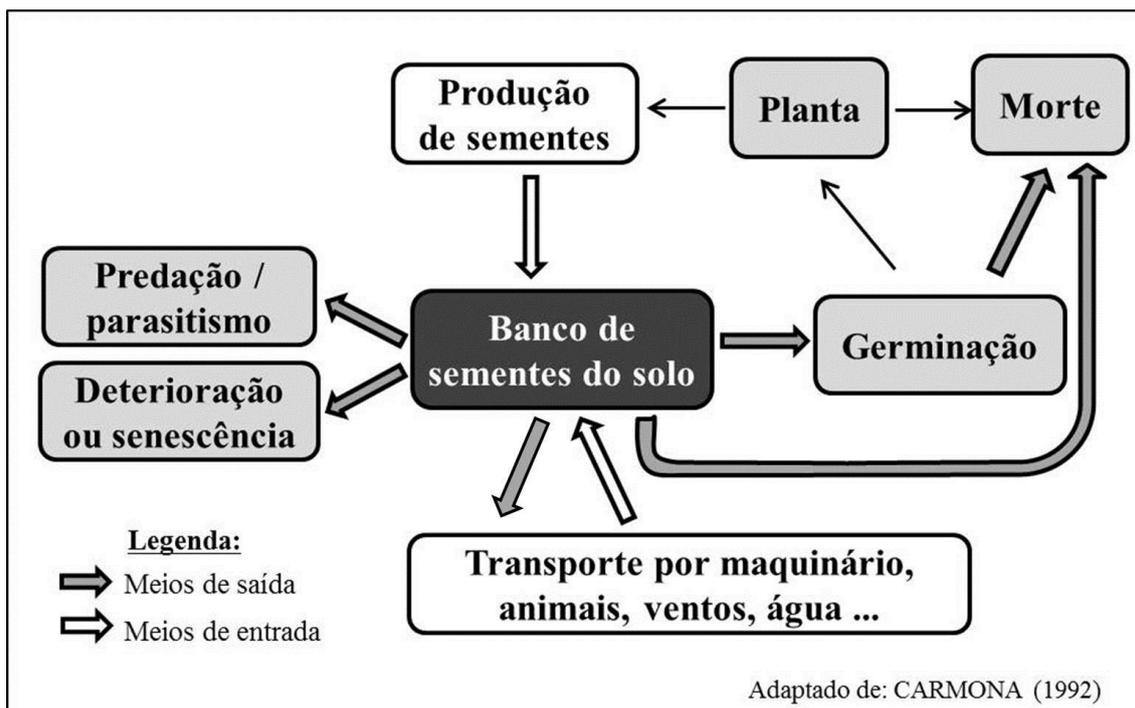


Figura 2: Dinâmica do banco de sementes do solo, mostrando os meios de saída e de entrada de sementes no sistema.

O principal meio de entrada de sementes no banco é a chamada “chuva de sementes”, que é a queda das sementes da planta mãe proveniente do banco de sementes da área ou de áreas adjacentes. Outras formas de entradas são por meio de máquinas e implementos, ventos, trato digestivo de animais, água de irrigação e pelo próprio homem. Por outro lado, as sementes podem sair do banco do solo por meio de germinação, morte, transporte por agentes de dispersão e predação e/ou a deterioração da semente (Carmona, 1992). Os agentes de introdução assumem maior importância quando se trata de espécies de difícil controle, como por exemplo, *Cyperus rotundus* e *Cynodon dactylon*, consideradas altamente prejudiciais à cultura, como plantas parasitas ou resistentes à herbicida, ou quando a espécie ainda não existe na área (Pitelli e Kuva, 1998). Dessa forma, o banco de sementes do solo é um sistema dinâmico que está em constante alteração, tanto no número de indivíduos quanto no número de espécies que o compõem.

A dormência é um importante mecanismo para a sobrevivência das sementes de plantas daninhas por meses ou anos, podendo ser regulada por

mecanismos morfológicos, físicos, químicos e fisiológicos ou por uma interação de mecanismos, os quais são afetados por fatores externos, como temperatura, umidade e luz (Vivian et al., 2008).

A taxa elevada de persistência dessas espécies no banco de sementes do solo pode estar relacionada com esses mecanismos de dormência. Como exemplo de dormência em plantas daninhas, Duarte et al. (2012) verificaram que após a maturação fisiológica das sementes de *A. hispidum*, que ocorre aos 21 dias após a antese floral e indicada pela seca dos espinhos, ocorre a indução de dormência e são liberadas sementes dormentes para compor o banco de sementes do solo. Segundo esses autores, a dormência da semente dessa espécie é de natureza fisiológica e pode ser superada pela imersão em solução de Giberelina.

As práticas adotadas no manejo da cultura, do solo e das plantas daninhas, alteram e atuam sobre a dinâmica de entrada e saída de sementes no banco, refletindo, em médio e longo prazo, na composição e no número de espécies presentes no sistema (Kuva et al., 2008). Blanco et al. (1994) demonstraram que o controle periódico das populações, não permitindo a reprodução sexuada das espécies dentro de um ciclo, determinou índices populacionais extremamente baixos no ciclo seguinte, quase eliminando as espécies *Amaranthus viridis*, *B. pilosa*, *B. plantaginea* e *Digitaria horizontalis*.

Porém, menores taxas de redução no banco de sementes da espécie *A. hispidum* foram observadas por Voll et al. (1997a) quando foi feito o controle das plantas daninhas com herbicida, com redução de 36% ao ano, contra 49% ao ano sem o uso de herbicidas. Dados semelhantes também foram observados por Voll et al. (1997b) para a espécie *C. bengalensis*, com redução de 10,3 e 19,3% ao ano, para os manejos com e sem herbicida, respectivamente. Em ambos os trabalhos, os autores argumentam que a maior taxa de redução nas áreas sem herbicida se deu porque nessas áreas houve grande infestação com *B. plantaginea*, gerando grande competitividade e inibindo o desenvolvimento das espécies em estudo, com aumento do banco de sementes da espécie predominante em ambos os casos.

O manejo do solo também pode influenciar o banco de sementes em função da alteração na distribuição das sementes no perfil do solo e,

consequentemente, dos fatores ambientais disponíveis para sua germinação e predação.

Em sistemas conservacionistas do solo, sem revolvimento, como ocorre em sistema de plantio direto (SPD), há maior tendência das sementes se concentrarem nas camadas mais superficiais do solo, onde são mais fáceis de serem controladas (Chauhan e Johnson, 2009), uma vez que encontram melhores condições para germinar, ocasionando maiores fluxos de germinação em curto prazo nesses sistemas (Grundy et al., 2003) além de facilitar a predação (Jacob et al., 2006), o que acelera a redução das reservas do banco de sementes.

Analisando a dinâmica da espécie *C. bengalensis* no banco de sementes em diferentes manejos do solo, Voll et al. (1997b) observaram maiores taxas de redução no SPD, com redução de 18,7% ao ano contra 9,9%, 10,3 % e 13,8% nos solos manejados com arado de aiveca, manejo convencional e com escarificação mais gradagem, respectivamente. Segundo os autores, a maior taxa de redução observada no SPD deve-se às diferentes condições ambientais de umidade e temperatura, favoráveis à quebra da dormência e à germinação das sementes e, principalmente, à alta concentração das sementes na camada superficial do solo.

Ikeda et al. (2007) também observaram que o sistema convencional de preparo de solo, comparado ao SPD, apresenta maior densidade de sementes de plantas daninhas e que os sistemas de integração lavoura pecuária, onde não há revolvimento constante do solo, podem reduzir consideravelmente o banco de sementes quando comparados a sistemas contínuos de lavoura.

Avaliando o banco de sementes de um pomar de citros, pelo método do fluxo de emergência de plântulas em casa de vegetação, com diferentes manejos de plantas daninhas na entrelinha (por meio de roçadeira, glifosato, adubação verde e gradagem), Caetano et al. (2001) observaram maior densidade de plantas daninhas na área que recebeu gradagem, onde ocorreu 38,16% de todas as plantas que emergiram no experimento. As menores densidades foram observadas nas áreas de adubação verde, com 6,65% das plântulas emergidas na área com Guandu e 10,61% na área com lab-lab. Nas áreas manejadas com roçadeira e glifosato continham 24,02 e 20,55% das plântulas emergidas, respectivamente.

Segundo Carmona (1992), o menor banco de sementes observado em áreas de adubação verde, provavelmente se deve ao controle cultural das plantas daninhas pelo sombreamento gerado pelas plantas de cobertura do solo, impedindo assim a principal fonte de entrada de sementes no banco do solo, como ilustrado na Figura 1.

Assim, uma boa cobertura de solo e os manejos adequados das plantas daninhas evitando-se a produção e propagação de sementes, tendem a acelerar o decréscimo no banco de sementes no solo, pois não permitem que as sementes localizadas em camadas mais profundas germinem, perdendo assim sua viabilidade (Kaefer et al., 2012) e facilitam a germinação das sementes localizadas na superfície do solo, facilitando seu manejo e reduzindo as chances dessas plantas completarem o ciclo e introduzir suas sementes novamente ao banco.

2.3.1. O procedimento de amostragem

Um dos fatores importantes no estudo do banco de sementes está relacionado com as técnicas utilizadas na sua determinação (Caetano et. al, 2001). A amostragem do solo é o início dos trabalhos para o estudo do banco de sementes e deve ser realizada cuidadosa e eficientemente, procurando representar ao máximo, qualitativa e quantitativamente, as sementes ali existentes. Para isso, deve-se definir o número de amostras necessárias para uma determinada área e a forma como estas serão coletadas e avaliadas.

Apesar de parecer um procedimento simples, a definição do número de amostras é bastante complexa e envolve diversos fatores. Segundo Benoit et al. (1989), o número de amostras para o levantamento do banco de sementes é, em muitos casos, definido arbitrariamente em função do custo e dos recursos disponíveis, como, por exemplo, tempo, espaço e mão de obra. Entretanto, Machado et al. (2010) afirmam que dentre os critérios usados na escolha do número de amostras também deve-se levar em consideração a praticidade da coleta e o tempo necessário para separar as sementes do solo. Mas, mesmo sabendo das dificuldades impostas por esses fatores descritos anteriormente, existem regras que orientam o pesquisador quanto ao número ideal de amostras.

Benoit et al. (1989) afirmam que o número ideal de amostras não é preestabelecido para um determinado solo, mas sim definido em função do

número de sementes existentes por área no solo avaliado, de forma que quanto maior o número de sementes, menor será a variância dessas amostras e, conseqüentemente, menor o número de amostras necessárias. Da mesma forma, Voll et al. (2003) relatam que para se determinar o tamanho da amostragem deve-se levar em consideração as médias de sementes ou o somatório das sementes de plantas daninhas de interesse econômico existentes na área.

Para Simpson et al. (1989), o número ideal de amostras também se dá em função do grau de precisão desejada pelo pesquisador, não tendo relação com o tamanho da área avaliada. Conforme esses autores, é mais aconselhável que se colete um grande número de subamostras com menor volume de solo para a formação de poucas amostras compostas, das quais se retira uma quantidade de solo para realizar as avaliações, do que amostras únicas com grande volume de solo. Informações estas confirmadas por Voll et al. (2003) quando, trabalhando com amostras compostas formadas por 10 subamostras observaram que, para uma população de 500 a 1.000 sementes.m⁻², o ideal é que se trabalhe com um número de nove a quatro amostras (ou 90 a 40 subamostras) para uma precisão de 20% (C.V. = 20%), sendo que este número diminui para duas a uma amostra (ou 20 a 10 subamostras) para uma menor precisão dos dados (C.V. = 40%).

Ao estudarem o número de amostras necessárias para obtenção de uma boa precisão na quantificação do número de sementes de arroz-vermelho do banco de sementes do solo, Machado et al. (2010) corroboraram essas informações ao concluírem que o número de amostras é variável conforme a precisão desejada pelo pesquisador. Os resultados mostraram que, utilizando um trado de 5 cm de diâmetro e uma precisão de 20% de erro, foram necessárias 599, 122 e 62 amostras para os níveis de infestação de 71, 282 e 498 sementes.m⁻², respectivamente. Os autores sugerem ainda que em estudos com tratamentos com muita discrepância na taxa de infestação, deve-se definir o número de amostras necessárias pelo tratamento com menor infestação.

Outro fator importante que se deve levar em consideração durante a avaliação do banco de sementes é que o material vegetal da superfície do solo, comum em sistema de plantio direto e no sistema de colheita da cana crua, também atua como importante reserva de sementes em sistemas

conservacionistas. Simpson et al. (1989) relatam que em casos onde se têm presença de restos vegetais sobre o solo, é fundamental que a amostragem inclua esse material, uma vez que estas podem conter muitas sementes.

Estudando o banco de sementes do solo em 29 talhões de cana soca, por mais de cinco anos sendo colhido sem a queima prévia da palha, Kuva et al. (2008) encontraram média de 350,3 sementes m^{-2} na camada de 0 a 10 cm de solo, ficando muito abaixo dos números obtidos por Carmona (1995) para área de rotação de culturas anuais, várzea e coroa de pomar de citros (6.768, 22.313 e 3.595 sementes m^{-2} , respectivamente) e pouco abaixo da área de pastagem (529 sementes m^{-2}). Os autores justificam a baixa densidade de sementes pelo fato de as amostras terem sido coletadas mediante o afastamento da palha existente sobre o solo e com isso, as sementes produzidas durante o último ciclo podem ter ficado retidas na palha, sendo excluídas das amostras, subestimando assim a densidade real de sementes. Esses dados confirmam a importância da afirmação de Simpson et al. (1989).

Outro fator que se deve considerar para a coleta das amostras é o diâmetro do trado coletor. Roberts e Neilson (1982) salientam que o diâmetro do trado não deve exceder a 2,5 centímetros, embora o grupo de pesquisadores da *European Weed Research Council* recomende 4,5 centímetros (Barralis et al., 1986).

Machado et al. (2010) estudando o efeito de três diâmetros de trado (5, 10 e 15 cm) utilizados para coleta das amostras de solo, em três áreas com índices de infestação por sementes de arroz vermelho diferentes, verificaram que para o maior nível de infestação estudado (498 sementes. m^{-2}), houve correlação linear negativa entre o diâmetro do trado e o número de sementes estimadas por área, mostrando que nesse caso, o nível de infestação foi superestimado pelo trado de menor diâmetro, discordando de Roberts e Neilson (1982). Os autores verificaram ainda que, para os níveis de infestações baixo e médio (71 e 282 sementes. m^{-2}), quanto menor o diâmetro do trado utilizado na amostragem, maior é o coeficiente de variação, para um mesmo número de amostras, porém essa correlação não foi significativa na área de alta infestação, onde todos os diâmetros de trados foram representativos para a quantificação do banco de sementes.

Já a profundidade de amostragem é definida em função do tipo de área que se pretende estudar e do objetivo da pesquisa. Em solos cultivados, recomenda-se retirar as amostras na profundidade de cultivo. Nessas áreas, cerca de 90% ou mais das sementes encontram-se nos primeiros 20 cm, com densidade populacional decrescente à medida que se aumenta a profundidade (Granatos e Torres, 1993).

Contudo, dependendo do objetivo do pesquisador, é interessante avaliar em separado os diferentes perfis na profundidade de cultivo, pois há diferenças na distribuição de sementes nas diferentes profundidades. Caetano et al. (2001) estudando o banco de sementes em um pomar de Citros, com diferentes manejos das plantas daninhas na entrelinha (roçagem, subdose de glifosato, gradagem do solo, e adubação verde com guandu e com lab-lab) em duas profundidades, chegaram à conclusão que o maior número de sementes estava concentrado nas camadas superficiais do solo (0-10 cm) em todos os tratamentos estudados, sendo que nessa profundidade foram contabilizadas 76,1; 73,6; 77,2; 74,3 e 72,6% das plântulas emergidas para os manejos roçagem, glifosato, gradagem, guandu e lab-lab, respectivamente, durante o período seco do ano.

Trabalhando em menores amplitudes do perfil do solo Lacerda (2003), ao avaliar o banco de sementes de solo argiloso por meio da contagem de plantas emergidas em casa de vegetação, constatou que as sementes de plantas daninhas estavam em maior número na camada de 2,5 a 5 cm de solo nas áreas com SPD em relação ao sistema de plantio convencional. Na profundidade de 0 a 2,5 cm os autores não encontraram diferença entre os dois sistemas de plantio.

2.3.2. Metodologias de avaliação

A metodologia de avaliação constitui um dos maiores problemas da aplicação prática do levantamento do banco de sementes do solo, a qual ainda é muito trabalhosa e despense muita mão de obra, por depender da coleta das amostras de solo no campo, em número e volume adequados, e sua posterior avaliação. Segundo Martins e Silva (1994), as metodologias empregadas no estudo de bancos de sementes, além de trabalhosas, não têm sido eficientes, principalmente quando existe a necessidade de se quantificar o total de sementes viáveis presentes no solo.

A maneira mais simples e fácil de detectar a presença de sementes de plantas daninhas em uma amostra de solo é por meio da observação da germinação das sementes e emergência das plântulas no próprio local (Roberts, 1981), sendo esse método comumente utilizado (Monquero et al., 2008a; Mesquita, 2011). Essa técnica pode dar uma noção geral sobre o tamanho e a composição do banco de sementes, porém não é um método preciso para determiná-lo (Mortimer, 1990), pois as sementes podem permanecer viáveis no solo por um longo período sem germinar e, algumas sementes germinadas não chegam a emergir devido às condições ambientais desfavoráveis ou à profundidade de enterrio excessiva.

Segundo Roberts, 1981, o ideal é que se colete a amostra de solo e a coloque em local apropriado, em geral em uma casa de vegetação, onde possa dispor de condições favoráveis à germinação para adequada determinação do número de sementes.

Mesmo sendo mais preciso que a contagem de plântulas emergidas no campo a contagem do fluxo de emergência em casa de vegetação não determina o número total de sementes, o que só seria possível por meio de outra metodologia, a qual promove a separação física das sementes do solo, por meios químicos ou físicos, com a posterior identificação e contagem direta das sementes (Simpson et al, 1989).

