

## Herbicidas inibidores do fotossistema II em pré-emergência no controle de espécies de capim-colchão<sup>1</sup>

### *Photosystem II inhibitors herbicides in pre-emergence control for crabgrass species*

Leandro Tropaldi<sup>2</sup>; Rosilaine Araldi<sup>3</sup>; Ivana Paula Ferraz Santos de Brito<sup>4</sup>; Ilca Puertas de Freitas e Silva<sup>5</sup>; Caio Antonio Carbonari<sup>4</sup>; Edivaldo Domingues Velini<sup>4</sup>

**Resumo** - Muitas espécies do gênero *Digitaria* são denominadas de capim-colchão e ocorrem nas principais culturas agrícolas, com destaque para a cana-de-açúcar, a qual utiliza principalmente herbicidas inibidores do fotossistema II para o manejo de plantas daninhas. Devido à complexidade do sistema de cultivo e aos problemas atribuídos à substituição de espécies de plantas daninhas suscetíveis por espécies tolerantes de populações de capim-colchão, o trabalho teve como objetivo verificar o controle de espécies de capim-colchão utilizando herbicidas inibidores do fotossistema II (FSII), aplicados em pré-emergência. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em esquema fatorial 3x7, com quatro repetições e em delineamento inteiramente ao acaso, com o primeiro fator compostos pelas três espécies de capim-colchão (*D. ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) e, o segundo, dos herbicidas utilizados (ametryn, hexazinone, amicarbazone, diuron + hexazinone, diuron e tebuthiuron), além da testemunha sem aplicação. A eficácia dos tratamentos foi verificada por meio de avaliação visual de controle aos 15 e 30 dias após a aplicação (DAA), análise do fluxo de elétrons do FSII e biomassa seca total da parte aérea das plantas. Para a *D. nuda* foi observada baixo controle com diuron e tebuthiuron. Os herbicidas ametryn, hexazinone, amicarbazone e a mistura de diuron + hexazinone foram eficazes no controle com níveis superiores a 95%, sendo alternativas no controle de plantas de capim-colchão.

**Palavras-chaves:** *Digitaria ciliaris*; *Digitaria horizontalis*; *Digitaria nuda*; fitotoxicidade; plantas daninhas; tolerância

**Abstract** - Many species of the genus *Digitaria* are known as crabgrass and occurs in the main agricultural crops, especially in sugarcane production, which uses mostly photosystem II inhibitor herbicides for weed management. Due to the complexity of the cultivation system and the problems attributed to the substitution of susceptible species weeds by tolerant species of crabgrass populations, the objective of this work was to verify the control of crabgrass species using

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 07/02/2017 e aceito em 15/03/2017.

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. Rod. Cmte João Ribeiro de Barros, km 651, Bairro das Antas, CEP: 17900-000. E-mail: <tropaldi@dracena.unesp.br>.

<sup>3</sup> Fundação Educacional de Penápolis (Funepe), Penápolis. Av. São José, n° 400, Vila Martins, CEP: 16300-000. E-mail: <rosilainearaldi@hotmail.com>.

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Rua: José Barbosa de Barros, n° 1780, CEP: 18610-307. E-mail: <ivanapaulaf@yahoo.com.br; carbonari@fca.unesp.br; velini@fca.unesp.br>.

<sup>5</sup> Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia. Rod. MS 306, km 6,4, CEP: 79540-000. E-mail: <ilca\_pfs@yahoo.com.br>.

photosystem II inhibitor herbicides (PSII) in pre-emergence. The experiment was conducted in greenhouse in a completely randomized in factorial scheme 3x7, with four replications, with the first factor composed of three crabgrass species (*D. ciliaris*, *D. horizontalis* and *D. nuda*) and the second factor composed of following herbicides (ametryn; hexazinone; amicarbazone; diuron + hexazinone; diuron and tebuthiuron), further of the treatment without application. . The efficacy of the treatments was verified through of control by visual evaluation at 15 and 30 days after application (DAA), PSII electron transport rate analysis and total dry biomass of aerial part of the plants. For *D. nuda* it was observed low control with the herbicides diuron and tebuthiuron. The herbicides ametryn, hexazinone, amicarbazone and diuron + hexazinone mixture were effective in the control with levels higher than 95%, being good alternatives in the crabgrass control.

