

Detecção da tolerância de diferentes espécies de capim-colchão a herbicidas inibidores do fotossistema II utilizando a técnica da fluorescência

Detection of crabgrass species tolerance to photosystem II inhibitor herbicides using fluorescence technique

Leandro Tropaldi^{1*} Edivaldo Domingues Velini¹¹ Caio Antonio Carbonari¹¹ Rosilaine Araldi¹¹
Natália Corniani¹ Marcelo Giroto¹ Ilca Puertas de Freitas e Silva¹¹

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar a tolerância ou susceptibilidade das espécies de capim-colchão (*Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) a herbicidas inibidores do fotossistema II (FSII), por meio da técnica da fluorescência, utilizando a taxa de transferência de elétrons do FSII como indicador. Para isso, foi conduzido um experimento em esquema fatorial 3x6, com três espécies de capim-colchão e seis tratamentos (ametryn, hexazinone, diuron+hexazinone, amicarbazone, diuron, tebuthiuron e testemunha) aplicados em pós-emergência. Foi monitorada a taxa de transporte de elétrons (ETR) do FSII em intervalos de tempo crescente e aferida a massa seca das plantas aos 21 dias após a aplicação. A partir dos dados da ETR, calculou-se um valor numérico representativo da taxa de inativação da ETR. Os resultados demonstraram que todas as espécies de capim-colchão estudadas são susceptíveis aos herbicidas ametryn e hexazinone (valores da taxa de inativação da ETR superiores a 10.000). Os herbicidas diuron e tebuthiuron apresentaram menores taxas de inativação da ETR para a *D. nuda* (3.585 e 3.497, respectivamente) e maiores para as espécies *D. ciliaris* e *D. horizontalis* (acima de 10.000), enquanto que o herbicida amicarbazone apresentou valor intermediário para *D. nuda* (7.967). O monitoramento da ETR foi eficiente para verificar a atuação dos herbicidas nas diferentes espécies estudadas.

Palavras-chave: *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel, *Digitaria horizontalis* Willd., *Digitaria nuda* Schumach, taxa de transporte de elétrons (ETR).

ABSTRACT

This study aimed to investigate the tolerance or susceptibility of crabgrass species (*Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* and *D. nuda*) to herbicides that target photosystem II (PSII), by fluorescence technique using the electron transport rate (ETR) through PSII as an indicator. An experiment was conducted under a factorial arrange (3x6), with three species of crabgrass

and six treatments (ametryn, hexazinone, diuron+hexazinone, amicarbazone, diuron, tebuthiuron and control) applied in post-emergence. The ETR through PSII was monitored over time and the plants dry weight measured at 21 days after application. A numerical value of the ETR inactivation was calculated from the data collected. The results showed that the three crabgrass species studied are susceptible to ametryn and hexazinone (ETR inactivation value higher than 10,000). Moreover, diuron and tebuthiuron provided lower ETR inactivation for *D. nuda* (3,585 and 3,497, respectively) and higher rates for *D. horizontalis* and *D. ciliaris* (more than 10,000), whereas amicarbazone showed intermediate inactivation rate for *D. nuda* (7,967). Monitoring the ETR showed to be an efficient form to verify the herbicides performance in the different species studied here.

Key words: *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel, *Digitaria horizontalis* Willd., *Digitaria nuda* Schumach, electron transfer rate (ETR).

INTRODUÇÃO

Dificuldades no manejo de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar, onde a ocorrência do complexo de capim-colchão (*Digitaria* spp.) é comum e tem sido relatadas, principalmente, devido a falhas de controle após a utilização de alguns herbicidas (DIAS et al., 2003). Este problema foi atribuído à mudança da predominância de espécies susceptíveis de capim-colchão (*Digitaria horizontalis* Willd., *D. ciliaris* (Retz.) Koel. e *D. sanguinalis* (L.) Scop.) por uma espécie tolerante (*D. nuda* Schumach) a alguns herbicidas (DIAS et al., 2003, 2005 e 2007). A problemática de manejo

¹Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), 18610-307, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: ltropaldi@gmail.com. *Autor para correspondência.