Portanto, uma vez realizada a correta amostragem do solo, existem duas metodologias disponíveis para avaliar o banco de sementes: a contagem da emergência de plântulas da amostra e a contagem direta das sementes separadas do solo (Simpson et al, 1989).

2.3.2.1. Contagem de plântulas em casa de vegetação

Conforme Putwain e Gillham (1990), a metodologia de contagem das plântulas emergidas é a mais utilizada na determinação do número de sementes, sendo que o solo deve ser espalhado em fina camada e mantido úmido, para assegurar as condições ambientais favoráveis à germinação das sementes e evitar que sementes germinadas não consigam emergir devido à profundidade de enterrio excessiva (Lacerda, 2003).

As condições ideais para a germinação de todas as sementes, como temperatura, fotoperíodo, disponibilidade de oxigênio e de água, textura do solo,

entre outras, são difíceis de serem alcançadas (Simpson et al., 1989) e, por isso, essa metodologia pode subestimar o número de sementes viáveis existentes no banco. Esse problema também pode ocorrer, segundo Gross (1990), devido ao fato das espécies de plantas daninhas apresentarem diferentes fluxos de emergência durante o ano, podendo germinar ou não durante a avaliação. Para que a determinação seja mais confiável, o ensaio deve ser conduzido por períodos longos, avaliando-se vários fluxos de emergência.

Estudando a dinâmica de emergência de seis infestantes, em condições de campo, Blanco et al. (1994) verificaram que as espécies *Amaranthus viridis*, *Bidens pilosa*, *Brachiaria plantaginea* e *Digitaria horizontalis* apresentaram fluxo de emergência alto em outubro, com pequeno índice de reinfestação nos meses seguintes. Já as espécies *Eleusine indica* e *Eragrostis pilosa* tiveram baixa taxa de emergência em outubro, elevando-se até janeiro, quando ocorre o maior fluxo de emergência dessas espécies.

Apesar de suas limitações, a contagem de plântulas emergidas por vários fluxos de emergência, em casa de vegetação, é uma boa opção para o estudo da comunidade infestante, especialmente quando o índice de infestação é alto, proporcionando um bom entendimento da dinâmica das plantas daninhas, por avaliar apenas as sementes viáveis (Simpson et al., 1989).

2.3.2.2. Contagem direta de sementes na amostra de solo

Essa metodologia é um pouco mais trabalhosa, porém, permite quantificar com maior eficiência o número de sementes presente na amostra em comparação ao método de contagem da emergência de plântulas.

Para adoção desse método é necessário que as sementes sejam separadas do material mineral (solo), podendo a separação ser realizada por meio do uso de peneiras, flotação, limpadores de sementes à base de ar ou ainda a catação manual com auxílio de lupa. Esse método determina o número total de sementes no solo, mas, não dá nenhuma informação sobre sua viabilidade, que deve ser posteriormente estabelecida por um teste de germinação ou de tetrazólio (Simpson et al., 1989; Oliveira et al., 2009).

O primeiro passo da separação é a passagem da amostra de solo em peneiras. Para evitar perdas de sementes, pode-se utilizar uma série de peneiras de diferentes malhas, fator crítico na determinação da eficiência de separação

das sementes. Malhas de 0,2 mm podem reter a maioria das sementes pequenas das diferentes espécies. Diferença no tamanho de sementes pode ocorrer inter e intraespécie e até mesmo entre sementes da mesma planta, o que reforça a necessidade de escolha de malha menor o suficiente para reter as menores sementes (Oliveira et al., 2009). Entretanto, existem na literatura trabalhos em que as sementes foram separadas por malhas de 0,3 mm (Carmona, 1995; Isaac e Guimarães, 2008) e 0,5 mm (Voll et al, 1997 a, b, c; Voll et al., 2001; Voll et al. 2003).

As sementes separadas do solo são identificadas em laboratório com auxílio de uma lupa, ou microscópio, por meio de literatura especializada (Lorenzi, 2006) e/ou por comparação com sementes coletadas em plantas que se desenvolvem no local do estudo (López, 2003).

Este método tem apresentado vantagens sobre o método de emergência porque os resultados não são influenciados pelos fatores ambientais que controlam a germinação, atuando de maneira diferente sobre as diferentes espécies. Por outro lado apresenta o inconveniente de perda de sementes pequenas ou pouco coloridas, diminuindo a precisão do método. Outro problema é a dificuldade de distinção entre sementes viáveis e não viáveis, o que pode superestimar o potencial de infestação do solo (Silva, 2009).

Uma combinação da contagem de emergência de plântulas com a contagem direta das sementes pode fornecer uma estimativa mais precisa do tamanho do banco de sementes do que o uso de uma ou outra técnica sozinha (Simpson et al., 1989), como realizado por Kuva et al. (2008).

2.3.3. Relação entre banco de sementes e fitossociologia

Além dos estudos do banco de sementes do solo, também são realizados levantamentos fitossociológicos pela contagem direta das plantas estabelecidas no campo, o qual proporciona o real índice de infestação para o momento da amostragem.

Kuva et al. (2008) compararam os dois métodos de avaliação do banco de sementes do solo com o levantamento das plantas estabelecidas em área de cultivo de cana-de-açúcar, onde as amostras para o levantamento do banco de sementes foram coletadas. Os autores observaram que banco de sementes, tanto pelo método de extração e contagem direta de sementes quanto de

contagem de plântulas emergidas em bandejas, foi pouco eficiente para estimar a flora que se estabeleceu no campo, independente da época de colheita da cana, uma vez que a correlação entre o banco de sementes (para os dois métodos) e a flora estabelecida foi não significativa.

3. TRABALHOS

3.1. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS PELO INDAZIFLAM EM SOLOS COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS¹

RESUMO

Indaziflam é um ingrediente ativo herbicida pertencente ao novo grupo químico “Alkilazine”. Para avaliar a influência do indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas foi conduzido experimento no DBC em casa de vegetação, com quatro repetições e em esquema fatorial 3x6x5. Os tratamentos constaram de três solos com diferentes características físico-químicas, cinco doses de indaziflam (0; 30; 60; 90; 120 e 150 g.ia.ha⁻¹) e cinco espécies daninhas (3 Liliopsidas: *Rottboellia cochinchinensis*-ROOEX, *Panicum maximum*-PANMA, *Digitaria horizontalis*-DIGHO; e 2 Magnoliopsidas: *Euphorbia heterofila*-EPHHL e *Ipomoea grandifolia*-IAOGR). O solo foi peneirado, colocado em bandejas perfuradas e as espécies semeadas a 0,015 m de profundidade. O herbicida foi aplicado sobre solo úmido e as bandejas colocadas sob

¹Artigo submetido em 11/04/2014 para publicação na Revista Plantas Daninhas.

irrigação diária de 5 mm, aproximadamente. Avaliou-se a emergência, sete dias após a aplicação-DAA, e o controle das espécies, 40 DAA. O indaziflam foi mais eficiente no controle das Liliopsidas. Na dose 30 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam houve controle de 100% das espécies DIGHO e PANMA, independente do material de solo em que se desenvolveram e, para ROOEX, acima de 95% nos solos de textura arenosa e franco-argilo-arenosa. No solo de textura argilosa, ROOEX foi satisfatoriamente controlada com dose estimada a partir de 50 g.ia.ha⁻¹. As espécies EPHHL e IAAGR tiveram controle acima de 80% a partir das doses estimadas de 65 e 72 g.ia.ha⁻¹, respectivamente, em solo com textura franco-argilo-arenosa, no qual obteve-se as melhores taxas de controle dessas espécies.

Palavras-chave: classe textural do solo, matéria orgânica do solo, herbicida, alkylazine.

ABSTRACT

Indaziflam efficiency in soils with different physico-chemical properties

Indaziflam is a new active ingredient, whose mechanism of action is the inhibition of cellulose biosynthesis. To evaluate the influence of the physico-chemical characteristics of the soil on the efficiency of indaziflam an experiment was conducted in a greenhouse, in Campos dos Goytacazes –Brazil, in DBC with four replications and a factorial 3x6x5. The treatments consisted of three contrasting soils (textural classes: sand, clay and sandy clay loam), five doses of indaziflam (0; 30;60; 90; 120 and 150 g.ai.ha⁻¹) and five weed species (3 Liliopsidas: *Rottboellia cochinchinensis*-ROOEX, *Panicum maximum*-PANMA and *Digitaria horizontalis*-DIGHO; 2 Magnoliopsidas: *Euphorbia heterophila*-EPHHL and *Ipomoea grandifolia*-IAOGR). The soil was sieved and placed on perforated trays, while the species were seeded at a depth of 0.015 m. The herbicide was applied to moist soils and trays placed under daily irrigation of 5 mm, approximately. The emergence of weeds was assessed seven days after the treatment – DAA and the control of weeds, 40 DAA. The indaziflam was more effective in controlling Liliopsidas. Rates

of 30 g.i.a.ha⁻¹ was indaziflam controlled 100% of the species DIGHO and PANMA, independent of the soil where they have developed and, to ROOEX, above 95% in soils of sandy clay loam and sandy texture. In clay texture, ROOEX was satisfactorily controlled with estimated from 50 g.i.a.ha⁻¹ dose. The EPHHL and IAAGR species had above 80% control for rates estimated in 65 and 72 g.i.a.ha⁻¹, respectively, in sandy clay loam soil texture, which gave the best control these species.

Keywords: soil texture, soil organic matter, herbicide, alkylazine.

INTRODUÇÃO

O Indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine) é um ingrediente ativo com efeito herbicida, pertencente à nova classe química “alkylazine”. Seu mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose (Tompkins, 2010). Pode controlar tanto Liliopsidas quanto Magnoliopsidas, em pré ou em pós-emergência inicial (Brosnan et al., 2011; Perry et al., 2011; Brosnan et al., 2012).

Os herbicidas foram a classe de agrotóxicos mais consumidos no Brasil em 2012, respondendo por 32,3% do faturamento e 57,1% da quantidade vendida (Ferreira, 2013), mostrando sua importante participação na agricultura brasileira. É importante usá-los de forma racional e consciente, pois a agricultura é muito questionada e julgada do ponto de vista ambiental, e para isso, muitos estudos são realizados para compreender o comportamento desses produtos no solo (Mancuso et al., 2011).

Ao entrar em contato com o solo os herbicidas estão sujeitos a processos de degradação e sorção, que regulam seu destino no ambiente, podendo ser absorvidos pelas plantas, lixiviados para camadas subsuperficiais ou ligarem-se aos coloides ou matéria orgânica do solo – MOS (Mancuso et al., 2011). Características físico-químicas do solo (pH, textura e MOS) e do herbicida (solubilidade em água, coeficiente de partição

octanol-água - K_{ow} , coeficiente de sorção - K_d , coeficiente de sorção normalizado para MOS - K_{oc} , constante de ionização ácido - pK_a , ou básica - pK_b e meia vida - $t_{1/2}$) e suas inter-relações com os sistemas biológicos, atmosféricos e aquáticos, regulam os processos de retenção do herbicida no solo (Tang et al., 2009; Oliveira & Brighenti, 2011; WU et al., 2011). Segundo Pateiro-Moure et al. (2009), é difícil descrever a complexidade das interações entre essas moléculas e o solo, uma vez que os atributos do solo e os mecanismos de sorção atuam simultaneamente.

A solubilidade em água do indaziflam é baixa ($0,0028 \text{ kg m}^{-3}$ a 20°C), o $K_{oc} < 1.000 \text{ mL g}^{-1}$ de carbono orgânico, $Pka = 3,5$ e $\log K_{ow}$ em pH 4; 7 ou 9 = 2,8 sendo esse herbicida considerado moderadamente móvel (Tompkins, 2010) ou a pouco móvel no solo (Alonso et al., 2011; Jhala et al., 2012; Jhala & Singh, 2012). Quanto menor a solubilidade em água do herbicida maior será a afinidade da molécula pela MOS, principal sítio de sorção de herbicidas pouco solúveis em água, devido à sua alta CTC e característica lipofílica (Kawamoto & Urano, 1989). Esses herbicidas também podem ser adsorvidos pelos coloides de argila (Vivian et al., 2007; Inoue et al., 2008; Rocha et al., 2013). Esse fenômeno torna a dose de herbicidas, principalmente dos lipossolúveis, altamente dependente dessas características do solo.

Em relação a outros herbicidas pré-emergentes o indaziflam apresenta maior $t_{1/2}$ no solo, o que permite maior flexibilidade no momento de sua aplicação (Tompkins, 2010; Kaapro & Hall, 2012). Aplicado em pré-emergência, o indaziflam proporcionou controle entre 91 e 94% de *Digitaria ischaemum* aos 195 dias após a aplicação - DAA (Brosnan et al., 2011) e maior que 90% para *Digitaria sanguinalis* 203 DAA (Perry et al., 2011). Esse último relata que o efeito residual do indaziflam pode variar para diferentes espécies.

Com isso, as características físico-químicas do solo podem afetar a disponibilidade do indaziflam do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do indaziflam em

três solos com características físico-químicas diferentes sobre a eficiência de controle de cinco espécies de plantas daninhas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ. Os tratamentos foram arranjados no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial triplo (3x6x5) e contaram de amostras de três tipos de solos, coletadas na camada de 0 a 0,10 m, com características químicas e físicas distintas (Tabela 1), cinco doses do herbicida indaziflam (30; 60; 90; 120 e 150 g.ia.ha⁻¹) mais a testemunha sem herbicida e cinco espécies de plantas daninhas, três Liliopsidas (*Rottboellia cochinchinensis*-ROOEX, *Panicum maximum*-PANMA e *Digitaria horizontalis*-DIGHO) e duas Magnoliopsidas (*Euphorbia heterofila*-EPHHL e *Ipomoea grandifolia*-IAOGR).

Tabela 1. Características físico-químicas dos materiais de solo, camada de 0 – 010 m, utilizados no experimento. Análise: Centro de análises de solos da UFRRJ, campus Leonel Miranda. CTC: capacidade de troca de cátions; MOS: matéria orgânica do solo

Tipos de Solo*	pH	Análise química							
		P	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+AL	CTC	MOS
		mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	Cmol /dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
ArgA	5,1	21	100	0,5	0,2	0,6	4,3	5,3	1,7
GleiH	6,8	418	242	13	5,5	0	3,5	23	5,1
NeoF	6,5	57	144	3,2	1,5	0	2,2	7,3	2,5

Tipo de Solo ¹	Análise física e classificação textural			Classe Txtural**
	Areia	Silte	Argila	
	%			
ArgA	90,7	0,3	9,0	Areia
GleiH	19,1	39,4	41,5	Argila
NeoF	58,6	14,2	27,2	Franco-argilo-arenosa

ArgA: Argissolo Amarelo. **GleiH:** Gleissolo Háplico. **NeoF:** Neossolo Fúlvico. * Tipo de solo predominante na região (IBGE e EMBRAPA, 2014). ** Estados Unidos (1993).

O solo foi peneirado e colocado em bandejas com dimensão de 0,32x0,20x0,07 m e capacidade para 4,5 m³ de substrato, perfuradas no fundo, cada qual considerada como unidade experimental. As sementes foram adquiridas em empresa especializada e cada espécie foi semeada em área igualmente dividida de 0,064 x0,20 m, a 0,015 m de

profundidade, em quantidade suficiente para germinar 25 plantas, segundo informação da empresa fornecedora.

As bandejas foram irrigadas na noite anterior à aplicação do herbicida e colocadas no chão, regulando-se a barra de pulverização a 0,5 m de altura da superfície das bandejas. O indaziflam foi aplicado no dia 29/11/2013, às 06 horas, com auxílio de um pulverizador montado dentro da casa de vegetação, movido por um motor de portão elétrico em um sistema de trilhos a velocidade constante de 1 m.s^{-1} , acionado por controle remoto. Para obtenção dessa velocidade, foi confeccionada uma engrenagem de TECNIL com 66 dentes, que foi adaptada ao eixo do motor. Ao sistema de trilhos foi adaptado um pulverizador pressurizado com CO_2 , ao qual foi instalado um barômetro para obtenção de uma pressão de $2,8.10^5 \text{ Pa}$ e volume de calda de 220 L ha^{-1} .

Os bicos de pulverização utilizados foram tipo leque com indução de ar, modelo TEEJET AI 110 02, montados na barra de pulverização com cinco bicos espaçados em 0,5 m. Entre as bandejas foram colocados papel hidrossensível, para verificar a distribuição das gotas da pulverização. No momento da aplicação a temperatura era de $30,5^\circ\text{C}$, a umidade relativa do ar de 72% e a velocidade média do vento de $1,4 \text{ Km.h}^{-1}$. A calda de pulverização foi preparada na concentração de $0,14 \text{ g i.a. m}^{-3}$ e em cada passada do pulverizador correspondeu à aplicação de aproximadamente 30 g.i.a.ha^{-1} .

Após a pulverização as bandejas foram colocadas na bancada com sistema de irrigação automatizado, com cinco irrigações diárias programadas para as 08:00; 10:00; 12:00, 14:00; 16:00 e 18:00 horas, com aproximadamente 1 mm cada. Foi avaliada a taxa de emergências, pelo número de plântulas emergidas no sétimo dia após a aplicação do herbicida (DAA), e o nível de controle, pelo número médio de plantas sobreviventes aos 40 DAA, considerando a média da testemunha, em cada solo, como 100% de germinação.

Os dados climáticos diários correspondentes ao período de condução do experimento foram medidos por datalogger da EXTECH Instruments® modelo RHT10, registrando temperatura média de 28,44 °C e umidade relativa média de 75,64% durante os 40 dias (Figura 1).

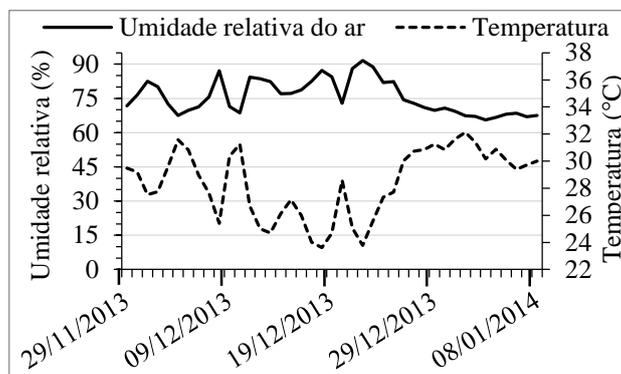


Figura 1. Dados climáticos no interior da casa de vegetação no período do experimento.