**Keywords:** *Digitaria ciliaris*; *Digitaria horizontalis*; *Digitaria nuda*; phytotoxicity; weeds; tolerance

## Introdução

Várias espécies do gênero *Digitaria* são consideradas plantas daninhas de ocorrência frequente em áreas de produção agrícola, dentre elas, *Digitaria horizontalis* Willd., *Digitaria sanguinalis* (L) Scop, *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, *Digitaria bicornis* Roem. & Schult e, *Digitaria nuda* (Schumach). Essas espécies são genericamente denominadas de capim-colchão, uma vez que apresentam características morfológicamente semelhantes, tornando difícil sua correta identificação, principalmente a nível de campo nos estádios iniciais de desenvolvimento (Canto-Dorow, 2001; Dias et al., 2007).

As espécies de capim-colchão são amplamente conhecidas por apresentar elevada produção de sementes, adaptabilidade ao meio e agressividade, podendo se multiplicar e manter-se em altas densidades ao longo do tempo (López-Ovejero et al., 2007). Por esse motivo, altas infestações de capim-colchão são encontradas em diversas culturas (Dias et al., 2007; Adegas et al., 2010; Barroso et al., 2010; Fontana et al., 2016) podendo ocasionar grandes perdas de produtividade. Dentre as culturas que as infestações de capim-colchão são importantes, a cana-de-açúcar se destaca por apresentar crescimento inicial lento e ser plantada utilizando-se amplos espaçamentos, facilitando a ocorrência de capim-colchão em altas densidades, sendo, portanto,

imprescindível a adoção de adoção de estratégias de manejo (Kuva et al., 2008).

Em cana-de-açúcar, o manejo de plantas daninhas é fundamentado no uso de herbicidas, sendo os inibidores do fotossistema II amplamente utilizados. Herbicidas pertencentes a vários grupos químicos, como triazinas, triazinona, triazolinonas e ureias fazem parte desse mecanismo de ação e são aplicados, principalmente em pré-emergência, em áreas de cana-de-açúcar (Brasil, 2017). Porém, falhas de controle em populações de capim-colchão foram observadas em áreas de cana-de-açúcar em que esses herbicidas inibidores do fotossistema II foram repetidamente utilizados (Dias et al., 2005). Dias et al. (2005) discutem que nessas áreas ocorreu a mudança das espécies predominantes, espécies suscetíveis foram substituídas por tolerantes a alguns dos grupos químicos desses herbicidas.

O sistema de produção de cana-de-açúcar é dinâmico, com constantes mudanças quanto ao manejo de palhada e o posicionamento de moléculas herbicidas, assim como, a pressão de seleção que pode ser imposta às plantas daninhas pode ser frequentemente alternada (Velini et al., 2015). Por esse motivo, esse trabalho teve objetivo verificar o efeito de herbicidas inibidores do fotossistema II, de diferentes grupos químicos, aplicados em pré-emergência, no controle de espécies de capim-colchão.

## Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação (temperatura média de 28°C, umidade relativa do ar de 70% e luz natural) utilizando-se como unidades experimentais vasos com capacidade de 4 litros (10x30x10cm). Os vasos foram preenchidos com solo classificado como Latossolo vermelho escuro distroférrico de textura média, corrigido com adição de calcário, além do uso dos fertilizantes com base em nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades determinadas conforme a análise química do solo. O solo apresentou as seguintes características

físico/químicas: 657, 305 e 41 ddm<sup>-3</sup> de areia, argila e silte, respectivamente; pH (Ca Cl<sub>2</sub>) = 4; M.O. = 21 g dm<sup>-3</sup>; P (resina) = 1 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>+3</sup> = 13 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al = 70 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (T) = 75 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S = 14 mg dm<sup>-3</sup> e V% = 7.

O experimento foi realizado em esquema fatorial 3x7, com quatro repetições e em delineamento inteiramente ao acaso, sendo os tratamentos compostos por três espécies de capim-colchão (*D. ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) e seis herbicidas e um tratamento sem aplicação. Os herbicidas e dosagens utilizadas estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Princípios ativos dos herbicidas, produto comercial e respectivas dosagens aplicadas em plantas de capim-colchão.