¹¹Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, FCA, UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

destas espécies tem sido agravada, pois nem sempre a espécie tolerante é detectada na área, uma vez que estas espécies de capim-colchão são morfológicamente semelhantes entre si, o que favorece erros frequentes de identificação e controle (DIAS et al., 2003 e 2005).

Os herbicidas inibidores do fotossistema II (FSII) são amplamente utilizados no manejo de plantas daninhas nas áreas de produção, porém existem relatos de que a *D. nuda* é tolerante à ação de algumas moléculas com este mecanismo de ação (DIAS et al., 2003). O uso de herbicidas inibidores do FSII provoca o bloqueio do fluxo de elétrons entre os fotossistemas na membrana dos tilacóides por ligarem-se ao sítio da quinona B (Q_B) da proteína D1 do FSII, impedindo a ligação da plastoquinona (VENTRELLA et al., 2010). Em decorrência do bloqueio do fluxo de elétrons, uma maior porção de energia de excitação absorvida pelos pigmentos foliares é dissipada como fluorescência (DAYAN & ZACCARO, 2012). Dessa forma, através do fluorômetro, é possível mensurar a taxa de fluorescência da clorofila *a* e, a partir deste parâmetro, determinar a taxa de transferência de elétrons no FSII (BAKER, 2008).

As mensurações de fluorescência podem ser utilizadas para indicar a susceptibilidade de plantas daninhas e/ou culturas a alguns herbicidas inibidores de fotossíntese, podendo inclusive quantificar o grau de interferência nas plantas (KORRES et al., 2003; BAKER, 2008; ARALDI et al., 2011; DAYAN & ZACCARO, 2012; GIROTTO et al., 2012). A taxa de transporte de elétrons do FSII também tem sido utilizada para estudos de dinâmica de herbicidas em diversas plantas (ARALDI, et al., 2011; DAYAN & ZACCARO, 2012), pois permite determinar o efeito da atuação de herbicidas em concentração de $0,5\mu\text{mol dm}^{-3}$, enquanto o método tradicional, que inclui a medição do parâmetro F_v/F_m , permite detectar apenas em concentrações 100 vezes maiores (ABBASPOOR et al., 2006). Além disso, a técnica da fluorescência fornece resultados dentro de um curto período de tempo após a exposição ao herbicida (KORRES et al., 2003).

Este trabalho teve como objetivo investigar a tolerância ou susceptibilidade das espécies de capim-colchão (*D. ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) a herbicidas inibidores do FSII, recomendados para a cultura da cana-de-açúcar, utilizando a taxa de transferência de elétrons como indicador.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de *D. ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* foram obtidas em áreas de produção de cana-de-

açúcar em Barra Bonita, SP. Após a coleta individual das panículas, procedeu-se à identificação taxonômica (CANTO-DOROW, 2001), baseando-se em diferenças morfológicas da espiguetta. Posteriormente, as sementes foram cultivadas por dois ciclos em casa de vegetação para multiplicação e confirmação das espécies. Exsicatas de cada espécie foram confeccionadas e depositadas no acervo do Herbário Irina Delanova Gemtchujnicóv (Botucatu, SP), sob o número de registro: BOTU 28.278 (*D. ciliaris*); BOTU 28.257 (*D. horizontalis*) e BOTU 28.258 (*D. nuda*).

As unidades experimentais corresponderam a recipientes plásticos com capacidade de 0,3L, contendo uma mistura de solo (Latosolo vermelho escuro distrófico de textura média) e substrato comercial para produção de mudas (1:1). Em cada unidade experimental foram semeadas aproximadamente 20 sementes da espécie de interesse e, duas semanas após, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por recipiente. As plantas foram conduzidas em casa de vegetação (temperatura média 28°C e umidade relativa do ar 70%) e submetidas aos tratamentos ao atingirem o estágio de três a quatro folhas.

