

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DO AMICARBAZONE NO FOTOSSISTEMA II DE
PLANTAS DANINHAS E CANA-DE-AÇÚCAR**

MARCELO GIROTTO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para a obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Agricultura).

BOTUCATU - SP

Julho - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DO AMICARBAZONE NO FOTOSSISTEMA II DE
PLANTAS DANINHAS E CANA-DE-AÇÚCAR**

MARCELO GIROTTO

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para a obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Agricultura).

BOTUCATU – SP

Julho - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G527i Giroto, Marcelo, 1984-
Influência do amicarbazone no fotossistema II de plantas daninhas e cana-de-açúcar / Marcelo Giroto. - Botucatu : [s.n.], 2011
iv, 73 f. : gráfs. color., tabs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Edivaldo Domingues Velini
Inclui bibliografia

1. Controle químico. 2. Plantas daninhas - Controle. 3. Fluorescência. 4. Fotossíntese. 5. Seletividade. I. Velini, Edivaldo Domingues. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

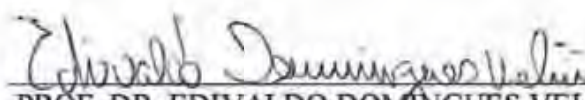
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INFLUÊNCIA DO AMICARBAZONE NO FOTOSISTEMA II DE PLANTAS
DANINHAS E CANA-DE-AÇÚCAR

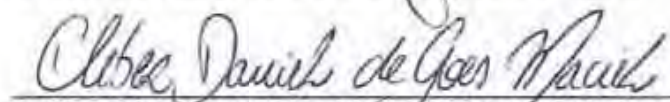
ALUNO: MARCELO GIROTTO

ORIENTADOR: PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

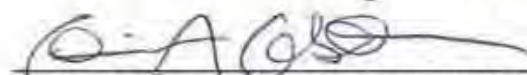
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI



PROF. DR. CLEBER DANIEL DE GOES MACIEL



PROF. DR. CAIO ANTONIO CARBONARI

Data da Realização: 27 de julho de 2011

DEDICO

Aos meus pais, Simão Sergio Girotto e Iracema Santos Girotto,
Aos meus irmãos, Marcos e Eduardo.
pelo apoio incondicional em todos os momentos,
pela compreensão, amor e confiança, sendo o
alicerce nos momentos mais difíceis.

.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por permitir concluir mais uma etapa de minha formação profissional e pessoal e principalmente pela sua presença em todos os momentos da minha vida.

Ao Professor Dr. Edivaldo Domingues Velini, meu mestre, no verdadeiro sentido da palavra. Sem seu apoio este trabalho não teria se concretizado. Obrigado pela orientação, dedicação, conselhos e contribuições cruciais para este trabalho. E também à Maria Lúcia Bueno Trindade, pela ajuda em todos os momentos.

Em especial ao Eduardo Negrisoli e ao Prof. Cleber Daniel de Goes Maciel pela indicação e ajuda para entrar na pós-graduação.

Aos amigos e companheiros de trabalho: Rosilaine Araldi, Samir Paulo Jasper, Ilca Puertas F. Silva, Leandro Tropaldi, Natália Corniani, Marcelo Corrêa, Lucas Perim, Ferdinando M. L. Silva, Elza Alves, Giovanna L. G. C. Gomes, Caio Antonio Carbonari, Luis Rodrigo M. Barberis, Sidnei Cavalieri pelos bons momentos de convívio e valiosas colaborações durante o período do mestrado e desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários do laboratório de Matologia José Roberto M. Silva, José Guilherme Cordeiro e Marcelo Siono.

Aos amigos Tiago Rodrigues Almeida, Julio Cesar Bogiani, Rone Batista, César Junior Bueno, Jhonatan Diego Cavalieri, Felipe de Córdova Machado pela amizade, companheirismo e afeto durante o período de convívio.

Aos amigos de pós-graduação: Juliana Mistrone Ramos, Deise de Paula Silva, Renata Pereira, Marina Serra, Naiara, Adriana Tanaka, Thalita Sampaio, Francine Vercese, Marcela Brunelli, Juliana Campana, pelos momentos de risadas e descontrações provindos da grande e sincera amizade.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Agricultura, e à Faculdade de Ciências Agronômicas, pela oportunidade e formação.

A CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

A todas as pessoas que direta e indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho.

A todos meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	8
4.1. A cana-de-açúcar	8
4.2. Interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar	9
4.3. Controle químico das plantas daninhas e seletividade da cana-de-açúcar.....	11
4.4. Ação dos herbicidas sobre fotossistema II (PSII).....	16
4.4.1. Fluorescência no fotossistema II	19
4.5. Uso do fluorômetro para avaliar o transporte de elétrons.....	23
4.6. Mistura de herbicidas.....	26
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1. Avaliação dos efeitos do amicarbazone sobre a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II em áreas comerciais de cana-de-açúcar.	29
5.1.1. Análise Estatística.....	33
5.2. Estudo das interações do amicarbazone com outros herbicidas utilizados em cana-de-açúcar.	34
5.2.2. Análise Estatística.....	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
6.1. Avaliação dos efeitos do amicarbazone sobre a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II em áreas comerciais de cana-de-açúcar.	37
6.2. Estudo das interações do amicarbazone com outros herbicidas utilizados em cana-de-açúcar.	45
7. CONCLUSÃO.....	62
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

INFLUÊNCIA DO AMICARBAZONE NO FOTOSISTEMA II DE PLANTAS DANINHAS E CANA-DE-AÇÚCAR.

1. RESUMO

A seletividade de herbicidas à cana-de-açúcar não deve ser avaliada observando-se somente os sintomas visuais de fitointoxicação, pois há tanto a possibilidade dos produtos reduzirem a produtividade da cultura sem manifestar sintomas visuais e, assim como a ocorrência de injúrias acentuadas, mas que permitem à cultura manifestar plenamente seu potencial produtivo. O amicarbazone é um herbicida inibidor da fotossíntese, e atua mais especificamente sobre a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (FSII) sendo necessário que alcance os cloroplastos das células das folhas para atuar em seu sítio de ligação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a ação do amicarbazone no FSII e a fitointoxicação de plantas daninhas e de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a aplicação deste herbicida. O trabalho foi desenvolvido em dois experimentos, sendo que no primeiro estudo foram avaliados os efeitos do amicarbazone sobre a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II em áreas comerciais de cana-de-açúcar (variedades de cana-de-açúcar PO8862, SP80-3280 e RB83-5486). No segundo experimento foram avaliados os efeitos sinérgicos ou antagônicos do amicarbazone com outros herbicidas em *Ipomoea grandifolia* e *Brachiaria decumbens*. Os herbicidas utilizados nos tratamentos foram diuron, hexazinone, sulfentrazone e imazapic de forma isolada e em mistura com o amicarbazone. As leituras do ETR foram realizadas com um fluorômetro portátil.

Verificou-se através dos experimentos que o herbicida amicarbazone afetou mais o transporte de elétrons para a variedade de cana-de-açúcar SP80-3280, em relação às outras variedades sendo que este apresentou maior sensibilidade tanto em relação à época de avaliação do ETR, quanto às doses aplicadas. As plantas daninhas *I. grandifolia* e *B. decumbens* apresentaram respostas semelhantes quando submetidas a aplicação dos herbicidas. A *I. grandifolia* apresentou-se mais sensível ao amicarbazone obtendo redução mais rápida do ETR. Em relação à porcentagem de controle, o imazapic foi o herbicida que mais ocasionou injúrias para as duas espécies de plantas daninhas estudadas (*I. grandifolia* e *B. decumbens*). O monitoramento da taxa de transporte de elétrons (ETR) utilizando-se de fluorômetro portátil OS5, mostrou-se adequado para indicar os níveis de fitointoxicação de plantas daninhas e de plantas de cana-de-açúcar, após aplicação do amicarbazone, isolado ou em associação com outros herbicidas.