Os resultados das avaliações foram analisados com auxílio do aplicativo computacional para análise estatística SAEG®, procedendo-se o teste F. Quando este foi significativo para os fatores qualitativos (Solo e Espécie), empregou-se o teste de Tukey ($P < 0,05$) para diferenciação das médias. Os dados da testemunha sem herbicida foram excluídos da análise estatística para estabilizar a variância para não superestimar a taxa de emergência ou subestimar o controle, utilizando-se o número de plantas desse tratamento apenas como referência (100% de emergência e 0% de controle). O fator Dose (quantitativo) foi submetido à análise de regressão, escolhendo-se o melhor modelo que explicasse os resultados observados quando a anova da regressão foi significativa ($p < 0,05$). Para fins de discussão, definiu-se 80% de controle das plantas daninhas como um nível satisfatório, conforme critério utilizado por Perry et al.(2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores Solo, Espécie e Dose, bem como todas as interações duplas foram significativos ($p < 0,01$) pelo teste “F”, exceto a interação tripla que não foi significativa. Isso evidencia efeito dos fatores e das interações duplas entre eles sobre a emergência e no controle de plantas daninhas (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para emergência e controle das plantas daninhas

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Emergência	Controle
Bloco	3	272,72	173,76
Solo	2	12001,06**	5705,58**
Dose	5	38467,89**	70874,81**
Dose*Solo	10	673,41**	486,92**
Espécie	4	47344,40**	29254,50**
Espécie*Solo	8	1373,90**	1940,69**
Espécie*Dose	20	2523,14**	2682,60**
Espécie*Solo*Dose	40	229,76 ^{ns}	274,08 ^{ns}
Resíduo	267	198,21	220,03
CV (%)		26,044	22,001
Média geral (%)		54,058	67,578

**Significativo ($p < 0,01$). CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade.

De modo geral, entre as espécies estudadas, o indaziflam foi mais eficiente no controle das Liliopsidas em todos os três tipos de solo (Figuras 2A e 2B), corroborando com os resultados obtidos por Kaapro & Hall (2012) quando observaram maior controle de espécies da classe Liliopsida em relação às Magnoliopsida pelo indaziflam, tanto em pré como em pós-plantio, em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* na Austrália. Os autores sugerem que, para aumentar seu espectro de controle, o indaziflam deve ser misturado com outro herbicida residual, já sendo testado o hexazinone (em *Pinus*), simazine e sulfometuron (em *Eucalyptus*). Jahla et al. (2013) também avaliaram o indaziflam em mistura com saflufenacil e glufosinato em pós-emergência das plantas daninhas em *citrus*, obtendo maior espectro de controle.

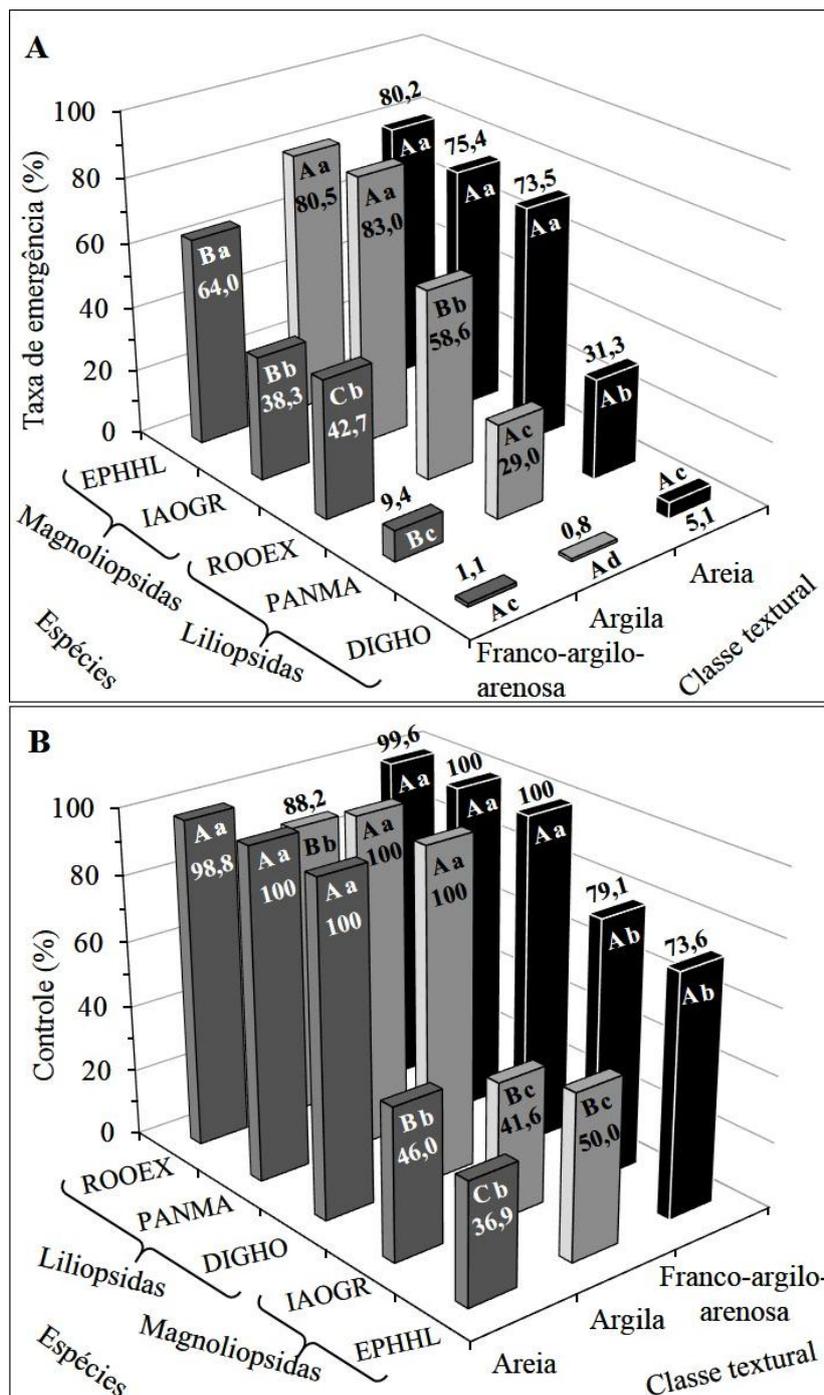


Figura 2. Taxa de emergência (A) e de controle (B) das plantas daninhas. Resposta das espécies dentro de cada classe textural e, de cada espécie em função das classes texturais. **ROOEX:***R. cochinchinensis*; **DIGHO:***D. horizontalis*; **PANMA:***P. maximum*; **IAOGR:***I. grandifolia* e **EPHHL:***E. heterofila*. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula dentro das espécies e minúscula dentro das classes texturais, não se diferenciam pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

No solo de textura franco-argilo-arenosa a espécie EPHHL apresentou maior taxa de emergência (64,0%), seguida de ROOEX (42,7%) e IAAGR (38,3%). Nos solos de textura argilosa e arenosa houve maior taxa de emergência das Magnoliopsida, com exceção da espécie ROOEX no solo de textura arenosa. Entre os solos observou-se menor taxa de emergência de todas as espécies no de textura franco-argilo-arenosa, exceto DIGHO que não apresentou diferença na taxa de emergência nos diferentes solos (Figura 2).

As duas espécies Magnoliopsidas deste estudo tiveram maior nível de controle no solo de textura franco-argilo-arenosa em relação aos de textura arenosa e argilosa, porém, foi considerado insatisfatório em todos os solos, de acordo com a classificação proposta por Perry et al. (2011), não atingindo 80% em nenhum dos casos. No entanto, para as Liliopsidas, observou-se níveis de controle de 100% em todos os solos, com exceção de ROOEX no solo de textura argilosa, que apresentou nível satisfatório de controle segundo critérios de Perry et al.(2011), porém, comparativamente menor em relação aos de texturas arenosa e franco-argilo-arenosa. Em todos os três solos estudados as Liliopsidas apresentaram maior taxa de controle em relação às espécies da classe Magnoliopsida. No solo de textura argilosa, o controle de ROOEX foi inferior ao de PANMA e DIGHO, e superior ao das Magnoliopsidas estudadas (Figura 2).

O controle de *Digitaria* spp. pelo indaziflam em gramados tem sido muito estudado nos últimos anos, com excelentes índices de controle desta espécie. Kaapro & Hall (2012) observaram 100% de controle para *Digitaria* sp. utilizando dose de 100 g.ia.ha⁻¹. Brosnan et al. (2011) avaliando o controle de *D. 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 MOSde2,1% e, outro de textura franco-arenosa, pH de 5,8 e MOSde 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.

Perry et al. (2011) ao estudarem o controle de *Poa annua*, *Digitaria sanguinalis* (Poaceae), *Kyllinga squamulata* (Cyperaceae), *Dichondra carolinensis* (Convolvulaceae) e *Solvia sessilis* (Asteraceae) em diferentes épocas de aplicação do herbicida indaziflam com doses entre 20 e 60 g.ia.ha⁻¹, no Alabama (EUA) observaram excelente controle de *D. sanguinalis*, independente da dose, com aplicações sequenciais (outubro/março ou novembro/março) ($\geq 96\%$) e com uma única aplicação em março ($\geq 94\%$), enquanto que o controle das Magnoliopsidas variou entre as espécies. Exceto em março, houve excelente controle *S. sessilis* ($\geq 91\%$) enquanto que as espécies das famílias Cyperaceae e Convolvulaceae apresentaram menor nível de controle. Esses resultados concordam com os dados obtidos no presente trabalho, com excelente controle de DIGHO e controle insatisfatório de IAOGR(Convolvulaceae).

O indaziflam proporcionou menor taxa de emergência de ROOEX no solo de textura franco-argilo-arenosa. O modelo quadrático foi o que melhor explicou os resultados obtidos neste solo, com ponto de mínimo em 123,76 g.ia.ha⁻¹, com 28,91% de emergência. Para os solos de textura argilosa e arenosa o modelo linear foi o que melhor explicou os resultados, chegando a 34,33 e 55,84% de emergência na maior dose testada, respectivamente (Figura 3A). Nos solos de textura franco-argilo-arenosa e arenosa, a regressão não foi significativa, mas a taxa de controle foi considerada excelente na dose 30 g.ia.ha⁻¹, enquanto que no solo argiloso o modelo de regressão bissegmentada foi o que melhor explicou os resultados, explicando 95,3% do rápido aumento na taxa de controle da espécie da dose zero até 60 g.ia.ha⁻¹, onde estimou-se 95,88% de controle e com 50 g.ia.ha⁻¹ obteve-se nível de controle satisfatório, conforme Perry et al. (2011). A

partir de 60 g.i.a.ha⁻¹ o aumento linear se deu em menor intensidade, não justificando o uso de dose superior a esta para o controle de ROOEX nesse solo (Figura 3B).

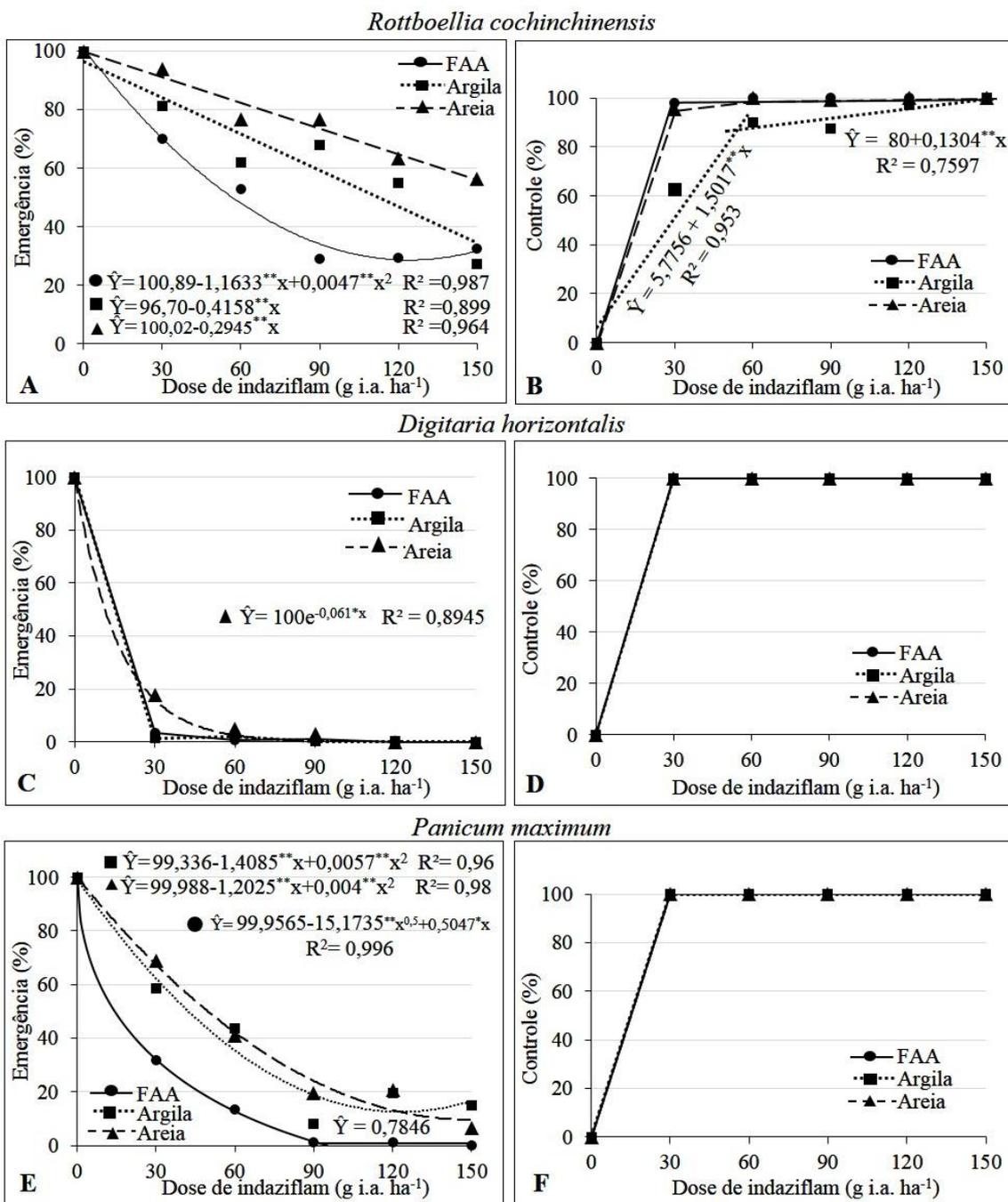


Figura 3. Emergência e controle das espécies pertencentes à classe Liliopsida em cada tipo de solo, em função da dose de indaziflam. FAA; areia; e argila = Solo com classe textural franco-argilo-arenosa; areia; e argila, respectivamente. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

A necessidade de maior dose de indaziflam para obtenção de controle satisfatório de ROOEX no solo de textura argilosa em relação aos outros solos, pode ser explicada pelo maior teor de argila e, principalmente, da MOS observados neste solo (Tabela 1), uma vez que esse herbicida tem características lipofílicas, possivelmente, conferindo a este solo maior capacidade de adsorção do indaziflam.

O modelo exponencial foi o que melhor explicou a emergência de DIGHO, estimando-se valores próximos a 0% (zero) na dose 60 g.ia.ha⁻¹, no solo de textura arenosa. Para os demais solos a regressão não foi significativa (Figura 3C). Porém, esta espécie foi eficientemente controlada em todos os três solos, observando-se 100% de controle na menor dose estudada (Figura 3D).

Brosnan et al. (2012) observaram resultados semelhantes para o controle de *D. ischaemum* em gramado com 35 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam aplicado em pré-emergência. Por outro lado, em ensaios conduzidos entre os anos de 2005 e 2009, Kaapro & Hall (2012) observaram taxas de controle de *Digitaria* sp. em gramado variando entre 69 e 98% para a dose de 37,5 g de indaziflam ha⁻¹ e de 89% para a dose de 50 g.ia.ha⁻¹, obtendo-se 100% controle apenas nas doses 75, 80 e 100 g.ia.ha⁻¹.

O modelo quadrático foi o que melhor explicou a emergência de PANMA nos solos de textura argilosa e arenosa, com pontos de mínimo em 123g.ia.ha⁻¹ e 150g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, com estimativa de 12,3 e 9,2% de emergência, respectivamente. Já no solo de textura franco-argilo-arenosa, os dados se adequaram à regressão bissegmentada, com o modelo de raiz quadrada explicando a variação da dose 0 até 90 g.ia.ha⁻¹(Figura 3E). Também houve 100% de controle de PANMA com 30 g.ia.ha⁻¹ e regressão não foi significativa em nenhum dos solos estudados (Figura 3F).

O controle total das espécies DIGHO e PANMA mostra que essas espécies são muito sensíveis ao indaziflam e, possivelmente, pode-se obter níveis de controle

satisfatórios com doses menores que 30 g.i.a.ha⁻¹ nas condições estudadas, dependendo, portanto, de futuras pesquisas para maior precisão dessa informação.

No solo de textura arenosa houve regressão para EPHHL, com emergência média de 83,47% das plantas. Nos solos de textura franco-argilo-arenosa e argilosa houve efeito linear decrescente com o aumento da dose, com taxa de emergência estimada em 46,08 e 64,92%, respectivamente, na maior dose estudada, mas, com R² muito baixo (Figura 4A).