Princípio ativo	Produto comercial	Dose (g ha <sup>-1</sup> de i.a.)*
Ametryn	Gesapax 500 Ciba-Geigy, 250 g L <sup>-1</sup> i.a., SC, Syngenta	3000
Hexazinone	Hexazinona Nortox SL, 250 g L <sup>-1</sup> i.a., SL, Nortox	300
Amicarbazone	Dinamic, 700 g Kg <sup>-1</sup> i.a., WG, Arysta LifeScience	1050
Diuron + hexazinone	Velpar K WG, 468 + 132 g Kg <sup>-1</sup> i.a., WG, Du Pont	1170 + 330
Diuron	Karmex, 800 g Kg <sup>-1</sup> i.a., WG, Du Pont	2400
Tebuthiuron	Combine 500 SC, 500 g L <sup>-1</sup> i.a., SC, Dow AgroSciences	800

\* Ingrediente ativo.

As sementes das espécies estudadas foram obtidas em áreas de produção de cana-de-açúcar localizadas no município de Barra Bonita - SP, e cultivadas separadamente para obtenção de sementes puras. As plantas foram identificadas taxonomicamente a nível de espécie conforme chave analítica proposta por Canto-Dorow (2001), sendo que para cada espécie, exsicatas foram confeccionadas e depositadas no acervo do Herbário Irina Delanova Gemtchujnicóv (Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Unesp, Câmpus de Botucatu), sob o número de registro: BOTU 28.278 (*D. ciliaris*), BOTU 28.257 (*D. horizontalis*) e, BOTU 28258 (*D. nuda*).

As espécies foram semeadas nas unidades experimentais utilizando-se 0,2 gramas de sementes a uma profundidade de 0,8 a 1,0 cm. A aplicação dos herbicidas foi realizada no dia subsequente à semeadura por

meio de pulverizador estacionário, localizado em ambiente fechado (temperatura de 24°C e umidade relativa do ar de 71%), equipado com barra de pulverização contendo quatro pontas XR110.02, espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5m de altura. O volume de calda correspondeu a 200 L ha<sup>-1</sup>, sob pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido. Logo após à pulverização realizou-se simulação de chuva com lâmina d'água proporcional a 5 mm de precipitação nas unidades experimentais, utilizando-se o mesmo equipamento de pulverização, porém com uma segunda barra, constituída por oito pontas TK-SS-20, espaçadas em 0,5 cm e mantidas a 1,4 m de altura do alvo.

A eficácia dos tratamentos foi verificada por meio de avaliação visual de controle realizada aos 15 e 30 dias após aplicação (DAA) dos herbicidas, atribuindo-se notas de controle,

considerando-se zero para ausência de sintoma e 100% para o controle total, representado pela morte da planta, quando comparados à testemunha sem aplicação de herbicidas (SBCPD, 1995). Nesses mesmos períodos realizou-se análise do fluxo de elétrons do FSII, por meio da fluorescência da clorofila *a* das folhas inferiores e superiores. Para tal utilizou-se o protocolo Yield do fluorômetro modulado portátil Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Science), e calculou-se a taxa de transporte de elétrons (ETR), conforme apresentado por Araldi et al. (2011).

Aos 30 DAA foi também determinada a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas, coletando-se apenas o tecido vivo e secando-os em estufa de circulação de ar forçado a 60°C para posterior aferição em balança de precisão.

Os dados, expressos em porcentagem da testemunha, foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ), sendo a comparação das médias realizada por meio do teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Para as avaliações da taxa de transporte de elétrons, estabeleceu-se o intervalo de confiança pelo teste t ( $p \leq 0,10$ ), conforme Carbonari et al. (2011).

## Resultados e Discussão

A análise de variância para a eficácia dos herbicidas, verificada por meio de avaliação visual de controle, demonstrou haver interação significativa entre os fatores, espécies estudadas e os herbicidas aplicados (Tabela 2).