EFFECTS OF AMICARBAZONE ON THE ELETRONS TRANSPORT RATE OF THE PHOTOSYSTEM II OF WEEDS AND SUGARCANE. Botucatu, 2011. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: MARCELO GIROTTO

Orientador: Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

2. SUMMARY

The selectivity of herbicides to sugarcane should not be assessed only by observing the visual symptoms of phytotoxicity, it is known that there are products that reduce crop productivity without any visual symptoms and others that cause severe injuries without any effect in the yield. As amicarbazone is PSII inhibitor, it is necessary to reach the binding site in the chloroplasts. Thus, the objective of this study was to evaluate the inhibition of the eletrons flow in PSII and the intoxication level of weeds and different sugarcane varieties treated with amicarbazone. In a first experiment, carried out under field conditions, it were evaluated the effects of amicarbazone on the growth and the eletron transport rate (ETR) of three sugarcane varieties PO8862, SP80-3280 and RB83-5486. ETR was assessed using a portable fluorometer. In a second experiment, carried out under greenhouse conditions, it was evaluated the efficacy of amicarbazone (applied alone or in mixtures with hexazinone, diuron, imazapic or sulfentrazone) to control *I. grandifolia* and *B. decumbens*. The effects of these herbicides on the ETR of both weeds were evaluated using a portable fluorometer. Significant negative effects of amicarbazone on sugarcane ETR and growth under field conditions were observed only for the sugarcane variety SP80-3280. It must be pointed out that the plots of this variety (SP80-3280) were accidentally tillered 120 days after the herbicide application. Imazapic provide high control levels of both species (*I. grandifolia* and *B. decumbens*). *I. grandifolia* was more sensitive to amicarbazone than *B. decunbens*). The ETR values assessed using a portable fluorometer correlated well with sugarcane intoxication levels and the efficacy of PSII inhibitors to

control *I. grandifolia* and *B. decumbens* allowing to conclude that ETR evaluation can contribute for understanding the dynamics and action of these herbicides in weeds and cultivated plants.

Key Words: Photosynthesis, Fluorescence, selectivity, chemical control.

3. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar destaca-se como uma das culturas mais importantes do Brasil, produzindo matéria-prima para a indústria sucroalcooleira e para a co-geração de energia elétrica. Como qualquer outra cultura pode ter sua produtividade reduzida pela presença de plantas daninhas, presentes principalmente no seu desenvolvimento inicial. Tal redução se deve aos efeitos diretos e indiretos das plantas daninhas sobre a cultura, aumentando a competição por nutrientes, hospedando pragas e doenças, além de liberar aleloquímicos ou dificultando o corte da colheita de colmos do produto colhido e fazendo com que o rendimento industrial decresça resultando na perda da qualidade da cana-de-açúcar (Negrisoli et al., 2004).

Na condição atual de produção da cana-de-açúcar, o método químico é o mais utilizado no controle das plantas daninhas em razão das extensas áreas cultivadas, escassez de mão-de-obra, facilidade de aplicação, custo e eficácia do tratamento, além de ser um método econômico e de alto rendimento em comparação com os outros (Rossi, 2004).

A seletividade da cana-de-açúcar não deve ser avaliada observando-se somente os sintomas visuais de fitointoxicação, pois se sabe que existem produtos que reduzem a produtividade da cultura sem manifestar sintomas visuais e outros que provocam injúrias acentuadas, mas que permitem à cultura manifestar plenamente seu potencial produtivo (Negrisoli, et al 2004).

Para controlar tais plantas daninhas e evitar os possíveis prejuízos à cultura da cana-de-açúcar, muitos herbicidas com diferentes ingredientes ativos e

formulações estão registrados para o uso no Brasil. Dentre os herbicidas registrados para cana-de-açúcar, o amicarbazone é um dos mais importantes. Para que ocorra o efetivo controle das plantas daninhas com a aplicação de herbicidas, é preciso que o herbicida aplicado além de ser absorvido, translocado e redistribuído pelas plantas, chegue até o sítio de ação em quantidade suficiente para ser fitotóxico, ou seja, uma vez presente na célula, interfira nos processos vitais específicos da planta.

Como o amicarbazone é um herbicida inibidor da fotossíntese torna-se necessário que o mesmo alcance os cloroplastos das células das folhas para atuar em seu sítio de ligação no fotossistema II. O amicarbazone se liga à proteína D_1 , não permitindo a transferência de elétrons entre as Q_A e Q_B no fotossistema II. Uma vez ligado o herbicida à proteína e estando a planta submetida a elevadas taxas de radiação fotossinteticamente ativa, a proteína D_1 é degradada proteolicamente, dado que a Q_B reduzida reage com o oxigênio, resultando em oxigênio no estado "singlet", altamente energético. Este, por sua vez, reage com a água, formando peróxido de hidrogênio, o qual promove peroxidação de membranas e não permite com isso a redução do NADPH, o qual é essencial para a fixação de CO_2 . Por conseguinte, há redução na geração de energia, resultando em aumento da emissão de fluorescência pelo aparato fotossintético (Araldi, 2010).

Neste sentido a emissão de fluorescência fornece informações sobre os processos fotoquímicos do PSII em plantas. Sob condição de baixa luz, ao redor de 95% dos fótons absorvidos são usados na fotoquímica, 4,5% são transformados em calor e 0,5% são reemitidos como luz fluorescente. Se todos os centros de reação do PSII estiveram fechados por um bloqueio da fotossíntese, 95-97% da energia pode ser dissipada como calor e 2,5-5,0% dissipada via fluorescência (Bolhàr-nordenkampf e Oquist, 1993).

Ainda para o sucesso no controle químico das plantas daninhas na produção da cana-de-açúcar é importante observar a seletividade dos herbicidas para a cultura. Seletividade pode ser considerada como uma resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida (Oliveira Jr, 2001). Algumas variedades apresentam respostas diferenciadas aos herbicidas, tendo, como consequência, freqüentes problemas de fitotoxicidade, chegando a ocasionar redução na produtividade do canavial para as variedades mais sensíveis.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do amicarbazone isolado e em mistura com outros herbicidas sobre variedades de cana-de-açúcar e espécies de plantas daninhas *Ipomoea grandifolia* e *Brachiaria decumbens*, utilizando-se como indicador da fitointoxicação a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. A cana-de-açúcar

A evolução tecnológica da agroindústria canavieira nos últimos anos proporcionou aumentos significativos na produção e produtividade dos canaviais brasileiros. A área cultivada com cana-de-açúcar (safra 2011/2012), que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.442,8 milhões de hectares, distribuídos em todos estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 52,8% (4.458,31 milhões de hectares), seguido por Minas Gerais com 8,77% (740,15 milhões de hectares) e Goiás com 7,97% (673,38 milhões de hectares). A produtividade média brasileira está estimada em 76.039 kg/ha, 1,8% menor que a da safra 2010/11, que foi de 77.446 kg/ha. A previsão do total de cana moída na safra 2011/12 é de 641.982 milhões toneladas, com incremento de 2,9% em relação à safra 2010/11, que foi de 623.905,1, o que significa que a quantidade que será moída deve superar em 18.076,9 milhões toneladas a moagem da safra anterior (Conab, 2011)

A cana-de-açúcar se destaca como uma das principais culturas geradoras de renda e empregos. A tendência da indústria sucroalcooleira é de grande crescimento nos próximos anos em função da necessidade mundial do uso de fontes renováveis de energia e matérias primas industriais. Espera-se que cada unidade industrial destinada à transformação da cana-de-açúcar produza além do açúcar e álcool, energia, créditos de carbono e um grande número de matérias primas industriais.