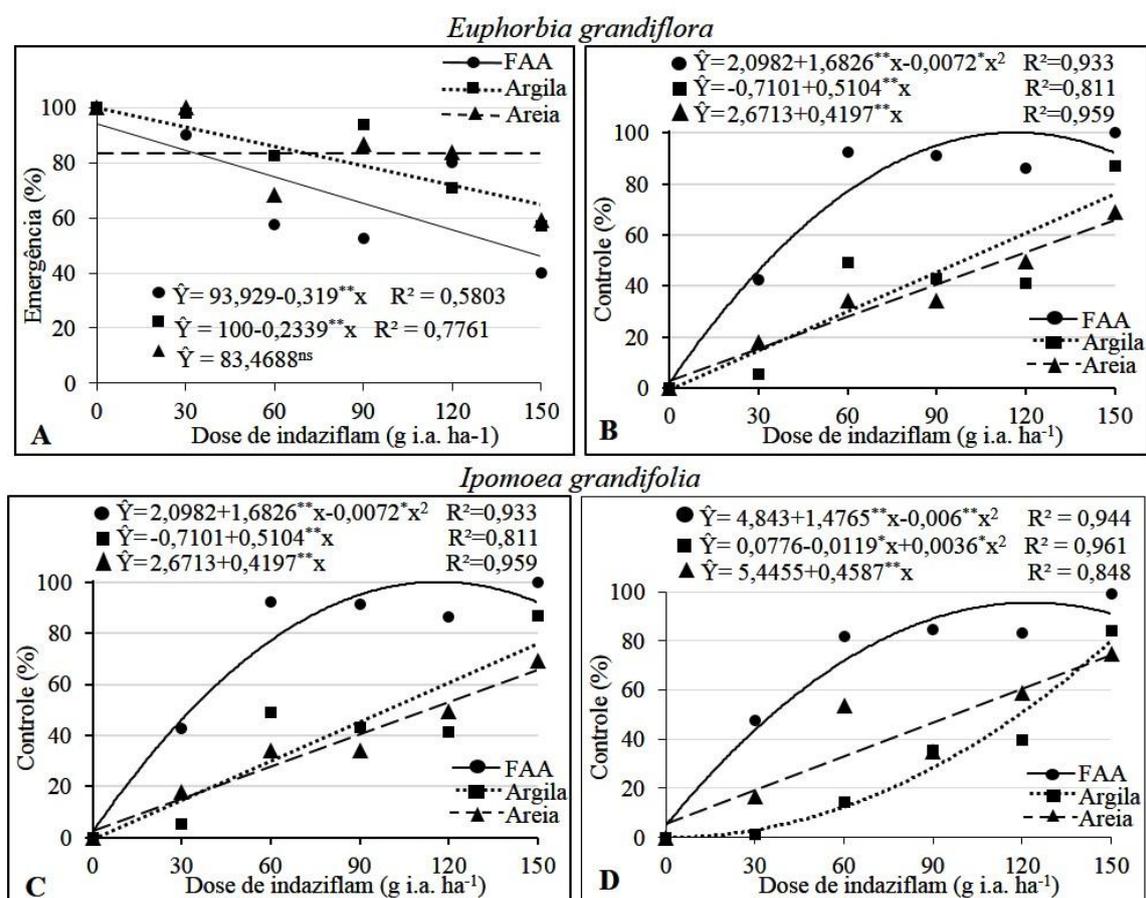


Figura 4. Emergência e controle das espécies pertencentes à classe Magnoliopsida em cada tipo de solo, em função da dose de indaziflam. FAA; areia; e argila = Solo com classe textural franco-argilo-arenosa; areia; e argila, respectivamente. * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

O controle de EPHHL também não foi satisfatório nos solos de textura argilosa e arenosa, conforme Perry et al. (2011), com controle de 75,85 e 60,28%, respectivamente, estimados pela equação linear, para a maior dose. Já no solo de textura franco-argilo-arenosa, houve excelente controle, chegando-se a 100% no ponto máximo da curva (116,84 g.ia.ha⁻¹) e alcançando nível satisfatório de controle com 64 g.ia.ha⁻¹, estimado pelo modelo quadrático que explicou 93,26% da variação (Figura 4B). Nesse solo observou-se alta infecção das plântulas de EPHHL pelo fungo *Rizoctonia* sp. (dados não apresentados) nos tratamentos com indaziflam, o que ocorreu com menor intensidade na testemunha e nos solos argiloso e arenoso com o herbicida, sugerindo futuras averiguações.

Da mesma forma, para IAAGR observou-se decréscimo linear da taxa de emergência com o aumento das doses nos solos de texturas arenosa e argilosa, com emergência de 58,82 e 70,02%, respectivamente (Figura 4C). Esses valores foram altos quando comparados com as espécies da classe Liliopsida. No solo de textura franco-argilo-arenosa observou-se menor taxa de emergência dessa espécie, indicando que houve maior controle inicial nesse solo, com 23,53% de emergência no ponto mínimo (133,41 g.ia.ha⁻¹) do modelo quadrático.

Quanto ao controle dessa espécie, observa-se certa similaridade ao de EPHHL, principalmente no solo arenoso, onde houve crescimento linear da taxa de controle com aumento das doses. Os melhores controles foram alcançados no solo de textura franco-argilo-arenosa. O modelo quadrático explicou 94,4% dos resultados, com controle estimado de 95,68% no ponto máximo (123,04 g.ia.ha⁻¹), estimando que 72g.ia.ha⁻¹ proporcionou controle satisfatório, segundo critério de Perry et al. (2011). No solo de textura argilosa o modelo quadrático explicou 96,1% dos resultados, com maior aumento

nos níveis de controle a partir de 90 g.ia.ha⁻¹ e estimativa de 151g.ia.ha⁻¹ para a obtenção de 80% (Figura 4D).

A lixiviação do herbicida indaziflam ainda é pouco estudada, com informações de que sua mobilidade no solo seja classificada entre moderada a móvel (Tompkins, 2010) ou a pouco móvel no solo (Alonso *et al.*, 2011; Jhala et al., 2012; Jhala & Singh, 2012). Estudando a lixiviação do indaziflam (73 g.ia.ha⁻¹) em solo com 91,6% de areia, 4,4% de silte, 4,0% de argila e 0,46% de MOS no perfil de 0 a 0,30 m, características similares ao solo da classe textural areia da Tabela 1, Jhala & Singh (2012) detectaram a presença do herbicida até a 0,12 e 0,27 m, aproximadamente, com simulação de 50 e 150 mm de chuva, respectivamente. Em solo com a mesma textura Jhala et al. (2012) obtiveram resultados similares e ainda observaram que, mesmo dobrando a dose (145 g.ia.ha⁻¹) o indaziflam não lixiviou a maiores profundidades, que foi detectado até aproximadamente 0,3 m de profundidade, com 150 mm de precipitação.

Assim, pode-se supor que parte do indaziflam aplicado no solo de textura arenosa foi perdida por lixiviação resultando em menores níveis de controle, uma vez que a bandeja utilizada tem 0,07 mm de profundidade e receberam aproximadamente 5 mm diários de irrigação. A lixiviação do indaziflam nesse tipo de solo pode ter ocorrido devido ao alto teor de areia, o que facilita o movimento descendente da solução do solo no perfil devido ao maior número de macroporos, além do menor teor de MOS e de argila (Tabela 1), ficando o herbicida mais disponível na solução do solo. Segundo Inoue et al. (2008), em solos com textura argilosa, pode haver maior dificuldade na movimentação de água no perfil, contribuindo para a menor movimentação vertical da solução do solo.

Esse fato também pode explicar a maior eficiência do indaziflam no solo de textura franco-argilo-arenosa, no qual, possivelmente, o herbicida estava disponível em maior quantidade na solução do solo, em relação ao solo argiloso, devido ao menor teor de MOS

e sua lixiviação pode ter sido dificultada pelo maior teor de argila em relação ao solo arenoso (Tabela 1), permanecendo disponível nas camadas superiores do solo.

O diuron é um herbicida que, assim como o indaziflam, apresenta características lipofílicas e baixa solubilidade em água (Inoue et al., 2008; Tompkins, 2010), também sendo classificado como modernamente móvel no solo (Alonso et al., 2011). Devido a essas semelhanças, a dinâmica de adsorção do diuron pode ser similar à do indaziflam e será utilizada como referência devido às poucas informações sobre este último em solos com características físico-químicas contrastantes.

Diversos autores relatam que há relação positiva entre teores de argila e, principalmente, de MOS na sorção do diuron (Alister & Kogan, 2010; Inoue et al., 2010; Liu et al., 2010; Rocha et al., 2013) e outros herbicidas lipofílicos (Freitas et al., 1999). Essa mesma relação foi observada para o indaziflam por Alonso et al. (2011). Estudando a dinâmica de adsorção do diuron por meio de cromatografia líquida Rocha et al. (2013) observaram que a capacidade de sorção do diuron foi direta e positivamente relacionada ao teor de MOS ($r = 0,96$), ao teor de argila ($r = 0,92$) e à CTC efetiva ($r = 0,66$), enfatizando que a maior capacidade de sorção desse herbicida ocorre em solos com elevados teores de MOS e de argila. Inoue et al. (2008) detectaram o diuron no perfil de 0,05-0,10 m no solo de textura franco-arenosa com volumes de precipitação de 60 e 80 mm, enquanto que no solo de textura argilosa o diuron ficou retido na camada de 0,05-0,10 m, mesmo com 100 mm de precipitação. Os autores atribuíram a maior sorção do diuron ao solo argiloso devido ao seu maior teor de MOS, a qual pode ter se ligado por interações hidrofóbicas ao herbicida, mostrando a importância da fração orgânica do solo na sorção de herbicidas lipofílicos.

Dessa forma, no solo de textura argilosa pode ter ocorrido elevada adsorção do herbicida devido ao alto teor de argila e, principalmente, de MOS (Tabela 1), uma vez

que o indaziflam é um herbicida muito lipofílico (Tompkins, 2010) se ligando à MOS e formando resíduo ligado. Assim, para o controle de espécies menos sensíveis ao indaziflam, como as Magnoliopsidas, doses maiores podem ser necessárias, principalmente em solos com alto teor de argila e MOS, para que o herbicida possa ocupar os sítios de adsorção e ainda ficar disponível na solução do solo.

Segundo Prata & Lavorenti (2000), a adição de materiais orgânicos ao solo, promove um aumento dos sítios sortivos do solo, o que contribui com a maior sorção e formação de resíduos ligados, principalmente de produtos lipofílicos, inativando os herbicidas. Marchese et al. (2007) também alertam para maior atenção quando da incorporação de resíduos orgânicos ao solo, uma vez que irá influenciar diretamente a dinâmica do herbicida no ambiente, podendo diminuir a eficácia do produto.

CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido e para as espécies deste estudo:

O indaziflam foi mais eficiente para o controle das Liliopsidas em relação às Magnoliopsidas, nos solos arenoso, argiloso e franco-argilo-arenoso.

Para o controle das Liliopsidas foi necessário menor dose de indaziflam em relação às doses requeridas para o controle das Magnoliopsidas. As espécies *Digitaria horizontalis* e *Panicum maximum* foram 100% controladas na dose 30 g.ia.ha⁻¹.

Melhor controle das Magnoliopsidas foi obtido no solo de textura franco-argilo-arenosa, obtendo-se taxas de controle satisfatório de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia* com dose estimada em 65 e 72g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Alister C & Kogan M (2010) Rainfall effect on dissipation and movement of diuron and simazine in a vineyard soil. *Planta Daninha*, 28:1059-1071.
- Alonso DG, Koskinen WC, Oliveira Jr RS, Constantin J & Mislankar S (2011) Sorption–desorption of indaziflam in selected agricultural soils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59:13096-13101.
- Brosnan JT, Breeden GK, McCullough PE & Henry GM (2012) PRE and POST control of annual bluegrass (*Poa annua*) with indaziflam. *Weed Technology*, 26:48-53.
- Brosnan JT, McCullough PE & Breeden GK (2011) Smooth crabgrass control with indaziflam at various spring timings. *Weed Technology*, 25:363-366.
- ESTADOS UNIDOS Soil Survey Division Staff (1993) Soil survey manual. U.S. Agriculture Department. Handbook n° 18. Washington, DC. 437p.
- Ferreira CRRPT, Camargo MLB & Vergo CLR (2013) Defensivos Agrícolas: vendas batem novo recorde em 2012 e segue em ritmo forte em 2013. *Análises e Indicadores do Agronegócio*, 8:1-5.
- Freitas SP, Sedyama T, Silva AAD, Ferreira FA & Sedyama CS (1999) Efeitos de dejetos de suínos na forma líquida e de composto orgânico na atividade do metribuzin. *Planta Daninha*, 17:109-117.
- IBGE – Diretoria de Geociências & EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Mapa de solos do Brasil. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>>. Acessado em: 13/02/2014. 1p.
- Inoue MH, Oliveira Jr RS, Constantin J, Alonso DG & Santana DC (2008) Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30:631-638.

Inoue M, Santana D, Oliveira Jr RS, Clemente R, Dallacort R, Possamai A, Santana CTC & Pereira K (2010) Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. *Planta Daninha*, 28:825-833.

Jhala AJ, Ramirez A & Singh M (2013) Tank mixing saflufenacil, glufosinate and Indaziflam Improved Burndown and Residual Weed Control in Citrus. *Weed Technology*, 27:422-429.

Jhala AJ & Singh M (2012) Leaching of indaziflam compared with residual herbicides commonly used in Florida citrus. *Weed Technology*, 26:602-607.

Jhala AJ, Ramirez AH & Singh M (2012) Leaching of Indaziflam Applied at Two Rates Under Different Rainfall Situations in Florida Candler Soil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88:326-332.

Kaapro J & Hall J (2012) Indaziflam-a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. *Weed Science Research*, 18:267-270.

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

Liu Y, Xu Z, Wu X, Gui W & Zhu G (2010) Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. *Journal of hazardous materials*, 178:462-468.

Mancuso MAC, Negrisoli E & Perim L (2011) Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). *Revista Brasileira de Herbicidas*, 10:151-164.

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

Oliveira MF & Brighenti AM (2011) Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira Jr RS, Constantini J & Inoue MH (Eds) *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba, Omnipax Editora Ltda. p. 263-304.

Pateiro-Moure M, Pérez-Novo C, Arias-Estévez M, Rial-Otero R & Simal-Gándara J (2009) Effect of organic matter and iron oxides on quaternary herbicide sorption-desorption in vineyard-devoted soils. *Journal of colloid and interface science*, 333:431-438.

Perry DH, McElroy JS, Doroh MC & Walker RH (2011) Indaziflam utilization for controlling problematic turfgrass weeds. *Applied Turfgrass Science*. 8:1-7.

Prata F & Lavoretti A (2000) Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. *Revista Biociências*, 6:17-22.

Rocha PRR, Faria AT, Borges LGFC, Silva LOC, Silva AA & Ferreira EA (2013) Sorção e dessorção do diuron em quatro latossolos brasileiros. *Planta Daninha*, 31:231-238.

Tang ZW, Zhang W & Chen YM (2009) Adsorption and desorption characteristics of monosulfuron in Chinese soils. *Journal of hazardous materials*, 166:1351-1356.

Tompkins J (2010) Pesticide Fact Sheet: Indaziflam. Disponível em: <http://www.epa.gov/opp00001/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-080818_26-Jul-10.pdf> Acessado em: 30 de janeiro de 2014.

Vivian R, Guimarães AA, Queiroz MELR, Silva AA, Reis MR & Santos JB (2007) Adsorção e dessorção de trifloxysulfuron-sodium e ametryn em solos brasileiros. *Planta daninha*, 25:97-109.

Wu C, Zhang S, Nie G, Zhang Z & Wang J (2011) Adsorption and desorption of herbicide monosulfuron-ester in Chinese soils. *Journal of Environmental Sciences*, 23:1524-1532.

3.2. BANCO DE SEMENTES EM CANA-DE-AÇÚCAR APÓS QUATRO SAFRAS COM APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA²

Resumo – Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do manejo das plantas daninhas com os herbicidas pré-emergentes indaziflam em três doses (75, 100 e 150 g.ia.ha⁻¹), indaziflam+metribuzim (75+960 g.ia.ha⁻¹) e diuron+hexazinone (936+264 g.ia.ha⁻¹) durante quatro safras, comparados com o manejo capnado, sobre o banco de sementes, nas profundidades 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Os tratamentos foram distribuídos em DBC, com 4 repetições, no fatorial 6x2. O solo foi coletado com trado de 8,5 cm de diâmetro, colocado em bandejas e deixado sob irrigação. Realizou-se a contagem e identificação de plântulas emergidas e calculou-se a Densidade, a Frequência e a Abundância, absoluta e relativa, e o Índice de Valor de Importância. Nos tratamentos 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam houve maior redução do banco de sementes total e da espécie *Gnaphalium coarctatum*, assim como do Índice do Valor de Importância das espécies pertencentes às famílias Poaceae e Asteraceae. O banco de sementes total da profundidade de 0,10-0,20 m, e da espécie *Portulaca oleracea*, nas duas profundidades, não foi influenciado pelos herbicidas. O uso dos herbicidas pré-emergentes

² Artigo submetido em 16/04/2013 para publicação na revista “Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)”.

estudados, por quatro safras consecutivas, reduz o banco de sementes na profundidade 0 - 0,10 m.

Termos para indexação: indaziflam, metribuzim, diuron+hexazinone, *Saccharum* spp., plantas daninhas.

Seed bank after application of pre-emergent herbicides by 4 harvests

Abstract - The objective of this study was to evaluate the effect of weed management with pre-emergent herbicides indaziflam in three doses (75, 100 and 150 g.ia.ha⁻¹), indaziflam+metribuzim (75+960 g.ia.ha⁻¹) and diuron+hexazinone (936+264 g.ia.ha⁻¹) during four seasons, compared with no herbicide on the soil seed bank at depths from 0 - 0.10 and 0.10 - 0.20 m. The treatments were arranged in a randomized block with four replications in a factorial 6x2. The soil was collected with auger of 8.5 cm in diameter, placed in trays and left under irrigation. Held the counting and identification of emerging seedlings and calculated the density, frequency and abundance, absolute and relative, and Importance Value Index. In treatments 100 and 150 g.ia.ha⁻¹ indaziflam larger reduction of total seed bank and *Gnaphalium coarctatum* specie, well as the Importance Value Index of species belonging to the families Poaceae and Asteraceae. The total seed bank in the depth of 0.10 - 0.20 m, and *Portulaca oleracea* specie, at both depths, were not affected by herbicides. The pre-emergent herbicide, use for four consecutive harvests, reduces the seed bank in depth from 0 to 0.10 m.