**Tabela 2.** Avaliação visual de controle das espécies de capim-colchão aos 15 e 30 DAA dos herbicidas inibidores do fotossistema II, em pré-emergência.

Herbicidas	15 DAA			30 DAA		
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
Ametryn	98,5 aA	100,0 aA	98,0 aA	98,0 aA	100,0 aA	97,0 aA
Hexazinone	98,5 aA	95,0 aA	96,5 aA	100,0 aA	100,0 aA	100,0 aA
Amicarbazone	98,2 aA	97,0 aA	98,0 aA	100,0 aA	100,0 aA	100,0 aA
Diuron + hexazinone	99,2 aA	98,7 aA	98,7 aA	100,0 aA	100,0 aA	100,0 aA
Diuron	99,2 aA	95,0 aA	78,7 bB	100,0 aA	100,0 aA	81,5 bB
Tebuthiuron	98,5 aA	99,2 aA	12,5 cB	100,0 aA	100,0 aA	11,2 cB
Testemunha	0 bA	0 bA	0 dA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 dA
F espécie (E)		370,3**			896,9**	
F herbicida (H)		219,4**			556,9**	
F interação (E x H)		235,4**			572,9**	
C.V. (%)		2,8			1,8	

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p < 0,05$ ); \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; C.V. (%) = coeficiente de variação.

Os herbicidas inibidores do fotossistema II (diuron, tebuthiuron, amicarbazone, ametryn, hexazinone e diuron + hexazinone) são registrados para aplicação em pré e pós-emergência inicial no controle de *Digitaria horizontalis* (Brasil, 2017), no entanto, não existe recomendação desses herbicidas para outras espécies de capim-colchão (Tabela 2). Tanto aos 15 DAA quanto aos 30 DAA, ficou evidente que, para a espécie *D. ciliares*, a ação do herbicida foi similar ao observado para a *D.*

*horizontalis*, entretanto, para as plantas de *D. nuda* o controle foi menos eficiente.

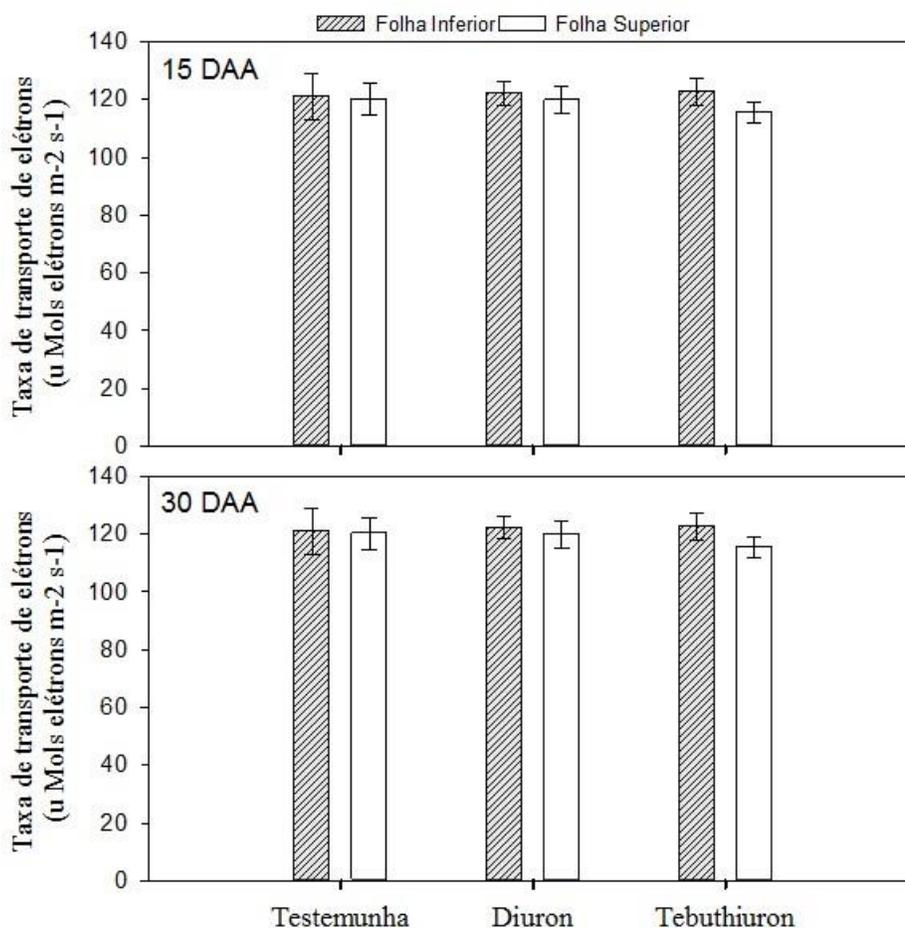
Os herbicidas ametryn, hexazinone, amicarbazone, pertencentes aos grupos das triazinas, triazinonas e triazolinonas, respectivamente, e também a mistura de diuron + hexazinone, foram eficazes no controle de todas as espécies, com níveis superiores a 95% aos 15 e 30 DAA (Tabela 2). As espécies *D. ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* também foram suscetíveis a esses mesmos herbicidas em trabalhos realizados por Dias et al. (2007), Dias