4.2. Interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar

A cultura de cana-de-açúcar é capaz de se desenvolver bem em diferentes situações de manejo (cana-planta; cana-soca sem palha; cana-soca com palha; cana-de-açúcar de terceiro e quarto cortes, etc.). Entretanto, essa grande variação nos fatores ecológicos proporciona nichos adequados para o desenvolvimento de um grande número de espécies de plantas daninhas.

Dentre os diversos problemas existentes no cultivo da cana-de-açúcar destacam-se o controle das plantas daninhas, responsável por até 80% das perdas de produção (AZANIA, 2008). Em casos com alta infestação de plantas daninhas na cana-de-açúcar, as perdas de produtividade podem chegar a 86% na produção de colmos industrializáveis (CHRISTOFFOLETI, 1997). A interferência negativa da presença das plantas daninhas nas áreas agrícolas de cana-de-açúcar pode causar reduções na quantidade e qualidade do produto colhido, diminuir o número de cortes viáveis e aumentar os custos de produção. As plantas daninhas são espécies indesejadas e agressivas, competem com a cultura por água, nutrientes e radiação solar, e podem liberar substâncias com efeitos alelopáticos (FAY; DUKE, 1977), afetam direta ou indiretamente a germinação, o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas, além de hospedarem pragas e doenças danosas às culturas. Devido à agressividade das plantas daninhas, as mesmas destacam-se na rapidez e eficiência de utilização da água do ambiente, permitindo sua sobrevivência e vantagem de crescimento sobre as culturas (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004).

A intensidade de interferência da comunidade infestante nas culturas agrícolas depende de fatores ligados à própria cultura, como variedade, espaçamento e densidade de plantio; fatores relacionados à comunidade infestante, como composição específica, densidade de distribuição dos indivíduos na lavoura; e da época e extensão do período de convivência. Além disso, a interação lavoura e comunidade infestante pode ser influenciada por condições edafo-climáticas locais e pelas práticas culturais empregadas no preparo e manejo do solo e da cultura em si (PITELLI, 1985). De maneira geral pode-se dizer que quanto maior o período de convivência múltipla

(comunidade infestante e cultura) maior será o grau de interferência (HERNANDEZ et al., 2001).

A infestação com plantas daninhas é um dos principais fatores bióticos presentes no agroecossistema da cana-de-açúcar que têm a capacidade de interferir no desenvolvimento e na produtividade da cultura, com reduções na quantidade e qualidade do produto colhido, diminuição do número de cortes viáveis e aumento dos custos de produção, além da dificuldade na colheita e transporte da cana-de-açúcar (Procópio et al., 2003).

As espécies *Ipomea grandifolia* e *Brachiaria decumbens* são plantas daninhas de elevada ocorrência na região Sudeste e Centro - Oeste do Brasil, causando problemas na cultura de cana-de-açúcar. Em decorrência da grande competição exercida pelas mesmas, vários estudos têm sido desenvolvidos objetivando entender melhor o comportamento destas plantas e, conseqüentemente, manejá-las de forma satisfatória.

A *I. grandifolia* é uma espécie que causa prejuízos à cana-de-açúcar, especialmente em canaviais colhidos sem a queima prévia. À medida que o sistema radicular se desenvolve, aumenta a competição com a cultura por água e nutrientes do solo. A competição ganha maior atenção quando a espécie infestante se envolve nos colmos e alcançam o ápice das plantas de cana-de-açúcar, dificultando a absorção de luz, com conseqüente prejuízo à fotossíntese, além de reduzir a eficiência operacional das colhedoras (ELMORE et al., 1990).

Em áreas de canaviais, a espécie *B. decumbens* torna-se de difícil controle, principalmente, em função de sua alta agressividade vegetativa e reprodutiva. Os períodos de chuvas freqüentes e temperaturas elevadas favorecem a maior intensidade da germinação dessa espécie, tornando essas plantas excelentes extratoras de nutrientes do solo (Bianco et al., 2005).

A cana-de-açúcar, apesar de ser altamente eficiente na utilização de recursos disponíveis para o seu crescimento e desenvolvimento, é afetada nas fases iniciais de crescimento pelas plantas daninhas, que em muitos casos utilizam os mesmos recursos, por apresentarem mesma rota metabólica de fixação de carbono (PROCÓPIO et al., 2003).

Na cultura da cana-de-açúcar, as plantas daninhas interferem tanto na cana planta como na soqueira. Pelo fato do plantio da cana-de-açúcar ocorrer em

períodos bem distintos, dependendo da região, as condições climáticas ocorrentes é que determinam as espécies de plantas daninhas predominantes e o período de interferência com a cultura (VICTORIA FILHO, CHRISTOFFOLETI, 2004).

Velini e Negrisoli (2000) relataram que a exigência de maior ou menor amplitude térmica do solo constitui-se no estímulo mais eficiente para germinação das plantas, uma vez que a redução da amplitude térmica proporcionada pelo acúmulo de palha de cana, em quantidades referentes a 7,5 ou 15 t ha⁻¹, contribuiu satisfatoriamente para a redução da incidência de algumas espécies dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*.

4.3. Controle químico das plantas daninhas e Seletividade da cana-de-açúcar

Existem vários métodos de controle de plantas daninhas. Deuber, (1997) cita os principais: controle preventivo, controle cultural, controle manual, controle mecânico e controle químico. Todos esses métodos de controle possuem alguns problemas de uso, ou podem causar prejuízo à cultura. Dario et al., (1997) salientam que o cultivo mecânico apresenta alguns inconvenientes, por danificar as plantas de cana-de-açúcar, pelo baixo rendimento, e por não eliminar devidamente as plantas daninhas próximas às linhas da cultura.

Devido à ineficiência de outros métodos, e da grande quantidade de perdas, o controle de plantas daninhas na lavoura canavieira reveste-se de importância em face das extensas áreas cultivadas. Por esse fato territorial e pela eficácia dos herbicidas, o controle químico, é amplamente utilizado na canavicultura (PEDRINHO, 2001). De acordo com Procópio et al. (2003), a cultura da cana-de-açúcar é a segunda em consumo de herbicida no Brasil, atrás apenas da cultura da soja. Além disso, citam que o método químico é o método mais utilizado por ser econômico e de alto rendimento, em comparação com os outros, e também por existir inúmeros produtos eficientes registrados para esta cultura no Brasil. Mas para o sucesso do controle, Victória Filho e Christoffoleti (2004), dizem que é necessário o conhecimento profundo da fisiologia dos herbicidas na planta, dos fatores envolvidos na seletividade e do comportamento dos herbicidas no solo (no caso do uso de herbicidas em condições de pré-emergência).