Index terms: indaziflan, metribuzim, diuron+hexazinone, *Saccharum* spp., weeds.

Introdução

As plantas daninhas apresentam grande capacidade de produção de sementes viáveis e longevas, com germinação de forma descontínua e adaptações especiais para disseminação em curta e longa distância, características que lhes conferem alta rusticidade (PITELLI, 1987) e contribuem para a formação e manutenção do banco de sementes do solo. Segundo Carmona (1992), o banco de semente tem a função básica de substituir as plantas eliminadas por

determinada causa (natural ou antropogênica), sendo crucial à sobrevivência das espécies. O tamanho e a composição botânica da população de sementes no solo em um dado momento, serão resultantes do balanço entre entradas e perdas de novas sementes no sistema.

O grande potencial produtivo de sementes por algumas espécies daninhas, como exemplificado por Brighenti & Oliveira (2011) e por Brighenti et al. (2007), é um dos principais fatores de aumento do banco de sementes do solo. Por outro lado, as sementes podem sair do banco do solo por meio da germinação, da morte, do transporte por agentes de dispersão, predação e/ou deterioração da semente (CARMONA, 1992). A dormência é um dos mecanismos indiretos mais importantes de dispersão e sobrevivência das plantas daninhas, permitindo a sobrevivência em condições adversas devido à germinação de forma irregular (VASCONCELOS et al., 2012).

O indaziflam é um novo herbicida cujo mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose, com potencial para controle de Liliopsidas e Magnoliopsidas. Em relação a outros herbicidas pré-emergentes o indaziflam apresenta uma meia vida maior no solo, sendo superior a 150 dias (KAAPRO & HALL, 2012; TOMPKINS, 2010). Brosnan et al. (2011) observaram que o indaziflam aplicado em pré-emergência proporcionou controle entre 91 e 94% para *Digitaria ischaemum* aos 195 dias após o tratamento. Perry et al. (2011) relatam período residual de 203 dias após a aplicação, com controle superior a 90% para *Digitaria sanguinalis*. Porém, em regiões tropicais, como no Brasil, esse período pode ser menor que 150 dias devido às altas temperaturas e chuvas abundantes (ALONSO et al., 2011).

As práticas adotadas no manejo da cultura, do solo e das plantas daninhas alteram e atuam sobre a dinâmica de entrada e saída de sementes no banco, refletindo, em médio e longo prazo, na composição e no número de espécies presentes no sistema (KUVA et al., 2008). O maior período residual do herbicida no solo pode possibilitar a redução do banco de sementes do solo por controlar as sementes que ali germinam, impedindo que a planta daninha chegue ao estágio

reprodutivo e contribua com a principal forma de entrada de sementes no banco do solo que é a chamada “chuva de sementes”, segundo Carmona (1992).

Correia et al. (2011) observaram que o consórcio de *P. maximum* com milho reduziu a infestação por plantas daninhas em relação ao cultivo de milho solteiro que apresentou alta taxa de infestação e de produção de sementes pelas plantas daninhas, o que aumentou o banco de sementes do solo. Ao aplicar glifosato periodicamente, antes da produção de sementes das plantas daninhas, Monquero & Christoffoleti (2003) observaram que houve aumento do banco de sementes das espécies tolerantes ao glifosato e redução do banco das espécies suscetíveis.

O banco de sementes do solo é um sistema dinâmico que está em constantes alterações, tanto do número de indivíduos quanto do número de espécies que o compõe. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do manejo das plantas daninhas por meio dos herbicidas indaziflam, indaziflam+metribuzim e diuron+hexazinone aplicados em pré-emergência durante quatro safras consecutivas, sobre a dinâmica do banco de sementes do solo em uma área de cana-de-açúcar, em Paulínia – SP.

Materiais e Métodos

O experimento teve dois momentos de condução. O primeiro momento, experimento de campo, foi conduzido no município de Paulínia–SP entre os anos de 2008 e 2013 para comparar seis tratamentos de controle das plantas daninhas em uma área cultivada com a variedade de cana-de-açúcar RB86751. Os tratamentos foram compostos por três doses de indaziflam isolado (75, 100 e 150 g.ia.ha⁻¹); indaziflam+metribuzim (75+960 g.ia.ha⁻¹); diuron+hexazinone (936+264 g.ia.ha⁻¹), mais a testemunha (capinada) distribuídos no delineamento em blocos ao acaso, com 4 repetições. Cada parcela foi composta por 4,5 m de largura por 7 m de comprimento, com três linhas da cultura espaçadas em 1,5 m. A área útil foi composta pelas duas entrelinhas centrais, deixando-se 0,75 m nas laterais e 1 m em cada extremidade das linhas de plantio, totalizando 15 m². Após o sorteio dos tratamentos no bloco, estes foram aplicados à

mesma parcela durante quatro safras consecutivas, nas seguintes datas: 1ª aplicação em 03/12/2008; 2ª aplicação em 04/01/2010; 3ª aplicação em 15/03/2011 e 4ª aplicação em 05/09/2012.

No segundo momento do experimento foi realizada a coleta do solo para estudo do banco de semente que ocorreu no dia 22/07/2013, próximo à colheita da cana. Foram avaliados os seis tratamentos de controle de plantas daninhas, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em um esquema fatorial 6x2. O solo foi coletado com auxílio de um trado de caneca com 8,5 cm de diâmetro (área = 0,00567 m²), com oito subamostras dentro da área útil da parcela, totalizando 0,0454 m², formando uma amostra composta. Após a coleta, o solo foi levado para a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ, onde o experimento para a avaliação do banco de sementes do solo foi montado e conduzido durante seis meses, em casa de vegetação.

Cada amostra composta foi homogeneizada e utilizando a metade do volume total para caracterização do banco de sementes do solo, considerando-se, portanto, apenas a metade da área amostrada nas parcelas (0,0227 m²) para os cálculos. Para obtenção de uma fina camada de solo (aproximadamente 2 cm), cada amostra foi novamente dividida em parte iguais e dispostas em duas bandejas de 20 cm de largura x 30 cm de comprimento x 7 cm de profundidade, que juntas formaram uma unidade experimental. As bandejas foram colocadas em casa de vegetação no dia 25/07/2013 e mantidas sob irrigações diárias, cinco vezes ao dia, com 1 mm cada, proporcionando condições ideais para germinação. Durante todo o experimento, a temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas de uma em uma hora dentro da casa de vegetação, por um datalogger da EXTECH Instruments® modelo RHT10, e depois calculada a média diária (Figura 1).

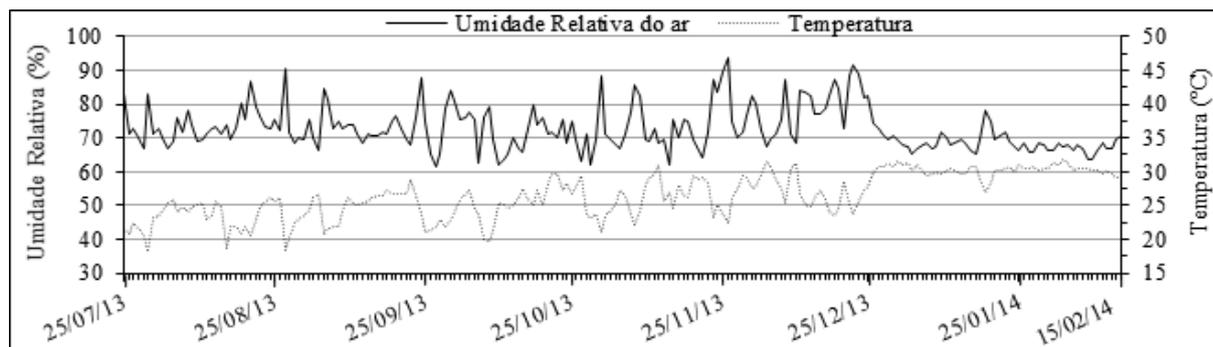


Figura 1. Dados climáticos diários registrados dentro da casa de vegetação, durante o período de condução do experimento.

O número de sementes viáveis foi estimado pela soma do número de plântulas emergidas em cada unidade experimental, compostas por duas bandejas, aos 30; 60; 90; 120; 170 e 200 dias. Segundo Lacerda et al. (2005), esse método pode subestimar o banco de sementes e para que seja mais preciso as avaliações devem ser realizadas por longo período. As plântulas foram separadas por espécie identificadas por meio de literaturas especializadas (MOREIRA & BRAGANÇA, 2010; LORENZI, 2006), por comparação com plantas daninhas adultas e por consulta a especialistas na área. Plântulas muito novas que deixavam dúvida quanto a sua correta identificação foram transplantadas para outros vasos e conduzidas até que atingissem um determinado tamanho, ou fase de desenvolvimento, que permitisse sua correta identificação.

Após cada avaliação o solo foi revolvido para estimular a germinação das sementes presentes que, por algum motivo, não tinham germinado, e após a quarta avaliação (22/11/2013) foi realizado um estresse hídrico de 20 dias na tentativa de quebrar possíveis dormências. Por isso a quinta avaliação foi feita aos 170 dias e não aos 150 dias. Para efeito da análise estatística, quando necessário, os dados foram transformados, sendo que a transformação que melhor se adequou foi a raiz quarta do número de sementes viáveis adicionado da constante 0,5:

$$X = \sqrt[4]{n + 0,5}; \quad (1)$$

onde, “X” é o número de sementes viáveis após a transformação, “n” é o número de sementes viáveis originalmente identificadas na unidade experimental e “0,5” é uma constante. Foi

utilizado o programa computacional SAEG® para realização da análise de variância e nos casos em que o teste “F” foi significativo as médias foram diferenciadas pelo teste Tukey, em 5 % de probabilidade. Após as análises os dados foram novamente transformados e apresentados os dados originais, em número de sementes viáveis ha⁻¹.

Para a análise da estrutura da população do banco de sementes foram calculados os seguintes parâmetros conforme Müeller-Dombois & Ellenberg (1974): Densidade absoluta (Da), Densidade relativa (Dr), Frequência absoluta (Fa), Frequência relativa (Fr), Abundância absoluta (ABa), Abundância relativa (ABr) e Índice de Valor de Importância (IVI) para avaliar a composição florística dos tratamentos.

Resultados e Discussão

O manejo das plantas daninhas na área de cana-de-açúcar por meio da aplicação dos herbicidas pré-emergentes, durante as quatro safras consecutivas, reduziu o banco de sementes na profundidade 0 – 0,10 m de solo, em relação ao tratamento capinado, tanto para as Liliopsidas quanto para as Magnoliopsidas. Para as Magnoliopsidas houve maior redução na densidade absoluta de sementes viáveis com 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam em relação aos tratamentos diuron+hexazinone e indaziflam+metribuzim, não se diferenciando de 75 e 100 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam. Para as Liliopsidas as menores quantidades de sementes viáveis foram encontradas nos tratamentos com 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, sendo inferior ao do tratamento com diuron+hexazinone e não se diferenciando das áreas com 75 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam e com indaziflam+metribuzim. Na profundidade 0,10 – 0,20 m não houve diferença entre os tratamentos para Liliopsidas e para Magnoliopsidas (Figura 2).

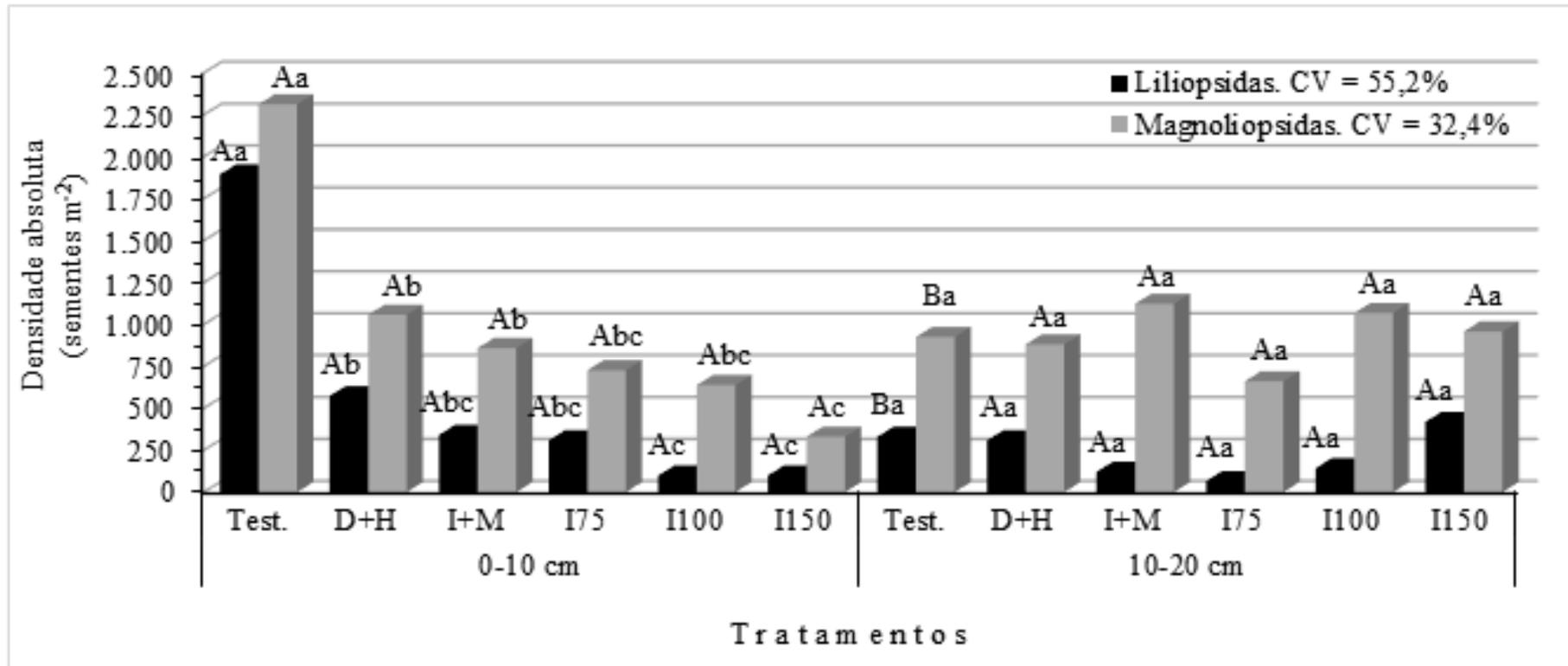


Figura 2. Número de sementes viáveis por metro quadrado para as classes Liliopsida e Magnoliopsida, presente no banco de sementes da área experimental, nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m, em função da aplicação de herbicidas em pré-emergência por 4 safras.

CV: Coeficiente de variação. **Test.:** Testemunha sem herbicida, **I 75; I 100 e I 150:** indaziflam a 75; 100 e 150 g.ia.ha⁻¹, respectivamente. **I+M:** indaziflam mais metribuzim. **D+H:** diuron mais hexazinone. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula comparando os tratamentos em cada profundidade e maiúscula comparando as profundidades em cada tratamento, não diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A maior redução do banco de sementes observada para os tratamentos com indaziflam na profundidade 0 – 0,10 m deve-se, possivelmente, ao maior período residual desse herbicida, que gira em torno de 200 dias após a aplicação (BROSNAN et al., 2011; Perry et al., 2011). Monquero et al. (2008) verificaram persistência até 60 dias após a aplicação do diuron+hexazinone (1.170 + 330 g.ia.ha⁻¹) aplicados no solo sem palha, com controle de 95 e 78% do bioindicador *Cucumis sativus* em solos de textura argilosa e média, respectivamente. Rocha et al. (2013) observaram meia-vida entre 40 a 91 dias para diuron isolado (3.000 g.ia.ha⁻¹), sendo maior no solo com maior teor de matéria orgânica. Para o metribuzim, Fuscaldo et al. (1999) observaram persistência de até 121 dias após aplicação para a dose de 960 g.ia.ha⁻¹, a mesma utilizada no presente trabalho.

Apenas para a testemunha houve diferença do número de sementes viáveis entre as duas profundidades, tanto para Liliopsidas quanto para Magnoliopsidas, com respectivamente 85,15 e 71,43% do total de indivíduos identificados no banco de sementes presentes na camada de 0 – 0,10 m (Figura 2). Costa et al. (2009) observaram que houve decréscimo no número de espécies e de indivíduos no banco de sementes de plantas daninhas, em quatro cultivos de mandioca, com o aumento da profundidade no perfil do solo. Lacerda et al. (2005) estudando o banco de sementes em solos em pousio e com preparo convencional observaram que as sementes se concentraram nas camadas de 0 – 0,025 m no pousio, enquanto que no preparo convencional as sementes estavam distribuídas na camada de 0 – 0,20 m de solo.

Os resultados obtidos neste experimento indicam que o controle frequente das plantas daninhas pelos herbicidas estudados, principalmente com o indaziflam nas maiores doses foi eficaz na redução do banco de sementes do solo na profundidade de 0 – 0,10 m, podendo propiciar menor potencial de infestação nos próximos ciclos. Porém, é sempre importante lembrar que não é recomendado o uso de apenas um mecanismo de ação em uma mesma área por várias safras seguidas, para evitar o surgimento de espécies resistentes a herbicidas.

Segundo Christoffoleti & Caetano (1998), o conhecimento do tamanho do banco de sementes e do número de espécies que o compõe podem ser usados na previsão de infestações futuras. Por outro lado, Isaac & Guimarães (2008) e Kuva et al. (2008) encontraram baixa relação entre o banco de sementes e o estabelecimento da flora de plantas daninhas no campo e sugerem pesquisas por maiores períodos de tempo para aumentar a acurácia na predição de infestações baseadas no banco de sementes de plantas daninhas.

A interação entre os tratamentos e a profundidade do solo foram significativos para as espécies *Digitaria sanguinalis*, *Eragrostis pilosa*, *Amaranthus hybridus*, *Conyza canadensis*, *Praxelis pauciflora*, *Gnaphalium coarctatum*, *Chamaesyce hirta*, *Phyllanthus tenelus* e para o total de sementes viáveis no banco.