et al. (2005) e Lorenzi (2006), exceto a mistura comercial diuron + hexazinone, que foi considerada de baixa eficácia no controle de *D. nuda* por Dias et al. (2007). Nesse estudo, essa mistura apresentou eficácia satisfatória (>98%), sendo similar ao efeito encontrado para hexazinone.

A baixa eficácia de controle de *D. nuda* foi observada para os herbicidas pertencente ao grupo químico das ureias (diuron e tebuthiuron), apresentando porcentagens de controle de 78 a 12,5% aos 15 DAA, e 81 e 11 % aos 30 DAA, respectivamente. Ao passo que esses mesmos herbicidas proporcionaram altas porcentagens de controle para *D. ciliaris* e *D. horizontalis*.

Aos 15 e 30 DAA a análise do fluxo de elétrons do FSII, das plantas oriundas das

unidades experimentais em que os tratamentos diuron e hexazinone foram aplicados, demonstraram que as plantas não estavam intoxicadas (Figura 1), uma vez que elevados valores foram registrados (superiores 100  $\mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), não apresentado diferenças quando comparado com a testemunha (sem aplicação de herbicidas). Essa técnica foi utilizada por Araldi et al. (2011), Giroto et al. (2012), Dayan e Zaccaro (2012) e Tropaldi et al. (2015) para verificar a atuação de herbicidas em diversas espécies de plantas daninhas, uma vez que plantas intoxicadas apresentam menores valores ou o bloqueio do fluxo de elétrons após a exposição das plantas a herbicidas inibidores do fotossistema II.



Barras verticais representam o intervalo de confiança a 10% de probabilidade pelo teste t.

**Figura 1.** Taxa de transporte de elétrons (ETR) em folhas inferiores e superiores de *Digitaria nuda* aos 15 e 30 DAA de herbicidas em pré-emergência.

Os resultados de massa seca da parte aérea (MSPA) aos 30 DAA indicaram o mesmo efeito que as avaliações de controle, ou seja, apenas *D. nuda* emergiu e se desenvolveu mesmo após a aplicação de diuron ou tebuthiuron (Tabela 3). Dias et al. (2007) observaram que embora tebuthiuron e diuron apresentaram altos níveis de controle para *D. horizontalis*, esses mesmos herbicidas foram menos efetivos para a *D. nuda*.

**Tabela 3.** Massa seca parte aérea (MSPA) das espécies de capim-colchão 30 DAA em pré-emergência dos herbicidas. Valores expressos em porcentagem da média da testemunha.

Herbicidas	Dose (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
Ametryn	3000	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
Hexazinone	300	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
Amicarbazone	1050	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
Diuron + hexazinone	1170 + 330	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
Diuron	2400	0,0 aA	0,0 aA	19,5 bB
Tebuthiuron	800	0,0 aA	0,0 aA	63,5 cC
Testemunha	-	100,0 bA	100,0 bA	100,0 dA
F (E)			70,4**	
F(H)			874,4**	
F (ExH)			40,8**	
C.V. (%)			23,6	

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p < 0,05$ ); \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; C.V. (%) = coeficiente de variação.