Os herbicidas atualmente em uso na cultura da cana-de-açúcar apresentam variações específicas de eficácia de controle das espécies de plantas daninhas que compõem a comunidade infestante das áreas onde são aplicados devidos a fatores tais como: como o grau de seletividade para a cultura em função da dose, época de aplicação, condições edáficas e climáticas, estágio fenológico e condições fisiológicas e bioquímicas da cultura e das plantas daninhas. Além disso, os produtos disponíveis no mercado variam em suas características físico-químicas, as quais interagem com os aspectos climáticos, edáficos e culturais dos sistemas de produção. Estas interações permitem variabilidade de aplicação e usos dos herbicidas, posicionando-os em diferentes nichos de aplicação na cultura, sendo que para a correta seleção desta estratégia é necessário o conhecimento das interações mencionadas (CHRISTOFFOLETI, et al. 2005).

Segundo Azania (2008), o uso de herbicidas em pré ou pós-emergência, quando feito adequadamente, é eficaz no controle das plantas daninhas. Os herbicidas, utilizados para a cultura da cana-de-açúcar, na sua maioria, são seletivos devido a aspectos de absorção foliar e à degradação do herbicida absorvido pela planta cultivada, com controle das plantas daninhas sem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

Para controlar as plantas daninhas e evitar os possíveis prejuízos à cultura da cana-de-açúcar, muitos herbicidas com diferentes ingredientes ativos e formulações estão registrados para o uso no Brasil. Entre os herbicidas atualmente mais utilizados para o controle das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar estão amicarbazone, diuron, hexazinone, tebuthiuron, imazapic, sulfentrazone, entre outros (Rodrigues & Almeida, 2005).

O amicarbazone “[1 H-1,2,4-triazole-1-carboxamide, 4 amino-N-(1,1-dimethyl-ethyl)-4,5-dihydro-3-(1-methyl)-5-oxo]” (Figura 1), é um dos mais importantes, sendo registrado no Brasil com nome comercial de Dinamic, sob o nº 0106010419003 (Ministério da Agricultura Abastecimento e Pecuária – MAPA), para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas. É comercializado na formulação de grânulos dispersíveis em água, na concentração de 700 g de ingrediente ativo por Kg de produto. Pertence ao grupo químico das triazolinonas, possui classe toxicológica II e

intervalo de segurança de 269 dias (RODRIGUES, ALMEIDA, 2005; TOLEDO et al., 2004).

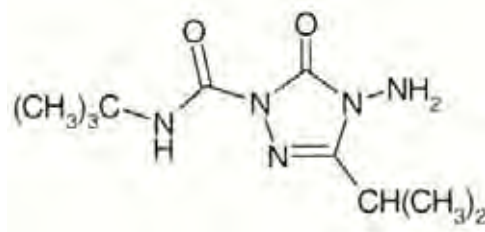


Figura 1. Fórmula estrutural do amicarbazone (Agência Nacional de Vigilância Sanitária Anvisa, 2009).

O amicarbazone apresenta solubilidade elevada em água (4600 ppm ou mg L^{-1} à temperatura de 25°C a $\text{pH} = 4$ a 9), de baixa a moderada capacidade de adsorção no solo ($K_{oc} = 23$ a 37), sendo classificado pelo IBAMA como herbicida de mobilidade alta na solo (Toledo et al., 2004). O amicarbazone apresenta fotodegradação desprezível, e pressão de vapor de $0,975 \times 10^{-8}$ mm Hg ($1,3 \times 10^{-6}$ Pa) à temperatura de 20°C o que o caracteriza como um herbicida praticamente não volátil. A degradação é primariamente através de dissipação, atribuída à degradação microbiana (RODRIGUES, ALMEIDA, 2005). A meia-vida no solo é de 3 a 6 meses dependendo das condições de solo e clima, da dose, tipo e textura do solo, teor de matéria orgânica e quantidade de chuvas (TOLEDO, 2004).

O mecanismo de ação é a inibição do fotossistema II, inibindo a fotossíntese das plantas e o transporte de elétrons, além de paralisar a fixação de CO_2 e NADPH_2 , os quais são elementos essenciais ao crescimento das mesmas (Toledo et al., 2004). A morte das plantas, entretanto ocorre devido à peroxidação de lipídios e proteínas, promovendo a destruição das membranas e perda de clorofila. A ação seletiva do amicarbazone é primariamente determinada pela diferença de metabolismo das plantas daninhas e da cana-de-açúcar e também pelo posicionamento no solo, relacionado com a absorção do mesmo (TOLEDO et al., 2004).

De acordo com Chiovato, (2009), a aplicação do amicarbazone em *Digitaria horizontalis* proporcionou um controle ineficiente aos sete dias após a aplicação (DAA), evoluindo para um nível excelente de controle aos 14 DAA. Carbonari (2007)

observou que o amicarbazone aplicado em diferentes condições e épocas, permitiu obter elevados níveis de controle de *B. decumbens*, *Digitaria* spp e *I. grandifolia*.

Correia e Zeitoun (2010), observou que o herbicida imazapic e amicarbazone aplicados em pré e pós-emergência em época seca para o controle de melão-são-caetano, ocasionaram sintomas pouco acentuados na cultura da cana-de-açúcar, os quais não foram mais observados após 56 dias da aplicação. Negrisoli et al. (2007) constataram elevada eficácia do amicarbazone para o controle de *I. grandifolia*, com alta sensibilidade aos tratamentos com o herbicida. Para *B. decumbens* os tratamentos com amicarbazone foram eficientes quando o herbicida atingiu o solo, independentemente se aplicado diretamente ou lixiviado da palha pela chuva, com 78% de controle aos 10 DAA.

Patti et al. (2005) estudaram a eficiência do herbicida amicarbazone no controle de plantas daninhas, sob diferentes situações de disponibilidade de água, aplicado em pré-emergência e avaliaram o período residual do herbicida no solo sob condição de estresse hídrico em diferentes períodos de seca após a aplicação. Os autores verificaram que o amicarbazone controlou as espécies *Ipomoea grandifolia*, *Brachiaria plantaginea*, *Digitaria horizontalis* e *Panicum maximum* independentemente do período de seca a que foi submetido.

A seletividade é a capacidade de um herbicida em eliminar plantas daninhas em uma determinada cultura, sem reduzir a produtividade (Velini et al., 1992). A intensidade de interferência entre uma cultura agrícola e comunidade infestante depende de fatores ligados à própria cultura, como a variedade, espaçamento e densidade de plantio e fatores ligados a comunidade infestante, como composição específica, densidade e distribuição dos indivíduos na lavoura. Além disso, a interação lavoura e comunidade infestante pode ser influenciada por condições edafológicas locais e pelas práticas culturais empregadas no preparo e manejo do solo e da cultura em si (PITELLI, 1985).

Várias culturas podem apresentar seletividade devido à rapidez que metabolizam os herbicidas através de reações oxidativas ou hidrolíticas, seguidas por conjugação com açúcares ou peptídeos e sequestro vacuolar dos produtos polares, ao passo que em plantas daninhas estas reações de desintoxicação se processam de forma mais lenta (CATANEO, CARVALHO, 2008). Uma planta capaz de tolerar um herbicida é capaz

de alterar ou degradar a estrutura química do mesmo através de reações que resultam em substâncias não tóxicas.

Em ensaios que têm por objetivo avaliar especificamente a seletividade, é importante isolar o efeito do herbicida utilizado, tornando-se indispensável a eliminação das plantas daninhas presentes, uma vez que essas espécies apresentam germinação e emergência desuniformes, ocorrendo escape de plantas, podendo haver interferência devido a possíveis liberações de substâncias alelopáticas, além dos efeitos da matocompetição sobre a cultura. Desta forma, ao avaliar-se os prejuízos à cultura, seria difícil determinar se os mesmos são resultados da toxicidade dos produtos, da interferência das plantas daninhas ou de ambas (CONSTANTIN, 1997).