Na profundidade de 0 – 0,10 m foram identificadas 29 espécies de plantas daninhas, compreendidas entre 11 famílias botânicas, em todos os tratamentos. Nos tratamentos com 75; 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, indaziflam+metribuzim e diuron+hexazinone ocorreram 17; 12; 12; 16 e 13 espécies, respectivamente. Na testemunha verificou-se a presença de 24 espécies, com destaque para *D. sanguinalis*, *E. pilosa*, *A. hybridus*, *C. canadensis*, *P. pauciflora*, *G. coarctatum*, *C. hirta* e *P. tenelus* com diferença significativa entre os tratamentos. As espécies *Pennisetum setosum* e *Portulaca oleracea* também ocorreram em grande número na testemunha, porém não se diferenciou dos tratamentos com herbicida. Considerando o total de indivíduos, o maior número de sementes viáveis foi identificado na testemunha e o menor, na dose 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, que não se diferenciou de 100 g.ia.ha⁻¹ (Tabela 1).

O número de sementes viáveis das espécies *D. sanguinalis*, *E. pilosa*, *P. tenelus*, *P. pauciflora* e *C. hirta* apresentaram redução de 93,3; 91,2; 83,4 e 100%, respectivamente, no tratamento 75 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, não diferenciando-se dos outros tratamentos com herbicida. Para *A. hybridus*, os tratamentos 75 e 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam proporcionaram as

maiores reduções do banco de sementes do solo (81,8 e 69,7%, respectivamente) não diferenciando-se dos tratamentos 100 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, indaziflam+metribuzim e diuron+hexazinone, os quais não se diferenciaram da testemunha. *Conyza canadensis* teve seu banco de sementes reduzido em 100% na maior dose de indaziflam e não se diferenciou dos outros tratamentos com herbicida, dos quais, indaziflam+metribuzim e diuron+hexazinone não se diferenciaram da testemunha. Da mesma forma, o banco de semente de *G. coarctatum* também teve 100% de redução com 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, diferenciando-se de diuron+hexazinone (Tabela 1).

A não diferença estatística para *P. setosum* provavelmente ocorreu devido ao alto coeficiente de variação desta espécie. Já para *P. oleracea* e *A. hybridus*, a não redução e a redução em menor escala do banco de sementes, respectivamente, podem ser devido às características de suas sementes. Em revisão realizada por Vasconcelos et al. (2012) os autores mostram que há indicações de que sementes compactas, pequenas e lisas possuem mecanismos de dormência, estando associadas com bancos de sementes persistentes.

O estudo fitossociológico do banco de sementes mostra a eficácia na redução do banco de sementes do solo das espécies pertencentes às famílias Poaceae e Asteraceae nos tratamentos com herbicida, na profundidade 0 – 0,10 m, em relação às espécies *A. hybridus* e *P. oleracea*. Na testemunha, três espécies pertencentes à família Poaceae e duas pertencentes à Asteraceae apresentaram os maiores IVIs da área, seguido por *A. hybridus* e *P. oleracea*. Devido às aplicações dos herbicidas durante as quatro safras de cana-de-açúcar, as Poaceae e Asteraceae tiveram seus IVIs reduzidos e as espécies *P. oleracea* e *A. hybridus* passaram a ter maior importância nas áreas, principalmente nos tratamentos com 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, quando apresentaram os maiores IVIs (Figura 3).

Tabela 1. Número de sementes viáveis por metro quadrado, em número de sementes viáveis m⁻², das espécies identificadas na profundidade de 0 – 0,10 m

Classe / Família / Espécie	Testemunha	indaziflam (75 g ha ⁻¹)	indaziflam (100 g ha ⁻¹)	indaziflam (150 g ha ⁻¹)	indaziflam +metribuzim	diuron+ hexazinone	CV ⁽¹⁾ (%)
Liliopsidas							
Poaceae							
<i>Cenchrus echinatus</i>	44,1 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	25,4
<i>Digitaria sanguinalis</i>	495,6 a	33,0 b	11,0 b	22,0 b	33,0 b	132,2 b	49,6
<i>Eragrostis pilosa</i>	881,1 a	77,1 b	44,1 b	11,0 b	77,1 b	44,1 b	53,9
<i>Pennisetum setosum</i>	440,5 a	187,2 a	44,1 a	33,0 a	187,2 a	143,2 a	70,7
<i>Eleusine indica</i>	22,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	22,0 a	22,0 a	44,6
<i>Panicum maximum</i>	11,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	17,1
Cyperaceae							
<i>Cyperus rotundus</i>	0,0 a	11,0 a	0,0 a	11,0 a	22,0 a	231,3 a	53,9
Magnoliopsidas							
Amaranthaceae							
<i>Amaranthus hybridus</i>	363,4 a	66,1 b	176,2 ab	110,1 b	143,2 ab	187,2 ab	54,1
Asteraceae							
<i>Conyza canadensis</i>	231,3 a	22,0 b	22,0 b	0,0 b	121,1 ab	99,1 ab	54,2
<i>Emilia fosbergii</i>	11,0 a	11,0 a	11,0 a	0,0 a	22,0 a	0,0 a	32,8
<i>Praxelis pauciflora</i>	286,3 a	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	43,3
<i>Gnaphalium coarctatum</i>	539,6 a	99,1 bc	44,1 c	0,0 c	110,1 abc	242,3 ab	55,0
<i>Bidens pilosa</i>	44,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	28,8
<i>Sonchus oleraceus</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	17,1
<i>Vernonia glabrata</i>	66,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	22,1
<i>Porophyllum ruderale</i>	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 v	12,1
<i>Parthenium hysterophorus</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0	12,1
<i>Baccharis</i> sp.	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	22,0 a	0,0	22,7
Euphorbiaceae							
<i>Chamaesyce hirta</i>	33,0 a	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	23,6
Lamiaceae							
<i>Hyptis lophantha</i>	22,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	19,4
Malvaceae							
<i>Sida Glaziovii</i>	11,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	20,7
Oxalidaceae							
<i>Oxalis corniculata</i>	11,0 a	33,0 a	33,0 a	11,0 a	11,0 a	0,0 a	45,2
Phyllanthaceae							
<i>Phyllanthus tenellus</i>	198,2 a	33,0 b	11,0 b	11,0 b	11,0 b	55,1 b	49,6
<i>Phyllanthus niruri</i>	22,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	32,5
Plantaginaceae							
<i>Stemodia verticillata</i>	22,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	23,8
Portulacaceae							
<i>Portulaca oleracea</i>	341,4 a	330,4 a	231,3 a	176,2 a	352,4 a	341,4 a	45,9
Solanaceae							
<i>Nicandra physaloides</i>	55,1 a	55,1 a	99,1 a	11,0 a	22,0 a	88,1 a	58,2
<i>Solanum americanum</i>	22,0 a	33,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	33,0 a	36,3
Verbenaceae							
<i>Lantana camara</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	33,0 a	0,0 a	17,7
Total	2.312,8 a	726,9 b	638,8 bc	330,4 c	859,0 b	1.057,3 b	26,8

⁽¹⁾Coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Segundo Kuva et al. (2008), o manejo das plantas daninhas é uma prática que pode influenciar na composição e no número de espécies presentes no banco de sementes do solo. Correia et al. (2011) observaram aumento no banco de sementes do solo em áreas de cultivo solteiro de milho, quando comparado com o consórcio milho x *P. maximum*, que apresentou menor infestação de plantas daninhas devido ao rápido fechamento do solo pelas espécies, aumentando a competição com as plantas daninhas.

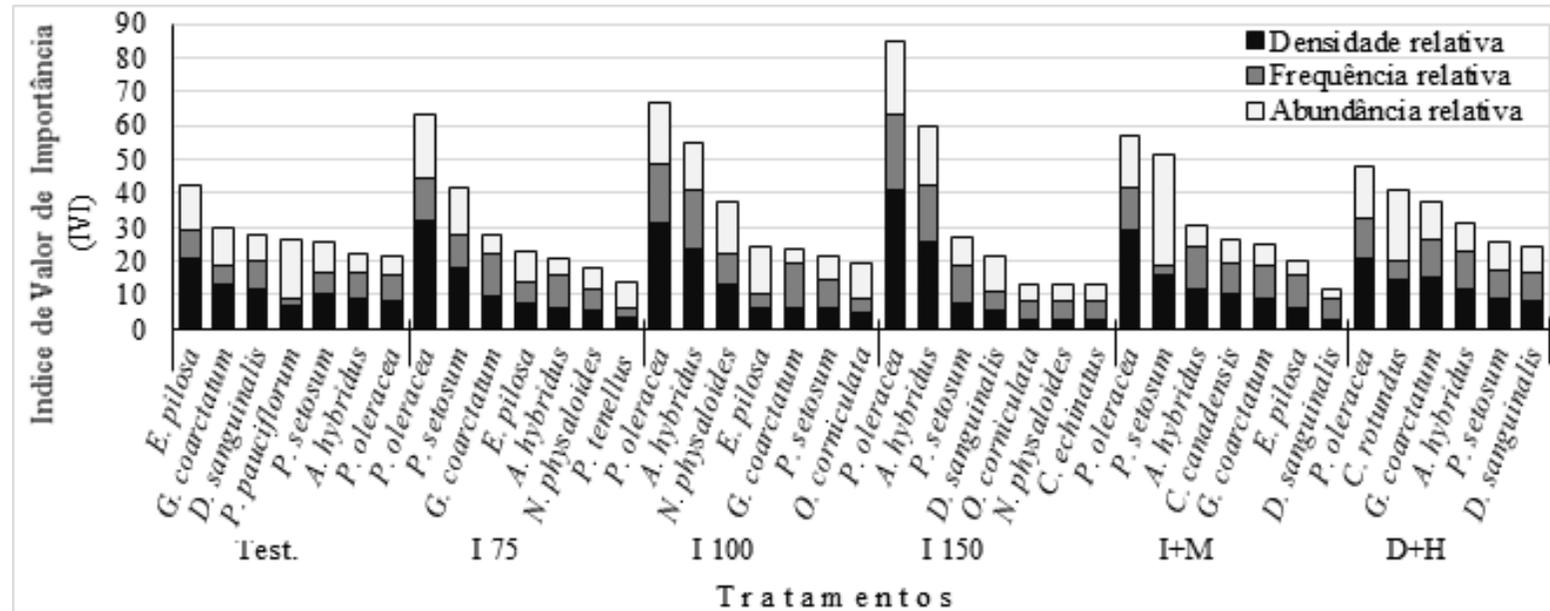


Figura 3. Índice de Valor de Importância da seis principais espécies identificadas nos tratamentos sem herbicida (Test.), com indaziflam a 75; 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ (I 75, I 100 e I 150, respectivamente), com indaziflam mais metribuzim (I+M) e diuron mais hexazinone (D+H), na camada de 0 - 0,10 m de solo.

Por outro lado, menores taxas de redução no banco de sementes de *Acanthospermum hispidum* foram observadas por Voll et al. (1997) quando foi feito o controle das plantas daninhas com os herbicidas pós-emergentes sethoxydin+bentazon, durante cinco anos consecutivos, com redução de 36% ao ano no tratamento com herbicidas, contra 49% ao ano sem o uso de herbicidas. Em ambos os trabalhos, os autores argumentam que a maior taxa de redução nas áreas sem herbicida foi devido à grande infestação por *B. plantaginea*, gerando grande competitividade e inibindo o desenvolvimento das espécies em estudo.

A redução do banco de sementes observada no presente trabalho pode ser explicada pelo uso de herbicidas pré-emergentes, que proporcionam controle por maior período em relação aos herbicidas pós-emergentes, principalmente o indaziflam que tem maior período residual (KAAPRO & HALL, 2012; TOMPKINS, 2010) e onde foram observados os menores bancos de sementes. Adicionalmente, o ciclo longo de cana-de-açúcar proporciona controle cultural adicional, reduzindo a produção de novas sementes na área.

Na profundidade 0,10 – 0,20 m não houve diferença entre os tratamentos para o total de sementes viáveis presentes no banco de sementes. Entre as espécies, o número de sementes viáveis no banco de sementes foi menor no tratamento com 100 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam para *E. pilosa*, diferenciando-se apenas da testemunha, e indaziflam+metribuzim para a *A. hybridus*, diferenciando-se da testemunha e 100 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam (Tabela 2).

Tabela 2. Número de sementes viáveis por metro quadrado, em número de sementes viáveis m⁻², das espécies identificadas na profundidade de 0,10 – 0,20 m.

Classe / Família / Espécie	Testemunha	indaziflam (75 g ha ⁻¹)	indaziflam (100 g ha ⁻¹)	indaziflam (150 g ha ⁻¹)	indaziflam +metribuzim	diuron + hexazinone	CV ⁽¹⁾ (%)
Liliopsidas							
Poaceae							
<i>Cenchrus echinatus</i>	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	25,4
<i>Digitaria sanguinalis</i>	88,1 a	11,0 a	22,0 a	11,0 a	11,0 a	66,1 a	49,6
<i>Eragrostis pilosa</i>	132,2 a	22,0 ab	11,0 b	44,1 ab	33,0 ab	22,0 ab	53,9
<i>Pennisetum setosum</i>	66,1 a	11,0 a	55,1 a	33,0 a	66,1 a	121,1 a	70,7
<i>Eleusine indica</i>	33,0 a	22,0 a	44,1 a	22,0 a	11,0 a	44,1 a	44,6
Commelinaceae							
<i>Commelina benghalensis</i>	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	12,1
Cyperaceae							
<i>Cyperus rotundus</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	308,4 a	0,0 a	55,1 a	53,9
Magnoliopsidas							
Amaranthaceae							
<i>Amaranthus hybridus</i>	121,1 b	121,1 ab	341,4 a	297,4 ab	88,1 b	275,3 ab	54,1
Asteraceae							
<i>Conyza canadensis</i>	33,0 a	22,0 a	11,0 a	11,0 a	99,1 a	0,0 a	54,2
<i>Emilia fosbergii</i>	11,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	32,8
<i>Praxelis pauciflora</i>	22,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	43,3
<i>Gnaphalium coarctatum</i>	132,2 a	121,1 a	99,1 a	77,1 a	77,1 a	55,1 a	55,0
<i>Bidens pilosa</i>	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	28,8
<i>Sonchus oleraceus</i>	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	17,1
<i>Baccharis</i> sp.	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	22,7
Convovulaceae							
<i>Ipomoea grandifolia</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	12,1
Euphorbiaceae							
<i>Chamaesyce hirta</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	23,9
Lamiaceae							
<i>Hyptis lophantha</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	22,0 a	0,0 a	19,4
Malvaceae							
<i>Sida Glaziovii</i>	0,0 a	11,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	20,7
Oxalidaceae							
<i>Oxalis corniculata</i>	11,0 a	33,0 a	11,0 a	11,0 a	22,0 a	33,0 a	45,2
Phyllantaceae							
<i>Phyllanthus tenelus</i>	33,0 a	22,0 a	66,1 a	132,2 a	44,1 a	33,0 a	49,6
<i>Phyllanthus niruri</i>	0,0 a	11,0 a	0,0 a	44,1 a	0,0 a	11,0 a	32,5
Plantaginaceae							
<i>Stemodia verticillata</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	23,8
Portulacaceae							
<i>Portulaca oleracea</i>	495,6 a	231,3 a	385,5 a	374,4 a	451,5 a	231,3 a	45,9
Rubiaceae							
<i>Richardia brasiliensis</i>	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	11,0 a	12,1
Solanaceae							
<i>Nicandra physaloides</i>	55,1 a	88,1 a	121,1 a	11,0 a	297,4 a	165,2 a	58,2
<i>Solanum americanum</i>	0,0 a	0,0 a	11,0 a	0,0 a	11,0 a	11,0 a	17,7
Total	925,1 a	660,8 a	1.068,3 a	958,1 a	1.123,3 a	881,1 a	26,8

⁽¹⁾Coefficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Esses resultados podem ser explicados devido ao fato dos herbicidas utilizados neste experimento serem pouco móveis no solo (JHALA & SINGH; 2012; INOUE et al., 2008), exceto o hexazinone (QUEIROZ et al., 2009), atuando nas camadas superficiais, ao menor número de sementes nas camadas mais profundas em sistemas sem revolvimento do solo (LACERDA et al., 2005) e ao menor potencial de germinação das sementes mais profundas (MONQUERO et al., 2012; SOUZA et al., 2009; VIDAL et al., 2007), proporcionando pouca influência sobre o banco de sementes.

No estudo fitossociológico da profundidade 0,10 – 0,20 m não se observou alteração do banco de sementes pelos herbicidas utilizados neste trabalho. Entretanto, a espécie *P. oleracea* apresentou os maiores IVIs em quase todos os tratamentos, exceto com o tratamento indaziflam a 150 g.ia.ha⁻¹, no qual predominou *Cyperus rotundus*, e no tratamento diuron+hexazinone, no qual *A. hybridus* teve maior IVI (Figura 4).

O maior IVI observado para *Cyperus rotundus* no tratamento 150 g.ia.ha⁻¹ pode ter ocorrido devido ao seu alto valor de abundância relativa, mostrando que houve grande concentração dessa espécie nesse tratamento (Figura 4), provavelmente devido à presença de reboleiras na área. Interessante ressaltar que as plântulas de *C. rotundus* identificadas no estudo foram provenientes de tubérculos, que foram retirados das bandejas junto com a planta no momento das avaliações.

No tratamento diuron+hexazinone observa-se que *A. hybridus*, *N. physaloides* e *P. oleracea* tiveram IVIs muito parecidos e com grande concentração de *N. physaloides* nesse tratamento, evidenciada por sua alta abundância relativa. Esse maior equilíbrio entre as espécies desse tratamento pode ter ocorrido devido à lixiviação do hexazinone a camadas mais profundas, uma vez que esse herbicida é mais móvel no solo (QUEIROZ et al., 2009).