Os demais herbicidas (ametryn, hexazinone e amicarbazone) que pertencem aos grupos das triazinas, triazinonas e triazolinonas, respectivamente, apresentaram alta eficácia, para todas as espécies. No entanto, Tropaldi et al. (2015) observou que a *D. nuda* foi medianamente tolerante a aplicação de amicarbazone em pós-emergência.

Os herbicidas inibidores do FSII utilizados nesse estudo atuam como análogos à plastoquinona, ligando-se ao sítio de ligação da plastoquinona na proteína D1 no FSII, o que resulta no bloqueio do transporte de elétrons e, conseqüentemente, impedindo a produção de NADPH<sup>+</sup> e ATP (Fuerst e Norman, 1991; Perez-Jones et al., 2009). Conjuntamente ao bloqueio do fluxo de elétrons, uma série de reações são desencadeadas promovendo a peroxidação dos lipídios das membranas celulares, levando as plantas à morte (Fuerst e Norman, 1991; Perez-Jones et al., 2009). No entanto, a ligação da molécula herbicida é variável entre os diferentes grupos químicos, assim, herbicidas pertencentes a esse mecanismo de ação podem apresentar

respostas diferenciadas entre as espécies (Powles e Yu, 2010; Beckie e Tardif, 2012).

Embora a ineficácia de controle dos herbicidas do grupo das ureias em *D. nuda*, pode estar relacionada à ligação diferencial das ureias no sítio de ligação na proteína D1, quando comparado aos demais grupos químicos, este mecanismo foi considerado pouco provável (Dias et al., 2007). Do mesmo modo, a absorção e translocação diferencial de diuron também não foi relacionada com a tolerância apresentada por *D. nuda* (Dias et al., 2003; Souza (2011). Assim, admite-se que a metabolização pode ser um dos mecanismos responsável pela tolerância de *D. nuda*. Nesse sentido, Souza (2011) observou maior expressão de um dos genes da família P450 (CYP81A6), porém o autor também discute a necessidade de estudos complementares. As principais transformações que os herbicidas do grupo das ureias sofrem são N-desalquilação, N-desmetilação e alquioxidação, sendo verificadas pela atividade das enzimas da grande família da P450 monooxigenase (Dasgupta et al., 2011).

## Conclusões

Aplicações em pré-emergência dos herbicidas ametryn, hexazinone, amicarbazone e da mistura diuron+hexazinone foram eficazes no controle de *D. horizontalis*, *D. ciliaris* e *D. nuda*.

É fundamental identificar a espécie de *Digitaria* quando da utilização dos herbicidas diuron e tebuthiuron, visto que plantas da espécie *Digitaria nuda* demonstraram tolerância aos mesmos quando aplicados em pré-emergência.