Em relação à seletividade de herbicidas para cana-de-açúcar, há cultivares que apresentam respostas diferenciadas aos herbicidas, tendo, como conseqüências freqüentes, problemas de fitotoxicidade, chegando a ocasionar redução na produtividade do canavial para as cultivares mais sensíveis (PROCÓPIO et al., 2003).

Ferreira et al. (2005) ao trabalharem com 15 genótipos de cana-de-açúcar, verificaram que os cultivares apresentaram sensibilidade diferencial à mistura de amtryn+trifloxysulfuron-sodium, o cultivar RB85 5113 demonstrou alta sensibilidade, já os cultivares SP80 1842, SP79 1011 e RB95 7689 apresentaram média sensibilidade à mistura de herbicidas.

O consumo de água continuamente pelas plantas é uma conseqüência da fotossíntese no ambiente terrestre. Os mecanismos de transpiração, ou seja, de transporte de água do solo para a atmosfera através da planta está associado a diferentes forças propulsoras, sendo a capilaridade o elemento chave que permite o movimento de água do solo para as folhas (TAIZ, ZEIGER, 2009). Esse processo de consumo de água pelas plantas é regulado principalmente pelas células-guarda, as quais regulam o tamanho da fenda estomática para atender à demanda fotossintética de aquisição de CO₂, enquanto minimizam a perda de água para a atmosfera.

O conhecimento da eficiência do uso da água pelas cultivares ajuda também a selecionar melhores as plantas para determinadas condições (OLBRICH et al., 1993). No caso, se uma cultivar de cana-de-açúcar consumir menos água pode ser

relacionada com maior seletividade a alguns herbicidas, devido à menor translocação do produto até o local de ação do herbicida na planta, tornando-se mais interessante.

Araldi (2010), avaliando o consumo de água pela cana-de-açúcar e plantas daninhas verificaram que as plantas daninhas de maneira geral, consumiram mais água por cm^2 do que as plantas de cana-de-açúcar o que indica maior competitividade por água das plantas invasoras. A seletividade de cana-de-açúcar aos herbicidas pode estar associada ao menor consumo de água pelas plantas de cana-de-açúcar, visto que a cultivar sensível aos herbicidas, a PO8862 foi a que consumiu mais água quando comparado com a cultivar intermediária, SP80 3280, e a tolerante, RB83 5486 de menores consumos.

4.4. Ação dos herbicidas sobre o fotossistema II (PSII)

A fotossíntese é uma reação química dirigida pela energia solar e que sustenta a sobrevivência de praticamente toda vida no planeta. O mais ativo dos tecidos fotossintéticos das plantas superiores é o mesofilo e a bainha do feixe vascular para plantas do tipo C_3 e C_4 respectivamente. As células desses tecidos possuem muitos cloroplastos, os quais contêm os pigmentos verdes especializados na absorção de luz, as clorofilas. Durante a fotossíntese, a planta utiliza energia solar para oxidar a água, conseqüentemente liberando oxigênio, e para reduzir dióxido de carbono, formando assim grandes compostos carbonados, sobretudo açúcares (TAIZ, ZEIGER, 2009). As reações primárias da fotossíntese nas plantas, algas e cianobactérias ocorrem nos complexos de proteína do fotossistema I e II, localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos. O estudo do mecanismo fotoquímico do fotossistema II tem sido foco de pesquisa na fotossíntese, porque esse complexo é o único na natureza que permite a evolução do oxigênio pela divisão da água (RENGER, 1993).

Os produtos finais do transporte de elétrons da fotossíntese nos tilacóides são compostos de alta energia ATP e NADPH, utilizados para síntese de açúcares nas reações de fixação do carbono no estroma do cloroplasto. Esses fotoassimilados, produzidos na fotossíntese, são direcionados para o crescimento das plantas, sendo a sua partição, principalmente para os órgãos reprodutivos, um fator determinante da produtividade (BACARIN, MOSQUIM, 2002).

A captura e o armazenamento de energia luminosa pelas folhas das plantas superiores são mediados por uma intrincada associação entre complexos de pigmentos captadores de luz e um transporte seqüencial de elétrons do fotossistema II para o fotossistema I. A energia absorvida pela luz é utilizada para impulsionar essa transferência de elétrons através de uma série de compostos que atuam como doadores e aceptores desses elétrons. A maioria dos elétrons, em última análise, reduz NADP^+ a NADPH e oxida H_2O a O_2 . A eficiência da utilização da luz por cada fotossistema regula as reações de fixação de CO_2 e geração de ATP pelas reações luminosas.

A energia luminosa absorvida no fotossistema excita as moléculas de clorofilas ali presentes para impulsionar a fotossíntese, que passam para um estado instável e rapidamente liberam parte de sua energia ao meio como calor, sem a emissão de fóton. Entretanto, a clorofila excitada pode também perder energia por fluorescência, reemitindo fótons e, assim, retornando ao estado basal. Outra parte da energia pode ser utilizada pelas reações fotoquímicas ou ainda ser transferida fracamente para o PSI, pelo contato entre moléculas de clorofilas (TAIZ, ZEIGER, 2009).

Kruse et al. (2001) mencionam que a ação fitotóxica dos herbicidas inibidores do fotossistema II (FSII) ocorre sobre a proteína D_1 , a qual atua se ligando à quinona B, recebendo elétrons da quinona A. Desta forma, ocorre bloqueio no transporte dos elétrons, resultando em clorofilas energicamente carregadas, as quais sofrerão uma série de reações em cadeias, que formarão radicais livres capazes de peroxidar os lipídios das membranas celulares, resultando na morte das plantas suscetíveis.

Nas membranas dos tilacóides, os fotossistemas I e II são responsáveis por captar e converter a energia luminosa do sol (fótons) em energia química (ATP e NADPH) e neste processo, a água é fundamental para o fotossistema II. O centro de reação do fotossistema II é formado por um complexo protéico junto à molécula de clorofila P680 que possui um redutor muito forte que oxida a molécula de água em elétrons, prótons e oxigênio (TAIZ, ZEIGER, 2004).

Desta forma, o fotossistema II depende da água para a geração de energia química, requerida posteriormente para a fixação de CO_2 , e demonstra que variações na disponibilidade hídrica geram menor eficiência do fotossistema II, ou seja,

com recurso de água limitado, menos ATP e NADPH são formados e, como consequência, menos CO₂ é fixado (LU, ZHANG, 1999).

O PSII é o local de oxidação da água na fotossíntese. A energia luminosa, capturada pelas clorofilas e carotenóides antenas, é finalmente transferida para o centro de reação do PSII, onde ocorre a separação de cargas entre o doador e receptor de elétrons (Diner & Babcock, 1996).

O PSII é um complexo de multi-subunidades localizado nos tilacóides dos cloroplastos, e é composto por mais de 30 proteínas codificadas por genomas do núcleo e cloroplasto (BARBER, 1998). Dessas subunidades de proteínas, as proteínas intrínsecas D₁ e D₂ são codificadas pelo cloroplasto, ambas com massa molecular de 32 kDa, sendo de importância especial, além dos componentes redox necessários nas reações fotoquímicas, como o grupo de quatro manganês, duas tirosina, quatro a seis moléculas de clorofila a, duas feofinas, e plastoquinona Q_A e Q_B. Um Fe não heme, localizado entre Q_A e Q_B não participa diretamente na transferência de elétrons, mas é vital para o processo de transferência. Um β-caroteno também pode ser encontrado no centro de reação e se comporta como um protetor.