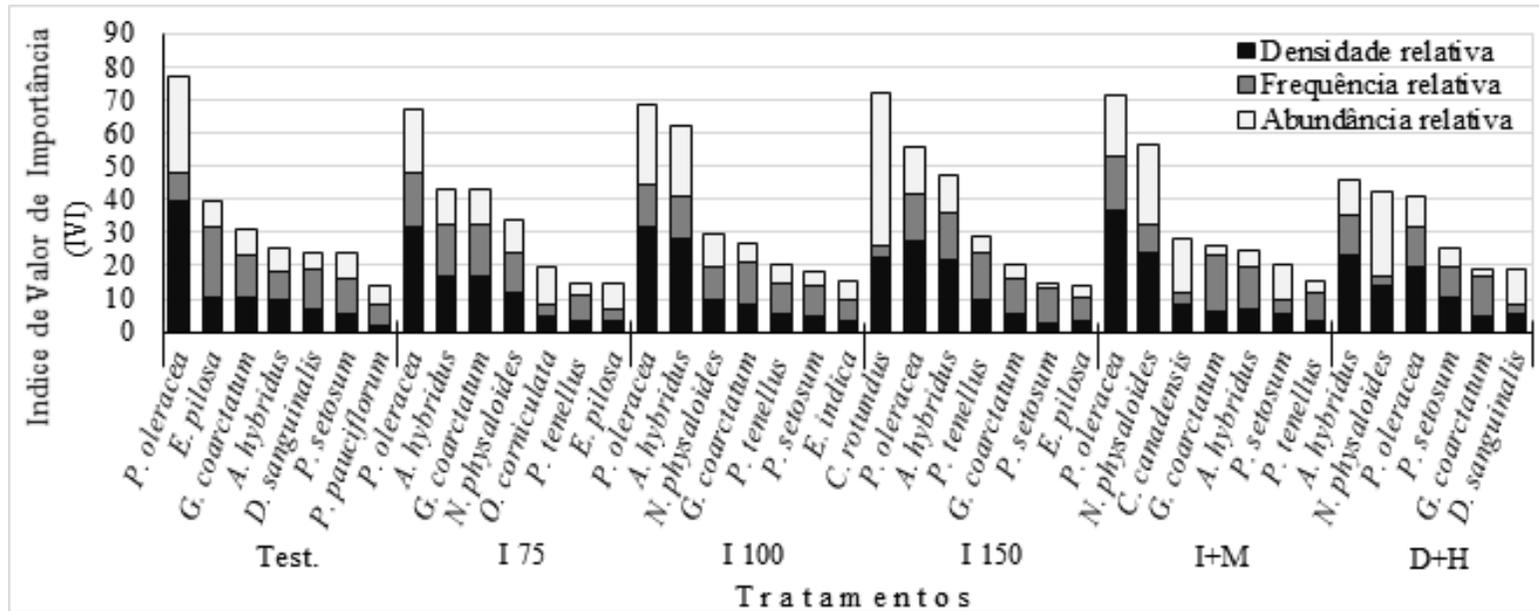


Figura 4. Índice de Valor de Importância da seis principais espécies identificadas nos tratamentos sem herbicida (Test.), com indaziflam a 75; 100 e 150 g.ia.ha⁻¹ (I 75, I 100 e I 150, respectivamente), com indaziflam mais metribuzim (I+M) e diuron mais hexazinone (D+H), na camada de 0,10 - 0,20 m de solo.

Conclusões

Nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que:

1. O banco de sementes viáveis total da profundidade de 0 - 0,10 m foi reduzido pelos herbicidas utilizados, mas não houve efeito dos mesmos na profundidade de 0,10 - 0,20 m.
2. A maior redução no banco de sementes total foi de 85,7 %, obtida com o indaziflam na dose 150 g ha⁻¹, em relação à testemunha.
3. As espécies mais afetadas foram *E. pilosa*, *G. coarctatum*, *D. sanguinalis*, *P. pauciflora* e *C. canadensis*. A espécie *P. oleracea*, não foi afetada pelos tratamentos.
4. Todos os herbicidas reduziram o índice de valor de importância das espécies *E. pilosa*, *D. sanguinalis*, *P. setosum*, *G. coarctatum* e *P. pauciflora*.

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. 24, p. 13096-13101, 2011.
- BRIGHENTI, A.; VOLL, E.; GAZZIERO, D.LP. *Chloris polydactyla* (L.) Sw., a perennial Poaceae weed: Emergence, seed production, and its management in Brazil. **Weed Biology and Management**, v. 7, n. 2, p. 84-88, 2007.
- BRIGHENTI, A.M.; OLIVEIRA, M.F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.
- 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.
- CARMONA, R. Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta daninha**, v. 10, n. 1/2, p. 5-16, 1992.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; CAETANO, R.S.X. Soil seed banks. **Scientia agricola**, v. 55, n. SPE, p. 74-78, 1998.

CORREIA, N.M.; LEITE, M.B.; DANIEL, B. Effect of corn and *Panicum maximum* intercropping on weed and soybean crop in rotation. **Planta Daninha**, v. 29, n. 3, p. 545-555, 2011.

COSTA, J.R.; MITJA, D.; FONTES, J.R.A. Bancos de sementes de plantas daninhas em cultivos de mandioca na Amazônia Central. **Planta Daninha**, v. 27, p. 665-671, 2009.

FUSCALDO, F.; BEDMAR, F.; MONTECUBBIANESI, G. Persistência dos herbicidas atrazine, metribuzin e simazine em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2037-2044, 1999.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D.G.; SANTANA, D.C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 631-638, 2008.

ISAAC, R.A.; GUIMARÃES, S.C. Banco de sementes e flora emergente de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 521-530, 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. **Weed Science Research**, Special Issue, v. 18, p. 267-270, 2012.

KUVA, M.A.; PITELLI, R.; ALVES, P.; SALGADO, T.; PAVANI, M. Banco de sementes de plantas daninhas e sua correlação com a flora estabelecida no agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 735-744, 2008.

LACERDA, A.L.S.; VICTORIA FILHO, R.; MENDONÇA, C.G. Levantamento do banco de sementes em dois sistemas de manejo de solo irrigados por pivô central. **Planta daninha**, v. 23, n. 1, p. 1-7, 2005.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6ª ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2006. 339 p.

MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Dinâmica do banco de sementes em áreas com aplicação frequente do herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 63-69, 2003.

MONQUERO, P.A.; SILVA, A.C.; BINHA, D.P.; AMARAL, L.R.; SILVA, P.V.; INACIO, E.M. Mobilidade e persistência de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 411-417, 2008.

MONQUERO, P.A. HIJANO, N., ORZARI, I., SABBAG, R.S.; HIRATA, A.C.S. Profundidade de semeadura, pH, textura e manejo da cobertura do solo na emergência de plântulas de *Rottboellia exaltata*. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, Sp.1, p.2799-2812, 2012.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. Manual de identificação de plantas infestantes: Cultivos de verão. **Campinas: FMC**, 2010. 642 p.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, NY: Wiley, 1974.

PERRY, D.H.; McELROY, J. S.; DOROH, M. C.; WALKER, R. HIndaziflam utilization for controlling problematic turfgrass weeds. **Applied Turfgrass Science**.v. 8, n. 1, 2011.

PITELLI, R.A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

QUEIROZ, S.C.N.; FERRACINI, V.L.; GOMES, M.A.; e ROSA, M.A. The behavior of hexazinone herbicide in recharge zone of Guarani aquifer with sugarcane cultivated area. **Química nova**, v. 32, n. 2, p. 378-381, 2009.

ROCHA, P.R..R.; FARIA, A.T.; SILVA, G.S.D.; QUEIROZ, M.E.L.R.D.; GUIMARÃES, F. C.N.; TIRONI, S.P.; GALON, L.; SILVA, A.A.D. Half-life of diuron in soils with different physical and chemical attributes. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1961-1966, 2013.

SOUZA, M.C.; PITELLI, R.A.; SIMI, L.D.; OLIVEIRA, M.C.J. Emergência de *Bidens pilosa* em diferentes profundidades de semeadura. **Planta Daninha**, v.27, n.1, p.29-34, 2009.

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-080818_26-Jul-10.pdf> Acessado em: 30 de jan. 2014.

VASCONCELOS, M.C.C.; SILVA, A.F.A.D. E LIMA, R.D.S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Agropec. Cient. no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 01-06, 2012.

VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R.; LAMEGO, F. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 309-315, 2007.

VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P.; KARAM, D. Dinâmica de populações de carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum* DC.) sob manejos de solo e de herbicidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 9, p. 897-904, 1997.

4.RESUMOS E CONCLUSÕES

O indaziflam é um novo ingrediente ativo com efeito herbicida, em fase de registro no Brasil para as culturas de cana-de-açúcar, café, citros, eucalipto e pinus, cujo mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose, para controle de plantas daninhas Liliopsidas e Magnoliopsidas. Persiste no solo por mais de 150 dias. Foram conduzidos 2 experimentos. No primeiro, o objetivo foi avaliar a influência de três solos com características físico-químicas contrastantes (areia, argila e franco-argilo-arenosa) sobre a eficiência do indaziflam, com cinco doses (0; 30; 60; 90; 120 e 150 g.ia.ha⁻¹), no controle de cinco espécies daninhas (3 Liliopsidas: *Rottboellia cochinchinensis*-ROOEX, *Panicum maximum*-PANMA, *Digitaria horizontalis*-DIGHO; e 2 Magnoliopsidas: *Euphorbia heterophylla*-EPHHL e *Ipomoea grandifolia*-IAOGR). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Campos dos Goytacazes–RJ, em DBC, com quatro repetições e fatorial 3x6x5. O solo foi peneirado, colocado em bandejas perfuradas e as espécies semeadas a 0,015 m de profundidade. O herbicida foi aplicado sobre solo úmido e as bandejas colocadas sob irrigação diária de 5 mm, aproximadamente. Avaliou-se a emergência, sete dias após a aplicação-DAA, e o controle das espécies, 40 DAA. No outro trabalho o objetivo foi avaliar o efeito do manejo das plantas daninhas com os herbicidas pré-emergentes indaziflam em três doses (75, 100 e 150 g.ia.ha⁻¹), indaziflam+metribuzim (75+960 g.ia.ha⁻¹) e diuron+hexazinone (936+264 g.ia.ha⁻¹) durante quatro safras de cana-de-açúcar, sobre o banco de sementes do solo, nas profundidades 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m, comparado com a

testemunha sem herbicida. Os tratamentos foram distribuídos em DBC, com 4 repetições, no fatorial 6x2. O experimento de campo foi conduzido em Paulínia – SP, e o solo foi coletado com trado tipo caneca de 8,5 cm de diâmetro e transportado para a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy ribeiro, em Campos dos Goytacazes – RJ, onde as amostras foram colocadas em bandejas e deixadas em casa de vegetação, sob irrigação diária. Aos 30; 60; 90; 120; 170 e 200 dias foram feitas a contagem e identificação das plântulas por meio de literatura especializada, e calculou-se a Densidade, a Frequência e a Abundância, absoluta e relativa, e o Índice de Valor de Importância das espécies.

Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que:

Experimento 1:

O indaziflam foi mais eficiente para o controle das Liliopsidas em relação às Magnoliopsidas, nos solos arenoso, argiloso e franco-argilo-arenoso.

Para o controle das Liliopsidas foi necessário menor dose de indaziflam em relação às doses requeridas para o controle das Magnoliopsidas. As espécies *Digitaria horizontalis* e *Panicum maximum* foram 100% controladas na dose 30 g.ia.ha⁻¹.

Melhor controle das Magnoliopsidas foi obtido no solo de textura franco-argilo-arenosa, obtendo-se taxas de controle satisfatório de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia* com dose estimada em 65 e 72 g.ia.ha⁻¹ de indaziflam, respectivamente.

Experimento 2:

O banco de sementes viáveis total da profundidade de 0 - 0,10 m foi reduzido pelos herbicidas utilizados, mas não houve efeito dos mesmos na profundidade de 0,10 - 0,20 m.

A maior redução no banco de sementes total foi de 85,7 %, obtida com o indaziflam na dose 150 g.ha⁻¹, em relação à testemunha.

As espécies mais afetadas foram *E. pilosa*, *G. coarctatum*, *D. sanguinalis*, *P. pauciflora* e *C. canadensis*. A espécie *P. oleracea*, não foi afetada pelos tratamentos.

Todos os herbicidas reduziram o índice de valor de importância das espécies *E. pilosa*, *D. sanguinalis*, *P. setosum*, *G. coarctatum* e *P. pauciflora*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROFIT – Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS. *Consulta de ingrediente ativo*. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acessado 02/03/2014.
- Alister, C., Kogan, M. (2010). Rainfall effect on dissipation and movement of diuron and simazine in a vineyard soil. *Planta Daninha*, 28(Special):1059-1071.
- Alonso, D.G., Koskinen, W.C., Oliveira Jr, R.S., Constantin, J., Mislankar, S. (2011). Sorption–desorption of indaziflam in selected agricultural soils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59 (24):13096-13101.
- Andrade, S., Silva, A.; Lima, C.; D'antonino, L., Queiroz, M. (2010). Lixiviação do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pH. *Planta Daninha*, 28 (3):655-663.
- Arsego, I.B. (2009) Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 66p.
- Assis, E.C.; Silva, A.A.; Barbosa, L.C.; Queiroz, M.E.L.R.; D'Antonino, L. e Cruz, L.S. (2011). Sorption and desorption of picloram in soils under pastures in Brazil. *Planta Daninha*, 29 (4):893-899.
- Bailey, G.W., White, J.L., (1970) Factors influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soil. In: *Residue Review, The Triazines Herbicides*. New York, USA: Springer Verlag, v. 32, p. 29-92.

- Barralis, G.;Chadoeuf, R.; Gouet, J.P. (1986) Essai de determination de la taille de l'échantillon pour l'étude du potentiel semencier d'un sol. *Weed Research*,.26:292-297.
- Barriuso, E., Feller, C., Calvet, R., Cerri, C. (1992) Sorption of atrazine, terbutryn and 2,4-D herbicides in two Brazilian Oxisols. *Geoderma*, Amsterdam, 53:155-167.
- Benoit, D.L., Kenkel, N.C., Carvers, P.B. (1989) Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. *Canadian Journal of Botany*, 67 (10):.2833-2840.
- Blanco, H.G., Arévalo, R., Blanco, F. (1994). Distribuição mensal da emergência de seis ervas daninhas em solos com e sem cultivos. *Planta Daninha*, 12 (2):78-83.
- Brady, N.C., Weil, R.R. (2002). *The nature and properties of soils*.New Jersey: Prentice-Hall, 13.ed. 960p.
- BRASIL. (2010) Ato nº 21, de 28 de maio de 2010. Resumo dos pedidos de registro, atendendo os dispositivos legais do artigo 14 do Decreto N 4074, de 04 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei n 7.802,de 11 de julho de 1989. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, ano. CXLVI, n. 104, p. 12, 2 jun. 2010. Seção I, parte 1.
- Brighenti, A., Voll, E., Gazziero, D.L. (2007) *Chloris polydactyla* (L.) Sw., a perennial Poaceae weed: Emergence, seed production, and its management in Brazil. *Weed Biology and Management*,7:84-88.
- Brosnan, J. T., Breeden, G. K., McCullough, P. E., Henry, G. M. (2012). PRE and POST control of annual bluegrass (*Poa annua*) with indaziflam. *Weed Technology*, 26(1):48-53.
- Brosnan, J.T., McCullough, P.E., Breeden, G.K. (2011). Smooth crabgrass control with indaziflam at various spring timings. *Weed Technology*, 25(3):363-366.
- Burauel, P., Wais, A.,Führ. F. (1998) *Soil bound residues*. In: Führ, F.; Hance, R.J.F.; Plimmer, J.R., Nelson; J.O. (Edit.) Washington: ACS, p.177-188.
- Caetano, R.S., Christoffoleti, P.J., Victoria Filho, R. (2001) “Banco” de sementes de plantas daninhas em pomar de laranjeira 'pera'. *Scientia Agrícola*, 58 (3):509-517.
- Calderbank, A. (1989). The occurrence and significance of bound pesticide residues in soil. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 108:71–103.
- Canellas, L.P., Baldotto, M.A.; Busato, J.G.; Marciano, C.R.; Menezes, S.C.; Silva, N.M.; Rumjanek, V.M.; Velloso, A.C.X.; Simões, M.L., Martin-Neto, L. (2007).

- Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:331-340.
- Carmona, R. (1992) Problemática e manejo de banco de semente de invasoras em solos agrícolas. *Planta Daninha*, 10 (1):5-13.
- Carmona, R. (1995). Banco de sementes e estabelecimento de plantas daninhas em agroecossistemas. *Planta daninha*, 13:3-9.
- Chauhan, B.S.; Johnson, D.E. (2009) Influence of tillage systems on weed seedling emergence pattern in rainfed rice. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, 106:15-21.
- Cheng, H.H. (Ed.). (1990) *Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling*. Madison: Soil Science Society of America, 554 p.
- Chiou, C.T.; Malcolm, R.L. Brinton, T.I., Kile, D.E. (1986) Water solubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acids. *Environmental Science & Technology*, Easton, 20:502-508.
- Christoffoleti, P.J., Caetano, R.S.X. (1998) Soil seed banks. *Scientia agricola*, 55:74-78.
- Christoffoleti, P.J., López-Ovejero, R.F. (2005) *Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar*. São Paulo: Os Autores, 49p.
- Correia, N.M., Leite, M.B., Daniel, B. (2011) Effect of corn and *Panicum maximum* intercropping on weed and soybean crop in rotation. *Planta Daninha*, 29:545-555.
- Costa, J.R.; Mitja, D.; Fontes, J.R.A. (2009) Bancos de sementes de plantas daninhas em cultivos de mandioca na Amazônia Central. *Planta Daninha*, 27:665-671.
- Deuber, R. (1992) *Ciência das plantas daninhas: fundamentos*. Jaboticabal: Funep, v.1, 431 p.
- Dias, C.A., Fleck, N.G. (1982) Efeitos dos herbicidas glyphosate e paraquat, aplicados ao solo, sobre a emergência de feijão e soja e de algumas espécies daninhas. *Planta Daninha*, 5 (1):23-34.
- Duarte, E.F., Santos, J.A., Peixoto, J.S., Santos, C.H.B. (2012). Maturação e dormência em diásporos de carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum* DC.– Asteraceae). *Revista Brasileira de Sementes*, 34 (3):441-449.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). (2006) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 306p.