## Referências

- Adegas, F.S.; Oliveira, M.F.; Vieira, O.V.; Prete, C.E.C.; Gazziero, D.L.P.; Voll, E. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do girassol. **Planta Daninha**, v.28, n.4, p.705-716, 2010.
- Araldi, R.; Velini, E.D.; Giroto, M.; Carbonari, C.A.; Jasper, S.P.; Trindade, M.L.B. Efeitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.647-653, 2011.
- Barroso, A.L.L.; Dan, H.A.; Procópio, S.O.; Toledo, R.E.B.; Sandaniel, C.R.; Braz, G.B.P.; Cruvinel, K.L. Eficácia de herbicidas inibidores da ACCase no controle de gramíneas em lavouras de soja. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p.149-157, 2010.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**, Brasília, DF, 2017.
- Beckie, H.J.; Tardif, F.J. Herbicides cross resistance in weeds. **Crop Protection**, v.35, p.15-28, 2012.
- Canto-Dorow, T.S. **O gênero Digitaria Haller (Poaceae - Panicoideae - Poniceae) no Brasil**. 2001. 386f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- Carbonari, C.A.; Velini, E.D.; Gomes, G.L.G.C.; Siono, L.M.; Takahashi, E.N.; Bentivenha, S.R.P. Aplicação aérea de grânulos de argila como veículo de herbicidas para o controle de plantas daninhas em área de reforma de eucalipto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.3, p.257-265, 2011.
- Dasgupta, K.; Ganesan, S.; Manivasagam, S.; Ayre, B.G. A cytochrome P450 monooxygenase commonly used for negative selection in transgenic plants causes growth anomalies by disrupting brassinosteroid signaling. **BMC Plant Biology**, v.11, n.67, p.1-12, 2011.
- Dayan, F.E.; Zaccaro, M.L.M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.102, p.189-197, 2012.
- Dias, A.C.R.; Carvalho, S.J.P.; Nicolai, M.; Christoffoleti, P.J. Problemática da ocorrência de diferentes espécies de capim-colchão (*Digitaria* spp.) na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.25, n.3, p.489-499, 2007.
- Dias, N.M.P.; Christoffoleti, P.J.; Tornisielo, V.L. Identificação taxonômica de espécies de capim-colchão infestantes da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e eficácia de herbicidas no controle de *Digitaria nuda*. **Bragantia**, v.64, n.3, p.389-396, 2005.
- Dias, N.M.P.; Regitano, J.B.; Christoffoleti, P.J.; Tornisielo, V.L. Absorção e translocação do herbicida diuron por espécies suscetível e tolerante de capim-colchão (*Digitaria* spp.). **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.293-300, 2003.
- Fontana, L.C.; Agostinetto, D.; Magro, T.D.; Ulguim, A.R.; Canto-Dorow, T.S. Levantamento de espécies de *Digitaria* ("milhã") em áreas de cultivo agrícola no Rio Grande do Sul (Brasil). **Revista Brasileira de Biociências**, v.14, n.1, p.1-8, 2016.
- Fuerst, E.P.; Norman, M.A. Interactions of herbicides with photosynthetic electron transport. **Weed Science**, v.39, n.3, p.458-464, 1991.

- Giroto, M.; Araldi, R.; Velini, E.D.; Trindade, M.L.B.; Carbonari, C.A. Efeito do hexazinone isolado e em mistura na eficiência fotossintética de *Panicum maximum*. **Planta Daninha**, v.30, n.2, p.341-347, 2012.
- Kuva, M. A.; Ferraudo, A.S.; Pitelli, R.A.; Alves, P.L.C.; Salgado, T.P. Padrões de infestação de comunidades de plantas daninhas no agroecossistema de cana-crua. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 549-557, 2008.
- López Ovejero, R. F.; Novo, M.C.S.S.; Carvalho, S.J.P.; Nicolai, M.; Christoffoleti, P.J. Crescimento e competitividade de biótipos de capim-colchão resistente e suscetível aos herbicidas inibidores da acetil coenzima A carboxilase. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.1, p.1-8, jan. 2007.
- Perez-Jones, A.; Intanon, S.; Mallory-Smith, C. Molecular analysis of hexazinone-resistant shepherd's-purse (*Capsella bursa-pastoris*) reveals a novel psbA mutation. **Weed Science**, v.57, n.6, p.574-578, 2009.
- Powles, S.B.; Yu, Q. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. **Annual Review of Plant Biology**. 2010. 61:317-47.
- Sociedade Brasileira de Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina, 1995. 42 p.
- Souza, R.C. **Características fisiológicas da tolerância de *Digitaria nuda* a herbicidas aplicados em cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 94f. Tese (Doutorado em Ciências/Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- Tropaldi, L.; Velini, E.D.; Carbonari, C.A.; Araldi, R.; Corniani, N.; Giroto, M. Silva, I.P.F. Detecção da tolerância de diferentes espécies de capim-colchão a herbicidas inibidores do fotossistema II utilizando a técnica da fluorescência. **Ciência Rural**, v.45, n.5, p.767-773, 2015.
- Velini, E.D.; Tropaldi, L.; Brito, I.P.F.S.; Marchesi, B.B.; Moraes, C.P.M.; Carbonari, C.A. Inovações no manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. In: Baldin, E.L.; Kronka, A.Z.; Fujihara, R.T. (Org.). **Proteção Vegetal**, Botucatu: FEPAF, 2015, 1 ed., cap.5, p.51-70.