Foram utilizados os seguintes herbicidas e dosagens: ametryn (540g i.a. ha^{-1}), hexazinone (138g i.a. ha^{-1}), amicarbazone ($1102,5\text{g i.a. ha}^{-1}$), diuron ($3120\text{g i.a. ha}^{-1}$), diuron+hexazinone ($1170+330\text{g i.a. ha}^{-1}$) e tebuthiuron (480g i.a. ha^{-1}). As dosagens foram definidas em ensaios preliminares de eficácia, optando-se pela dosagem necessária para promover 80% de redução da massa seca de pelo menos uma das espécies. Além dos tratamentos herbicidas, utilizou-se uma testemunha (sem aplicação de herbicida, apenas água) para cada espécie, que serviu para comparar com as plantas tratadas. Em cada tratamento, a calda recebeu a adição do surfactante Aterbane na proporção de 0,2% v/v.

Todos os herbicidas foram aplicados utilizando-se um pulverizador estacionário instalado em ambiente fechado, provido de uma barra com quatro pontas de pulverização XR11002VS, espaçadas 0,5m entre si e posicionadas a 0,5m de altura em relação à superfície alvo. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de $3,6\text{km ha}^{-1}$, com volume de calda de 200L ha^{-1} , pressão constante de 1,5bar pressurizado por ar comprimido. Após aplicação dos herbicidas, as unidades experimentais foram transportadas para a casa de vegetação, onde permaneceram por 21 dias. Durante este período, a irrigação foi efetuada conforme a necessidade, sempre evitando molhar as folhas para que não houvesse a lavagem dos herbicidas depositados sobre elas.

O monitoramento do fluxo de elétrons do FSII foi calculado por meio da fluorescência da clorofila *a* das folhas das plantas. Para iluminação e detecção da fluorescência da clorofila, foi utilizado o protocolo Yield do fluorômetro modulado portátil Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Science). Esse protocolo é otimizado para quantificação da fluorescência da clorofila na condição de fotossíntese adaptada à luz, porque registra a medida do rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y), que representa a fase fotoquímica da fotossíntese. Este parâmetro é utilizado para calcular a taxa de transporte de elétrons (ETR)- $\mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1} = (Y) \cdot (\text{PAR}) \cdot (0,84) \cdot (0,5)$, que é equivalente a: (rendimento quântico efetivo do fotossistema II) x (coeficiente de absorção da folha) x (fração de luz absorvida pelo complexo antena do fotossistema II), conforme descrito por ARALDI et al. (2011).

O monitoramento da ETR foi realizado em intervalos de 0,5, 1, 2, 3, 6, 10, 24, 48, 72, 96 e 120 horas após a aplicação dos herbicidas. A mensuração foi realizada na parte mediana da terceira folha de cada planta em todos os períodos de avaliação. Os valores da ETR foram expressos em porcentagem do valor médio da ETR da testemunha.

A partir dos dados gerados da ETR, calculou-se um valor numérico representativo da taxa de inativação da ETR promovida pelos herbicidas em cada espécie estudada. Para este cálculo, utilizou-se das propriedades do cálculo poligonal de área, considerando o eixo x os valores representados pelo período em horas das mensurações e no eixo y a porcentagem de redução da ETR após a pulverização dos herbicidas.

Aos 21 DAA dos herbicidas, determinou-se a massa seca da parte aérea. Para isso, coletou-se apenas o tecido vivo das plantas oriundas de cada unidade experimental, submetendo-as à secagem até peso constante em estufa de circulação de ar forçado a 58°C e posterior aferição em balança de precisão.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 3x6 (espécies x tratamentos herbicidas), no delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições. Para os dados da ETR e a taxa de inativação da ETR, foram calculadas as médias dos tratamentos e determinados os intervalos de confiança pelo teste t a 10% de probabilidade, utilizando a seguinte expressão: $IC = (t \cdot \text{desvpad}) / \sqrt{n}$, em que: IC = intervalo de confiança; t = valor de t tabelado ao nível de 10% de probabilidade; desvpad = desvio padrão; \sqrt{n} = raiz quadrada do número de repetições. Os dados da porcentagem da redução da massa seca foram submetidos à análise de variância e as médias

comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR.