- ESTADOS UNIDOS, Department of Agriculture. Soil survey Division. Soil Conservation Service. (2013) *Soil survey manual*. Washington, D.C. 1993.
- Fernandes, M.C., Cox, L., Hermosín, M.C., Cornejo, J. (2006). Organic amendments affecting sorption, leaching and dissipation of fungicides in soils. *Pest management science*, 62(12):1207-1215.
- Ferreira, C.R.R.P.T., Camargo, M.L.B., Vergo, C.L.R. (2013) Defensivos Agrícolas: vendas batem novo recorde em 2012 e segue em ritmo forte em 2013. *Análise e indicadores do Agronegócio*. São Paulo: IEA, 8(7):1-5.
- Fontes, M.P.F., Camargo, O.D., Sposito, G. (2001). Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, 58 (3):627-646.
- Freitas, S.D.P., Sediyaama, T., Silva, A.A.D., Ferreira, F.A., Sediyaama, C.S. (1999). Efeitos de dejetos de suínos na forma líquida e de composto orgânico na atividade do metribuzin. *Planta Daninha*, 17 (1):109-117.
- Futch, S.H. e Singh, M. (1999). Herbicide mobility using soil leaching columns. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, p.520-529.
- Garcia, D.B., Alves, S.N.R., Cason, J.B., Christoffoleti, P.J. (2012). Lixiviação de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em formulação comercial e isoladamente em dois solos contrastantes. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 11:222-230.
- Granatos, F.L., Torres, L.G. (1993) Seed bank and other demographic parameters of broomrape (*Orobanche crenata* Forsk) populations in faba bean (*Vicia faba* L.). *Weed Research*, 33:319-327.
- Gross, K.L. A. (1990). Comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology*, 78 (4):1079-1093.
- Grundy, A.C., Mead, A., Burston, S. (2003) Modelling the emergence response of weed seeds to burial depth: interactions with seed density, weight and shape. *Journal of Applied Ecology*, 40:757-770.
- Guimarães, G.L. (1987). Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, 4 (12):159-180.
- Gustafson, D.I. (1989) Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 8 (4):339-357.
- Hinz, C. (2001). Description of sorption data with isotherm equations. *Geoderma*, 99:225-243.

- Huang, X.; Pedersen, T.; Fischer, M.; White, R. e Young, T. M. (2004). Herbicide runoff along highways. 2: Sorption control. *Environmental science & technology*, 38(12):3272-3278.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Diretoria de Geociências; EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2014) *Mapa de solos do Brasil*. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>>. Acessado em:13/02/2014. 1p.
- Ikeda, F. S., Mitja, D., Carmona, R., e Vilela, L. (2007). Caracterização florística de bancos de sementes em sistemas de cultivo lavoura-pastagem. *Planta Daninha*, 25(4):735-745.
- Inoue, M., Santana, D., Oliveira Jr., R.S., Clemente, R., Dallacort, R., Possamai, A., Santana, C.T.C., Pereira, K. (2010). Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. *Planta Daninha*, 28 (4):825-833.
- Inoue, M.H., Marchiori JR., O., Oliveira JR., R.S.; Constantin, J.; Tormena, C. A. (2002) Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. *Planta Daninha*, 20 (1):125-132.
- Inoue, M.H., Oliveira Júnior, R.S.D., Constantin, J., Alonso, D.G., e Santana, D.C.D. (2008). Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30(5):631-638.
- Isaac, R.A., Guimarães, S.C. (2008). Banco de sementes e flora emergente de plantas daninhas. *Planta Daninha*, 26 (3):521-530.
- Jacob, H.A., Minkey, D.M., Gallagher, R.S., Borger, C.P. (2006) Variation in postdispersal weed seed predation in a crop field, *Weed Sci.*, 54(1):148-155.
- Jhala, A.J., Ramirez, A.H., Singh, M. (2012). Leaching of indaziflam applied at two rates under different rainfall situations in Florida Candler soil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88(3):326-332.
- Jhala, A.J., Ramirez, A.H.M., Singh, M. (2013). Tank mixing Saflufenacil, Glufosinate, and Indaziflam improved burndown and residual weed control. *Weed Technology*, 27(2):422-429.
- Jhala, A.J., Singh, M. (2012). Leaching of indaziflam compared with residual herbicides commonly used in Florida citrus. *Weed Technology*, 26(3):602-607.

- Kaapro, J., Hall, J. (2012). Indaziflam - A new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. *Weed Science Research*, 18:267-270.
- Kaefer, J.E., Guimarães, V.F., Richart, A., Campagnolo, R., Wendling, T.A. (2012). Influência das épocas de manejo químico da aveia-preta sobre a incidência de plantas daninhas e desempenho produtivo do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:481-490.
- Kawamoto, K., Urano, K. (1989) Parameters for predicting fate of organochlorine pesticides in the environment (II) Adsorption constant to soil. *Chemosphere*, 19:1223-1231.
- Kraemer, A.F., Marchesan, E., Grhos, M., Avila, A.L., Machado, S.L.O., Zanella, R., Massoni, P.F.S., Sartori, G. M. S. (2009). Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. *Ciência Rural*, 39(6):1660-1666.
- Kuva, M., Pitelli, R., Alves, P., Salgado, T., Pavani, M. (2008). Banco de sementes de plantas daninhas e sua correlação com a flora estabelecida no agroecossistema cana-crua. *Planta Daninha*, 26(4):735-744.
- Lacerda, A.L.S. (2003) Fluxos de emergência e banco de sementes de plantas daninhas em sistemas de semeadura direta e convencional e curvas dose-resposta ao glyphosate. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 153 p.
- Lacerda, A.L.S., Victoria Filho, R., & Mendonça, C. G. (2005). Levantamento do banco de sementes em dois sistemas de manejo de solo irrigados por pivô central. *Planta daninha*, 23:1-7.
- Lavorenti, A. (1996). *Comportamento dos herbicidas no meio ambiente*. In: Centro nacional de pesquisa de monitoramento e avaliação de impacto ambiental. (Org.). Anais do Workshop sobre Degradação. Jaguariúna: Embrapa - CNPMA, v. 1, p. 81-115.
- Lavorenti, A. (1997) Identificação de perigos de resíduos ligados de pesticidas em substâncias húmicas. In: *Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas*, 2, São Carlos, Anais. São Carlos: EMBRAPA, p.66-71.
- Lavorenti, A., Prata, F., Reginato, J. B. (2003) Comportamento de agrotóxicos em solos – fundamentos. *Tópicos em Ciência do Solo*, 3:335-400.

- Liu, Y., Xu, Z., Wu, X., Gui, W., Zhu, G. (2010). Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. *Journal of hazardous materials*, 178(1):462-468.
- López, R.P. (2003) Soil seed bank in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology*, 168:85-92.
- Lorenzi, H. (2006) Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 6.ed., 339p.
- Lyman, W. J.; Reehl, W. F.; Rosenblatt, D. H. (1982) *Handbook of chemical property estimation methods*. Washington: ACS, 530 p.
- Machado, S.L.O., Avila, L.A., Marchesan, E., Storck, L., Reimche, G.B., Massoni, P.F.S., Kummer, H., Thomás, L.F. (2010). Diâmetro do trado e número de amostras para quantificação do banco de sementes de arroz-vermelho do solo. *Ciência Rural*, 40 (2):459-461.
- Mackay, D., Shiu, W., Ma, K. (1997) *Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals*. Boca Raton. 795p.
- Mancuso, M.A.C., Negrisoli, E., Perim, L. (2011). Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). *Revista Brasileira de Herbicidas*, 10 (2):151-164.
- Marchese, L. (2007). *Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrine em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto*. (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo–USP. Piracicaba. 81 p.
- Martins, C.C., Silva, W.R. (1994). Estudos de banco de sementes do solo. *Informativo Abrates*, 4 (1):49-56.
- Mesquita, M.L.R. (2011) Banco de Sementes de Plantas Daninhas em Áreas Agrícolas no Estado do Maranhão: CCA/UFPB (Tese de Doutorado em Agronomia). 123f.
- Monquero, P. A., Christoffoleti, P. J. (2003). Dinâmica do banco de sementes em áreas com aplicação frequente do herbicida glyphosate. *Planta Daninha*, 21(1):63-69.
- Monquero, P.A., Amaral, L.R., Binha, D.P., Silva, P.V., Silva, A.C., Martins, F.R.A. (2008a). Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 26(1):47-55.
- Monquero, P.A., Binha, D.P., Amaral, L.R., Silva, P.V., Silva, A.C., Inácio, E.M. (2008c). Lixiviação de clomazone+ ametryn, diuron+ hexazinone e isoxaflutole em dois tipos de solo. *Planta daninha*, 26 (3):685-691.

- Monquero, P.A.; Amaral, L.R.; Binha, D.P.; Silva, A.C., Silva, P.V. (2008b). Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. *Planta Daninha*, 26(2):403-409.
- Moreira, H. J. C., & Bragança, H. B. N. (2010). *Manual de identificação de plantas infestantes: Cultivos de verão*. Campinas: FMC. 642 p.
- Mortimer, A.M. (1990) The biology of weeds. In: Hance, R.J.; Holly, K. (Ed.). *Weed control handbook:principles*. 8.ed. Oxford: Blackwell Scientific, p.1-42.
- Oliveira Jr., R.S., Koskinen, W.C., Ferreira, F.A. (2001) Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. *Weed Research*, 41:97-110.
- Oliveira, M. F., Colonna, I., Prates, H. T., Mantovani, E.C., Gomide, R.L., Oliveira Jr., R.S. (2004). Sorção do herbicida imazaquin em Latossolo sob plantio direto e convencional. *Pesq. agropec. bras., Brasília*,39(8):787-793
- Oliveira, M.F., Brighenti, A.M. (2011). Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira Jr., R.S.; Constantin, J. e Inoue, M.H. (Eds) *Biologiae Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba, PR: Omnipax, cap. 11, p. 263-304.
- Oliveira, M.F., Damasceno, C.O., karam, D., Voll, E. (2009) *Separação e identificação de sementes de plantas não cultivadas ou espontâneas em áreas agrícolas*. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas – MG. 1ªed. 19p.
- Parfitt, R.L. (1980) *Chemical properties of variable charge soils*. In: Theng, B.K.G. Soils with variable charge. Palmerston North : New Zealand Society of Soil Science, p.167-194.
- Pateiro-Moure, M., Pérez-Novo, C., Arias-Estévez, M., Rial-Otero, R., Simal-Gándara, J. (2009). Effect of organic matter and iron oxides on quaternary herbicide sorption–desorption in vineyard-devoted soils. *Journal of colloid and interface science*, 333 (2):431-438.
- Peixoto, M.F.S.P., Lavorenti, A., Regitano, J.B., Tornisielo, V.L., Peixoto, C.P., Sampaio, L.S.V., Sampaio, H.S.V. (2005). Remobilização de resíduos ligados de ¹⁴C-atrazina em ácidos fúlvicos. *Ciência Rural*, 35(2):340-346.
- Perry, D.H., McElroy, J.S., Doroh, M.C., Walker, R.H. (2011) Indaziflam Utilization for Controlling Problematic Turfgrass Weeds. *Online. Applied Turfgrass Science*, 8(1).
- Pignatello, J.J. (2000) The measurement and interpretation of sorption and desorption rates for organic compounds in soil media. *Adv. Agron.* 69:1-73.

- Pitelli, R.A. (1987) Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. *Série técnica IPEF*, Piracicaba, v.4, n.12, pp.1 – 24.
- Pitelli, R.A., Kuva, M.A. (1998) Dinâmica de populações de plantas daninhas e manejo da resistência aos herbicidas e seleção de flora. *In: curso de recomendações básicas de manejo de plantas daninhas e resistência aos herbicidas*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". p.1-46.
- Prata, F. (2002) Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina. Piracicaba. (Tese Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 149 p.
- Prata, F., Lavorenti, A. (2000). Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. *Rev. Biociências*, 6 (2):17-22.
- Putwain, P.D., Gillham, D.A. (1990) The significance of the dormant viable seed bank in the restoration of heathlands. *Biological Conservation*, (51):1-16.
- Queiroz, S. C., Ferracini, V. L., Gomes, M. A., & Rosa, M. A. (2009). The behavior of hexazinone herbicide in recharge zone of Guarani aquifer with sugarcane cultivated area. *Química nova*, 32:378-381.
- Regitano, J.B.; Koskinen, W.C. e Sadowsky, M.J. (2006) Influence of soil aging on sorption and bioavailability of simazine. *J Agric Food Chem*, 54 (4):1373-1379.
- Resende, M., Curi, N., Rezende, S.B., Corrêa, G.F. (1997) *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 2.ed. Viçosa: NEPUT, 367p.
- Roberts, H.A. (1981) *Seed banks in the soil*. Cambridge: Academic Press. 55p. (Advances in Applied Biology, 6)
- Roberts, H.A., Neilson, J.E. (1982) Seed bank of soil under vegetable cropping in England. *Weed Research*, (22):13-16.
- Rocha, P.R.R., Faria, A.T., Borges, L.G.F.C., Silva, L.O.C., Silva, A.A., Ferreira, E.A. (2013) Sorção e dessorção do diuron em quatro latossolos brasileiros. *Planta Daninha*, 31 (1):231-238.
- Schupp, E.W., Howe, H.F., Augspurger, C.K., Levey, D.J. (1989) Arrival and survival in tropical treefall gaps. *Ecology*, 70 (3):562-564.
- Schwarzenbach, R.P., Gschwend, P.M., Imboden, D.M. (1992) *Environmental organic chemistry*. New York, EUA: John Wiley & Sons. 657 p.
- Selim, H.M., Zhu, H. (2005) Atrazine sorption-desorption by sugarcane mulch residue. *J. Environ. Qual.* 34:325-335.

- Si, Y., Zhang, J., Wang, S., Zhang, L., Zhou, D. (2006). Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. *Geoderma*, 130(1):66-76.
- Silva, A.A., Vivian, R., Oliveira, Jr. R.S. (2007) Herbicidas: Comportamento no solo. *In: Silva, A.A., Silva, J.F. (Eds.) Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas*, UFV, Viçosa, MG, 367 p.
- Silva, K.A. (2009). Banco de sementes (lenhosas e herbáceas) e dinâmica de quatro populações herbáceas em uma área de Caatinga em Pernambuco. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 132p.
- Silva, L.O.C., Silva, A.A., Queiroz, M.E.L.R., Lima, C.F., Silva, L.L., D'Antonino, L. (2012) Mobilidade do ametryn em latossolos brasileiros. *Planta Daninha*, 30 (4):883-890.
- Simpson, R.L., Leck, M.A., Parker, V.T. (1989) *Seed banks: General concepts and methodological issues*. *In: Leck, M.A., Parker, V.P., Simpson, R.L. (Eds) Ecology of soil seed banks*. London: Academic Press. p. 69-86.
- Siqueira, C., Leal, J.R., Velloso, A.C.X., Santos, G.A. (1990) Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. *R. Bra. de Ci. Solo*, 14 (1):13-17.
- Stumm, W., Morgan, J.J. (1981) *Aquatic chemistry*. New York: Wiley, 780p.
- Tang, Z., Zhang, W., Chen, Y. (2009). Adsorption and desorption characteristics of monosulfuron in Chinese soils. *J. of hazardous materials*, 166(2):1351-1356.
- Thompson, K. (1992) The functional ecology of seed banks. *In: Fenner, M. (Ed.). Seeds the ecology of regeneration in plant communities*. Wallingford, U.K: CAB International. p. 231-258.
- 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-080818_26-Jul-10.pdf> Acessado em: 30 de jan. 2014.
- Traghetta, D.G., Vaz, C.; M.P., Machado, S.A.S., Crestana, S., Vieira, E.M., Martineto, L. (1996) *Mecanismos de sorção do atrazine em solos: estudos espectroscópicos e polarográficos*. EMBRAPA-CNPDIA. n. 14, p.1-7.
- Vasconcelos, M.C.C., Silva, A.F.A.D., Lima, R.D.S. (2012) Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. Revisão Bibliográfica. *Agropecuária científica no semiárido*, 8(1):01-06.

- Vidal, R.A. (2002) *Ação dos herbicidas*. Porto Alegre: 89p.
- Vieira, E.M., Prado, A.G.S., Landgraf, M.D., Rezende, M.O.O. (1999) Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) em solo com ausência e presença de matéria orgânica. *Química Nova*, 22 (3):305-308.
- Vivian, R., Guimarães, A.A., Queiroz, M.E.L.R., Silva, A.A., Reis, M.R., Santos, J.B. (2007) Adsorção e dessorção de trifloxysulfuron-sodium e ametryn em solos brasileiros. *Planta daninha*, 25(1):97-109.
- Vivian, R., Silva, A.A., Gimenes Junior, M., Fagan, E.B., Ruiz, S.T., Labonia, V. (2008) Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – breve revisão. *Planta Daninha*, 26 (3):695-706.
- Voll, E., Adegas, F.S., Gazziero, D.L.P., Brighenti, A.M., Oliveira, M.C.N. (2003) Amostragem do banco de semente e flora emergente de plantas daninhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 38(2):211-218.
- Voll, E., Gazziero, D.L.P., Karam, D. (1997a) Dinâmica de populações de carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum* DC.) sob manejos de solo e de herbicidas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32 (9):1-8.
- Voll, E., Karam, D., Gazziero, D.L.P. (1997b) Dinâmica de populações de trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.) sob manejos de solo e de herbicidas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32 (6):571-578.
- Voll, E., Karam, D., Gazziero, D.L.P. (1997c) Dinâmica de populações de capim-colchão (*Digitaria horizontalis* Willd.) sob manejos de solo e de herbicidas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32 (4):373-378.
- Voll, E., Torres, E., Brighenti, A.M., Gazziero, D.L.P. (2001) Dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo. *Planta Daninha*, 19(2):171-178.
- Weber, B.J., Wilkerson, G.G., Reinhardt, C.F. (2004) Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties. *Chemosphere*, 55 (2):157-166.
- Wu, C., Zhang, S., Nie, G., Zhang, Z., Wang, J. (2011) Adsorption and desorption of herbicide monosulfuron-ester in Chinese soils. *Journal of Environmental Sciences*, 23(9):1524-1532.
- Yenish, J.P., Doll, J.D., Buhler, D.D. (1992) Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. *Weed Science*, 40:429-433.