Quando acontece a inibição da taxa de elétrons no PSII, alguns herbicidas se ligam ao sítio de ação Q_B, foi postulado por Van Rensen e demonstrado por Velthuys (1981). Esse local de ligação foi identificado na proteína D₁ do PSII pela fotoafinidade com a luz ultravioleta sensível a azidoderivados radiativos dos herbicidas inibidores do transporte de elétrons (PFISTER et al., 1981).

Várias moléculas de herbicidas inibem o transporte de elétrons da fotossíntese pela ligação a proteína D₁, localizada no PSII do cloroplasto (METS, THIEL, 1989). Esses herbicidas aparentemente competem pelo sítio de ligação com a plastoquinona (Q_B protonada) que é o aceptor natural de elétrons (TISCHER, STROTMANN, 1977). Esse sítio de ligação na proteína D₁ é sensível a muitas classes de produtos químicos com características estruturais diferentes, como as triazinas (Egner et al., 1992), uréias substituídas (CAMILLARI et al., 1987) e quinonas naturais ou sintéticas.

O herbicida amicarbazone é um inibidor da fotossíntese que se liga à proteína D₁, não permitindo a transferência de elétrons entre as Q_A e Q_B no PSII. Uma vez ligado o herbicida à proteína e estando a planta submetida a elevadas taxas de radiação

fotossinteticamente ativa, a proteína D_1 é degradada proteolicamente, dado que a Q_B reduzida reage com o oxigênio, resultando em oxigênio no estado "singlet", altamente energético. Este, por sua vez, reage com a água, formando peróxido de hidrogênio (YAMAMOTO, 2001), o qual promove peroxidação de membranas e não permite com isso a redução do NADPH, o qual é essencial para a fixação de CO_2 (BREITENBACH et al., 2001). Por conseguinte, há redução na geração de energia, resultando em aumento da emissão de fluorescência.

As plantas possuem mecanismos para evitar o estresse oxidativo produzido normalmente em pequeno grau durante a fotossíntese. Entretanto, quando as plantas são tratadas com inibidores do FSII, a quantidade de radicais produzidos ultrapassa a capacidade de destoxificação desses mecanismos. Entre eles estão a ação dos carotenóides, presentes nas membranas dos tilacóides, que protegem contra O_2 , 3Chl e peroxidação lipídica, dissipando o excesso de energia da clorofila na forma de calor e a ação do α -tocoferol (vitamina E), que protege contra a peroxidação lipídica e do OH^* , ambos presentes nas membranas do tilacóide (SALISBURY, ROSS, 1994).

Segundo Reddy et al., (2004) durante o déficit hídrico, as plantas apresentam alterações no transporte de elétrons mediado pelos radicais superóxido formados (O_2) que competem com o NADP para redução no fotossistema I. Como consequência, pode ocorrer à perda e redução das proteínas D_1 e D_2 do fotossistema II. A diminuição da assimilação de CO_2 , redução das atividades dos fotossistemas e alteração no sistema de transporte de elétrons, aceleram a geração de EAO's, (ASADA, 1999). O desempenho do PSII em converter energia luminosa em química para o uso na redução de CO_2 em carboidratos pode ser alterado em função de estresses ambientais, como exemplo a atuação de herbicidas inibidores do PSII.

4.4.1. Fluorescência no fotossistema II

Dentre as etapas mais estudadas do processo fotossintético, pode-se citar a fase fotoquímica que compreende todas as reações químicas nos tilacóides dos cloroplastos na presença de luz. Tais reações podem ser indiretamente avaliadas pelo padrão de emissão de fluorescência, uma parte da energia luminosa absorvida pelas

moléculas de clorofila e que não é utilizada em processos fotoquímicos e nem dissipada como calor, sendo re-emitida em comprimento de onda longo (660 a 760 nm). Sob condições de reduzida irradiância, cerca de 95% dos fótons absorvidos são utilizados nas reações fotoquímicas, 4,5% são transformados em calor e apenas 0,5% dessa energia se transforma em fluorescência (BOLHÀR-NORDENKAMPF, ÖQUIST, 1993). O aumento da utilização de energia em reações fotoquímicas leva à redução da emissão de fluorescência e geração de calor e vice-versa. Assim, mudanças na emissão de fluorescência refletem alterações na eficiência fotoquímica e dissipação de calor.

A emissão de fluorescência fornece informações sobre os processos fotoquímicos do PSII. Sob condição de baixa luz, ao redor de 95% dos fótons absorvidos são usados na fotoquímica, 4,5% são transformados em calor e 0,5% são reemitidos como luz fluorescente. Se todos os centros de reação do PSII estiveram fechados por um bloqueio da fotossíntese, 95-97% da energia pode ser dissipada como calor e 2,5-5,0% dissipada via fluorescência (BOLHÀR-NORDENKAMPF, ÖQUIST, 1993).

A medida da fluorescência das clorofilas do PSII, entretanto, é muito variável, pois é extremamente influenciada pelo estado fisiológico do vegetal, podendo, assim, ser utilizada como técnica para monitoramento de coberturas vegetais ou para prever a fixação fotossintética de CO₂. A capacidade fotossintética, entretanto, diminui em proporção ao tamanho e severidade do dano sofrido pela planta. Dependendo do tipo de dano, pode haver recuperação da capacidade fotossintética em poucas horas ou dias ou mesmo a morte do tecido (YAMAMOTO, 2001).

A relação inversa entre fluorescência e atividade fotossintética foi primeiramente observada e descrita por Kaustsky e pode ser usada para estudar a atividade fotossintética potencial das folhas e para detectar os efeitos de estresses em plantas. Um sinal típico de indução da fluorescência em luz contínua é conhecido como “Efeito Kautsky”, onde após um máximo de fluorescência acontece uma atenuação (KRAUSE, WEIS, 1991).

No processo fotossintético, a luz é absorvida por pigmentos do complexo antena, que excitados, transferem energia para os centros de reação dos fotossistemas II e I (YOUNG, FRANK, 1996). Quando ocorre excesso de energia, esta pode ser dissipada na forma de fluorescência (KRAUSE, WINTER, 1996). Portanto, uma

das formas de monitoramento da inibição ou redução na transferência de elétrons entre os fotossistemas da planta sob aplicação de herbicida, que pode ser observada ainda em folhas intactas, é a fluorescência da clorofila (MAXWELL, JOHNSON, 2000), em que a redução na dissipação da energia pelo processo fotoquímico é refletida por incremento correspondente na fluorescência.

O uso dos parâmetros de fluorescência das clorofilas permite avaliar fatores que afetam a fotossíntese na fase fotoquímica e/ou bioquímica. É um método não destrutivo, que permite análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (KRAUSE et al., 1991) bem como a análise dos processos fotoquímicos e não fotoquímicos que induzem alterações na produção da fluorescência (ROHÁCEK, 2002).

Em relação à fase de transporte de elétrons durante a fotossíntese nas plantas, tem-se que a luz é absorvida por pigmentos do complexo antena, que ao excitarem os elétrons, transferem energia para os centros de reação dos fotossistemas II e I (YOUNG, FRANK, 1996). Quando ocorre excesso de energia, esta pode ser dissipada na forma de fluorescência (KRAUSE, WINTER, 1996). Desta forma, monitoramento da inibição ou redução na transferência de elétrons entre os fotossistemas de plantas sob aplicação de herbicidas, que pode ser observada ainda em folhas intactas, pode ser feito através da avaliação da fluorescência da clorofila (MAXWELL, JOHNSON, 2000); sendo que a redução na dissipação da energia pelo processo fotoquímico é refletida por incremento correspondente na fluorescência.