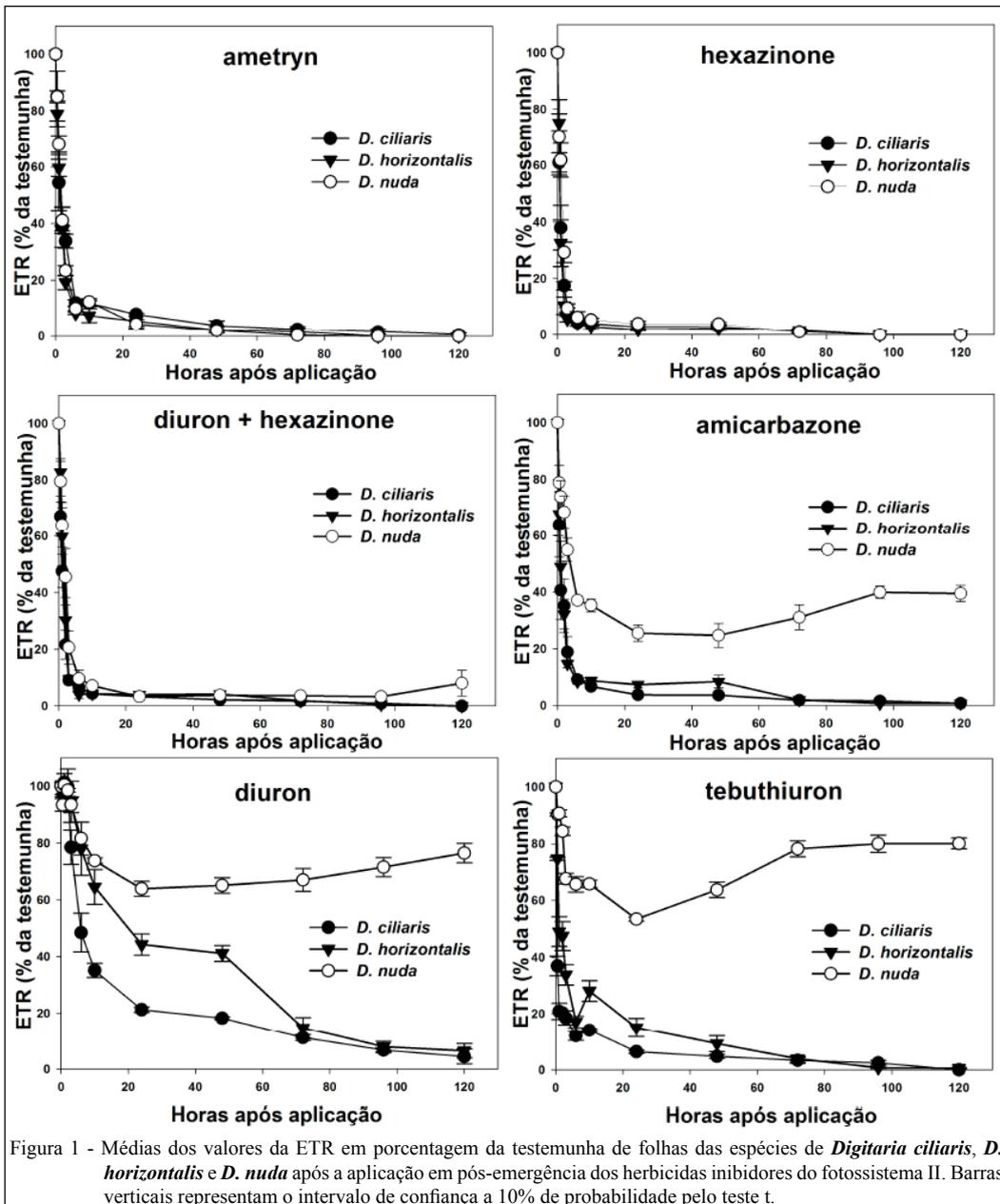
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação de um herbicida inibidor do FSII com o sítio de ação provoca o bloqueio do fluxo de elétrons, reduzindo a taxa de transferência de elétrons (ETR) do FSII (PEREZ-JONES et al., 2009; BAKER, 2008). Dessa forma, com o monitoramento da ETR, foi possível verificar a susceptibilidade ou tolerância das espécies de capim-colchão estudadas em poucas horas após a aplicação dos herbicidas (Figura 1).

Os herbicidas ametryn e hexazinone, ambos pertencentes ao grupo químico das triazinas, tiveram um padrão similar de intoxicação em todas as espécies estudadas. As primeiras horas após aplicação dos herbicidas foram determinantes na redução da ETR, com decréscimos superiores a 50% nas primeiras três horas, 90% a partir de seis horas em todas as espécies estudadas e 100% às 120 horas. Além da interferência na ETR, a dosagem utilizada foi suficiente para reduções superiores a 82% da massa seca total de todas as espécies (Tabela 1).

A mistura diuron+hexazinone apresentou um padrão de intoxicação similar ao efeito isolado de hexazinone. Reduções superiores a 70% da ETR foram encontradas em todas as espécies estudadas três horas após a aplicação. O rápido efeito na interação dos herbicidas com o sítio de ação no tecido analisado demonstra susceptibilidade à mistura de moléculas, levando o tecido intoxicado à morte, possibilitando uma redução de massa seca superior a 80%.

A aplicação de amicarbazone nas espécies *D. ciliaris* e *D. horizontalis* similarmente a ametryn e hexazinone, reduziu rapidamente a ETR nas primeiras horas. No entanto, este efeito não foi observado para a *D. nuda*, que apresentou um decréscimo gradativo até 80% em relação à testemunha, 24 horas após a aplicação, e estabilizou-se posteriormente neste nível de intoxicação (60% de redução da ETR), acarretando redução de 31,3% da massa seca da parte aérea. Esta característica é citada por alguns autores como a capacidade que algumas plantas apresentam de se recuperarem de injúrias após a aplicação de herbicidas (ARALDI et al., 2011; CATUNDA et al., 2005). CATUNDA et al. (2005) observaram este efeito através do registro de queda na eficiência quântica do FSII de plantas de abacaxi (*Ananas comosus*) aos cinco DAA e um aumento da razão Fv/Fm a partir de 10 DAA, sugerindo, assim, que a aplicação de alguns herbicidas podem causar dano reversível ao aparato fotossintético, podendo a planta recuperar-se sem sintomas aparentes.



A aplicação de diuron e tebuthiuron em plantas *D. nuda* proporcionou lenta redução da ETR nas primeiras horas, não sendo superior a 20%, ou seja, a ETR foi apenas parcialmente reduzida e posteriormente levemente recuperada nos tecidos analisados (23,5 e 19,9% de redução da ETR às 120 horas, respectivamente), o que acarretou pequena redução da massa seca das plantas (9,8 e 9,1%, respectivamente). Isto demonstra que o nível de interação do herbicida com o sítio de ação decresce levemente após a intoxicação inicial, porém a planta volta a exercer suas atividades normalmente.

Todas as espécies de capim-colhão (*D. ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) são susceptíveis aos herbicidas ametryn, hexazinone e diuron+hexazinone, apresentando maiores valores da taxa de inativação da ETR (acima de 10.000 - susceptíveis) (Figura 2). Por outro lado, os herbicidas diuron e tebuthiuron apresentaram menores valores para a *D. nuda* (3.585 e 3.497, respectivamente - tolerante), diferindo das espécies *D. ciliaris* e *D. horizontalis* (susceptíveis), enquanto que o amicarbazone apresentou valor intermediário para *D. nuda* (7.967), quando comparado aos demais herbicidas.

Tabela 1 - Médias da redução da massa seca da parte aérea das espécies de capim-colchão (*Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) expressa em porcentagem da média da testemunha aos 21 DAA, em pós-emergência dos herbicidas inibidores do fotossistema II.

Herbicidas	Espécies		
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
ametryn	86,78 a AB	92,87 a A	96,14 a A
hexazinone	91,99 a A	82,81 a AB	86,41 a A
diuron + hexazinone	94,79 a A	93,52 a A	81,47 a A
amicarbazone	82,77 a AB	86,90 a AB	31,29 b B
diuron	71,58 a B	62,72 a C	9,80 b C
tebuthiuron	81,82 a AB	69,96 a BC	9,16 b C
F _{espécies x herbicidas}		19,61**	
CV (%)		11,66	
DMS		14,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (5%); ** = significativo em nível de 1% de probabilidade; CV (%) = coeficiente de variação; DAA = dias após a aplicação.