A análise da fluorescência vem sendo largamente utilizada no entendimento dos mecanismos fotossintéticos, auxiliando, principalmente, na mensuração desses mecanismos após aplicação de herbicidas (IRELAND et al., 1986). A ferramenta disponível para tal mensuração é o fluorômetro, capaz de identificar rapidamente as injúrias causadas ao aparelho fotossintético, mesmo não sendo detectados visualmente os sintomas de intoxicação.

A fluorescência da clorofila é freqüentemente usada para se avaliar a funcionalidade do aparelho fotossintético ou os efeitos dos estresses ambientais (KRAUSE, WEIS, 1991). Os efeitos estressantes de fatores como a temperatura, a salinidade, a radiação, a seca e a deficiência de nutrientes, entre outros, têm sido

pesquisados por meio de medições de fluorescência da clorofila (HAVAUXE, LANNOYE, 1985).

A fotossíntese é iniciada quando a luz absorvida pelos cloroplastos, é transferida na forma de energia fotoquímica para os pigmentos-antena do fotossistema II (PSII), até à molécula de clorofila *a*. Esta atinge um estado excitado instável, podendo voltar a um nível energético mais baixo por 3 vias: 1) cedendo um elétron ao fotossistema I (PSI) – via fotoquímica; 2) por dissipação de energia, sob a forma de calor; 3) retoma ao seu estado inicial, sem que haja mudança de *spin*, com remissão de luz – fluorescência (DRING, 1992; SCHREIBER et al., 1994). À temperatura ambiente, a fluorescência emitida é originada quase exclusivamente pelo PSII, pelo que variações dos níveis de fluorescência reflectem alterações do estado do PSII. Assim, a fluorescência é usada como uma medida de fotossíntese, uma vez que reflecte a eficiência de conversão da energia fotossintética no PSII (SCHREIBER et al., 1994).

Fatores genéticos e ambientais afetam o crescimento das plantas e seus efeitos têm sido pesquisados usando-se medições da eficiência fotoquímica do fotossistema II (FSII), estimada através da relação entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima da clorofila *a* (F_v/F_m) com o uso de fluorômetros. Esta relação expressa o rendimento quântico dos processos fotoquímicos desse fotossistema (LAZÁR, 1999), ou seja, a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo FSII. O uso dos parâmetros de fluorescência tem sido difundido por se tratar de um método que, além de não destrutivo, permite uma análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo FSII e possíveis relações com a capacidade fotossintética (TORRES NETTO et al., 2005).

Após muitos anos de estudos, a fluorescência da clorofila tem sido representada pelas mudanças na sanidade e funcionamento do processo fotossintético quando plantas são submetidas a herbicidas. Isso inclui alterações nas reações da oxidação da água, separação de cargas, transporte de elétrons, desenvolvimento do gradiente eletroquímico, mecanismos de fotoproteção e mudanças do pH no lúmen do tilacóide. Ou seja, cada mudança na planta afetada pela abertura do estômato e trocas gasosas com a atmosfera, reflete em mudanças nas características de fluorescência da folha.

4.5. Uso do Fluorômetro para avaliar o transporte de elétrons

O fluorômetro é muito utilizado em estudos de fotossíntese, permite obter parâmetros relacionados com a cadeia transportadora de elétrons e processos de dissipação de energia. Este aparelho emite um pulso de luz saturante que reduz completamente o aceitador de elétrons do PSII (Plastoquinona Q_A), induzindo a emissão da fluorescência máxima. Este pulso é suficientemente forte para reduzir Q_A mesmo quando o transporte de elétrons é máximo (SCHREIBER, BILGER, 1993). O aparelho mede a fluorescência emitida antes e depois do pulso saturante (F_0 , fluorescência base, e F_m , fluorescência máxima).

A análise das mudanças da fluorescência da clorofila oferece muitas possibilidades não só para determinar o local de inibição do transporte de elétrons pelo herbicida, mas também para relacionar as injúrias do herbicida com taxa de absorção e/ou concentração aplicada. Isso tem uma particularidade desejável com herbicidas pós-emergentes, visto que o desempenho do herbicida pode ser afetado por adjuvantes, condições ambientais, e a idade da folha (RICHARD JR et al., 1983).

Quando o transporte de elétrons é bloqueado, com destaque para ação de herbicidas, um incremento proporcional na energia excitada absorvida é reemitida como fluorescência. Miles e Daniels (1973) detectaram trocas na fluorescência de folhas resultante da inibição do transporte de elétrons por muitos herbicidas, incluindo o simazine e diuron. Para os primeiros testes, através de um sistema simples de filtro de cor e fotografia colorida foi possível registrar o incremento na intensidade da fluorescência. Com o passar dos anos, equipamentos de detecção eletrônica foram desenvolvidos e permitiram avaliações qualitativas mais refinadas da cinética da fluorescência da clorofila em folhas intactas (DUCREST, GASQUEZ, 1978).

Quanto maior a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), maior a captação de elétrons pela via fotoquímica até atingir a saturação na cadeia de elétrons, fase da fotossíntese dependente da luz. Quando os elétrons seguem a via fotoquímica, existe um decréscimo na fluorescência registrada pelo PAM, que se traduz num decréscimo do rendimento fotossintético.

Van Oorschot e Van Leeuwen (1992) conduziram experimento com folhas destacadas de *Alopecurus myosuroides* (planta daninha bastante prejudicial aos

cereais de inverno da Inglaterra e de difícil controle devido à seleção de biótipos resistentes) submetidas ao chlortoluron. As folhas das plantas resistentes mostraram parcial a completa recuperação da inibição do transporte de elétrons, enquanto as plantas susceptíveis não mostraram qualquer recuperação do transporte de elétrons no PSII.

Em estudos de seletividade, plantas de abacaxi que receberam aplicação de amicarbazone apresentaram redução nos teores de clorofilas, mas não demonstraram toxicidade visível. No entanto, pela análise dos dados de fluorescência foi verificado que o amicarbazone proporcionou o não aproveitamento de parte da energia que chegava ao complexo-antena, uma vez que este bloqueou a taxa de elétrons no PSII em nível de proteína D_1 , a energia foi dissipada na forma de fluorescência. Houve uma queda brusca na eficiência quântica do PSII das plantas de abacaxi aos cinco dias após aplicação, porém, após 10 dias, a razão F_v/F_m voltou a subir, sugerindo que o herbicida tenha causado dano reversível ao aparato fotossintético e que a planta tenha conseguido se recuperar sem sintomas aparentes (CATUNDA et al., 2005).

Em um trabalho realizado com aplicação de atrazine e diuron em folhas de soja (*Glycine max*) houve uma diferença na resposta da atividade do PSII. A inibição significativa do transporte de elétrons nas folhas de soja foi detectada em 0,5 horas após a aplicação da atrazine não incrementando mais a inibição com duas horas após. E para o diuron, não foi detectada diferença significativa até uma hora após a aplicação (Richard Jr et al., 1983). Em ambos os casos, a inibição foi detectada antes das injúrias do sintoma visual do herbicida aparecer. A diferença na resposta deve ser devido à diferença de penetração e/ou a taxa do herbicida absorvido que alcança o mecanismo de ação.