A menor taxa da ETR é correlacionada com a ineficiência de alguns herbicidas no controle de *D. nuda*, contudo, apesar da constatação da menor interação do herbicida com o sítio de ação, não é possível determinar se a causa da baixa ação se deve, por exemplo, à capacidade da planta metabolizar, conjugar ou compartimentalizar os herbicidas. Contudo, a observação dos padrões de comportamento da ETR ao longo do tempo permitiu inferir sobre a variação do nível de interação do herbicida com o sítio de ação das plantas estudadas.

Alguns dos mecanismos que poderiam conferir tolerância a *D. nuda* aos herbicidas pertencentes ao grupo das ureias já foram estudados. A absorção e translocação diferencial de diuron utilizando ¹⁴C-diuron foi estudada por DIAS et al.

(2003) em aplicação foliar e por SOUZA (2011) em aplicação via solo. Ambos concluíram que estes mecanismos não estão relacionadas com a maior tolerância apresentada por *D. nuda*.

A metabolização é outro mecanismos que pode conferir tolerância a algumas espécies ou biótipos a herbicidas, por exemplo, aumento do metabolismo de fluazifop-p-butil foi atribuído à resistência de *D. sanguinalis* a este herbicida (HIDAYAT & PRESTON, 1997). As principais transformações que as ureias sofrem são N-desalquilação, N-desmetilação e alquioxidação, sendo, muitas dessas reações, verificadas pela atividade das enzimas da grande família da P₄₅₀ mono-oxigenase (DASGUPTA et al., 2011). SOUZA (2011) correlacionou a maior tolerância de *D. nuda*

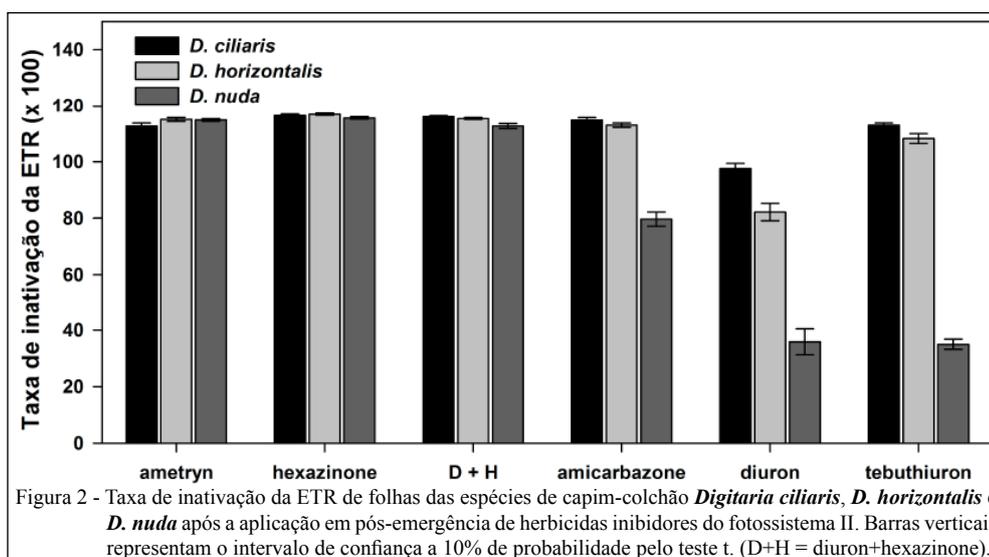


Figura 2 - Taxa de inativação da ETR de folhas das espécies de capim-colchão *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* após a aplicação em pós-emergência de herbicidas inibidores do fotossistema II. Barras verticais representam o intervalo de confiança a 10% de probabilidade pelo teste t. (D+H = diuron+hexazinone).

a diuron com a maior expressão do gene CYP81A6 da família P₄₅₀ diferencial. Porém, este mesmo autor discute a necessidade de estudos envolvendo outros genes de P₄₅₀ que possam estar envolvidos com o processo de metabolização de herbicidas, além de estudos com enzimas glicosiltransferases, que atuam na conjugação de moléculas de açúcares com xenobióticos. Assim, considerações sobre metabolização ou compartimentalização destes herbicidas nas plantas ainda demandarão estudos complementares para melhor compreensão do mecanismo de tolerância da *D. nuda*.

Sendo assim, este experimento destaca como os diferentes herbicidas inibidores do FSII influenciam a ETR das plantas tratadas, bem como distingue a resposta diferencial das espécies de capim-colchão à aplicação dos herbicidas. Esta técnica tem potencial para ser utilizada nas investigações da tolerância e/ou resistência de espécies de plantas daninhas, com base na sensibilidade aos herbicidas inibidores do FSII.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstra que todas as espécies de capim-colchão estudadas são susceptíveis aos herbicidas ametryn e hexazinone. Por outro lado, os herbicidas diuron e tebuthiuron apresentaram menores taxas de inativação da ETR para a *D. nuda*, diferindo-se das espécies *D. ciliaris* e *D. horizontalis*, enquanto que o herbicida amicarbazone apresentou taxa intermediária para *D. nuda*. O monitoramento da ETR se mostrou eficiente para verificar a atuação dos herbicidas nas diferentes espécies estudadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Edital MCT/CNPq N°70/2009) pelo apoio financeiro por meio de uma cota de bolsa de mestrado. À Profª. Drª Thais Scotti do Canto-Dorow (UFMS -Santa Maria, RS) pela confirmação da identificação das espécies de capim-colchão.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOOR, M. et al. The effect of root-absorbed PSII inhibitors on Kautsky curve parameters in sugar beet. **Weed Research**, v.46, n.3, p.226-235, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3180.2006.00498.x/abstract>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1111/j.1365-3180.2006.00498.x.
- ARALDI, R. et al. Efeitos na taxa de transporte de electrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.647-653, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000300019>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1590/S0100-83582011000300019.
- BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.89-113, 2008. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>>. Acesso em 18 mar. 2014. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759.
- 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, RS.
- CATUNDA, M.G. et al. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). **Planta Daninha**, v.23, n.1, p.115-121, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000100014>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1590/S0100-83582005000100014.
- DASGUPTA, K. et al. 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. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2229/11/67>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi:10.1186/1471-2229-11-67.
- 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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.01.005>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1016/j.pestbp.2012.01.005.
- DIAS, A.C.R. et al. Problemática da ocorrência de diferentes espécies de capim-colchão (*Digitaria* spp.) na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p.489-499, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582007000300008>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1590/S0100-83582007000300008.
- DIAS, N.M.P. et al. 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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582003000200015>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1590/S0100-83582003000200015.
- DIAS, N.M. et al. Identificação taxonômica de espécies de capim-colchão infestantes da cultura 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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000300008>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1590/S0006-87052005000300008.
- GIROTTO, M. et al. Efeito do hexazinone isolado e em mistura na eficiência fotossintética de *Panicum maximum*. **Planta Daninha**, v.30, n.2, p.341-347, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000200013>>. Acesso em: 18 mar., 2014. doi: 10.1590/S0100-83582012000200013.
- HIDAYAT, I.; PRESTON, C. Enhanced metabolism of fluzafop acid in a biotype of *Digitaria sanguinalis* resistant to the herbicide fluzafop-p-butyl. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.57, n.2, p.137-146, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1006/pest.1997.2265>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1006/pest.1997.2265.
- KORRES, N.E. et al. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid diagnostic test of the effects of the photosynthetic inhibitor chlorotoluron on two winter wheat cultivars. **Annals of Applied Biology**, v.143, p.53-56, 2003. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00268.x/abstract>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1111/j.1744-7348.2003.tb00268.x.

PEREZ-JONES, A. et al. Molecular analysis of hexazinone-resistant shepherd's-purse (*Capsella bursapastoris*) reveals a novel psbA mutation. **Weed Science**, v.57, n.6, p.574-578, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1614/WS-09-089.1>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1614/WS-09-089.1.

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.

VENTRELLA, A. et al. Herbicides affect fluorescence and electron transfer activity of spinach chloroplasts, thylakoid membranes and isolated Photosystem II. **Bioelectrochemistry**, v.79, p.43-49, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bioelechem.2009.10.008>>. Acesso em: 18 mar. 2014. doi: 10.1016/j.bioelechem.2009.10.008.