O chlortoluron é um inibidor do transporte de elétrons no PSII, visto que o herbicida liga na partícula da proteína D_1 bloqueando o transporte de elétrons entre a Q_A e Q_B (JANSEN et al., 1993; RETZINGER, MALLORY-SMITH, 1997). Skórska e Murkowski, (2009), estudando a aplicação isolada do chlortoluron em plantas de aveia selvagem (*Avena fatua*) e cultivada (*Avena sativa*), observaram uma considerável diminuição do transporte de elétrons nas folhas de *Avena fátua*, com 26% do valor de ETR em relação ao da testemunha, enquanto que para a aveia cultivada não ocorreu mudança na capacidade de transporte de elétrons no PSII.

Guidi et al. (2000) observaram diminuição no transporte de elétrons em folhas de *Phaseolus vulgaris* tratadas com paraquat. Assim como Chagas (2007) trabalhando com a cultivar SP80 3280 de cana-de-açúcar verificou diminuição no transporte de elétrons com aplicação de paraquat, ou seja, um decréscimo na eficiência quântica que danifica o aparato fotossintético. Esses autores inferiram que o paraquat foi capaz de induzir danos ao PSII, excedendo a capacidade fotoprotetora da planta.

Em trabalho desenvolvido por Dayan et al. (2009), foi monitorado o ETR em plantas de milho, *Digitaria sanguinalis* e *Abutilon theophrasti*, quando submetidas à aplicação de amicarbazone e atrazine. O a taxa de transporte de elétrons para *Digitaria sanguinalis* e *Abutilon theophrasti* foi completamente inibida com oito horas após a aplicação do herbicida, enquanto o milho manteve uma redução de aproximadamente 70% e 30% do ETR fotossintético com 24 horas após a aplicação do amicarbazone e atrazine respectivamente, sendo o milho mais tolerante aos herbicidas testados quando comparado às plantas daninhas.

Giroto et al. (2010) avaliaram o transporte de elétron em *B. decumbens* após a aplicação de diuron e isoxaflutole e observaram que o diuron em apenas 24 horas após a aplicação reduziu o ETR em 100% e o isoxaflutole somente após 72 horas da aplicação reduziu 84% do ETR. O isoxaflutole é inibidor da síntese de carotenóide, por isso atingiu de forma mais lenta a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II.

Segundo Araldi et al. (2011) as plantas de *I. grandifolia* submetidas aos herbicidas diuron e glyphosate apresentaram inibição do transporte de elétrons em momentos diferentes, para o diuron essa inibição aconteceu as 72 horas e para glyphosate as 168 horas após aplicação, possivelmente pelo mecanismo de ação diferenciado dos herbicidas. E constatou-se também que o consumo de água não cessou com a inibição do transporte de elétrons nas plantas de *I. grandifolia* após aplicação dos herbicidas em estudo.

Giroto et al. (2011) avaliaram a fluorescência através da taxa de transporte de elétrons e o consumo de água de *I. grandifolia* após aplicação de glyphosate e amicarbazone e verificaram que em poucas horas após a aplicação do amicarbazone em solução a eficiência fotossintética foi reduzida, sendo que o mesmo não ocorreu com o glyphosate. O consumo de água acompanhou o comportamento do ETR.

Corniani et al. (2011) concluíram que há diferenças na redução do transporte de elétrons utilizando diferentes adjuvantes em mistura com glyphosate, sendo que, a adição de Assist ajudou o glyphosate a reduzir mais rapidamente o ETR, e o tratamento sem adjuvante que apresentou o menor valor de ETR ao final do experimento (144 horas após a aplicação).

4.6. Mistura de herbicidas

A utilização simultânea ou sequencial de dois ou mais herbicidas sobre uma mesma cultura vem sendo cada vez mais empregada na agricultura e representa um avanço nas estratégias de controle sobre as plantas daninhas. Despertam particular interesse as misturas que apresentam sinergismo, pois permitem o uso de doses menores e controlam plantas daninhas resistentes (GRESSEL, 1990). Esse sinergismo, muitas vezes, ocorre quando se misturam dois herbicidas que apresentam diferentes mecanismos de ação, nos quais pode haver uma ação de complementaridade entre os mesmos, com um facilitando a ação física e ou bioquímica do outro (MATTHEWS, 1994).

Na maioria das vezes, as misturas de herbicidas são utilizadas com o objetivo de aumentar o espectro de controle das plantas daninhas. Além dessa vantagem, o uso de misturas de herbicidas permite reduzir as doses, o que implica menor risco de fitotoxicidade da cultura, menor efeito residual no solo e redução nos custos de controle. Também, nas misturas, um herbicida pode melhorar a ação do outro, ou seja, pode ocorrer efeito sinérgico ou complementar da mistura, resultando em maior eficiência de controle, mesmo sob variações das condições climáticas (Jordan & Warren, 1995). O uso de misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação minimiza o risco de surgimento de plantas daninhas tolerantes ou resistentes (KRUSE et al., 2000). Essas vantagens decorrem da interação entre os herbicidas (JORDAN, WARREN, 1995). Segundo esses autores, interação é a relação de um herbicida na eficácia de outro. Assim, quando dois ou mais herbicidas são aplicados juntos, os efeitos esperados sobre as plantas daninhas podem ser aditivos, sinérgicos e antagônicos, sendo os dois primeiros os mais explorados no controle de plantas daninhas.

O efeito sinérgico, ou seja, quando o efeito combinado de dois herbicidas é maior que o esperado pela soma dos efeitos desses herbicidas quando aplicados isoladamente, pode ser resultado do aumento da absorção foliar e da translocação desses herbicidas, da inibição do metabolismo destes na planta e de interações dos mecanismos de ação dos herbicidas envolvidos (JORDAN, WARREN, 1995).

Várias evidências demonstram que misturas envolvendo os herbicidas carfentrazoneethyl, glyphosate, 2,4-D, flumioxazin, oxyfluorfen, paraquat e diuron se revestem de uso potencialmente elevado no controle da trapoeiraba (MONQUERO et al., 2001).

Correia et al. (2010) realizaram um experimento onde avaliaram a época seca e úmida, sendo que na época seca utilizou-se amicarbazone isolado e em mistura com clomazone + hexazinone e imazapic, e na época úmida mesotrione isolado e em mistura com atrazine, metribuzin ou diuron + hexazinone, e concluíram que na época seca o amicarbazone resultou no melhor controle de *M. aegyptia*. Na época úmida, a associação de mesotrione aos herbicidas atrazine, metribuzin ou diuron + hexazinone foi mais eficaz no controle de *M. aegyptia* do que aplicado sozinho.

Christoffoleti et al. (2010) realizaram um estudo com amicarbazone isolado e em mistura tebuthiuron, amicarbazone + (diuron + hexazinone), amicarbazone + hexazinone sendo aplicados em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar para o controle da *B. decumbens*, e observaram que as aplicações de amicarbazone associado a tebuthiuron, diuron + hexazinone e hexazinone foram viáveis para o controle da planta daninha *B. decumbens*. Ainda, o uso de amicarbazone isolado a partir de 1.250 g ha⁻¹ corresponde à alternativa de controle para a planta daninha citada, em pré-emergência, em solo médio, na época úmida do ano. Independentemente dos tratamentos herbicidas utilizados, não foram observadas injúrias fitotóxicas prejudiciais para a cultura da cana-de-açúcar.

Rinaldi et al. (2010) realizaram um trabalho para avaliar a influência do herbicida hexazinone + diuron isolado ou em mistura com o clomazone em pós-emergência, aos 55 dias após o plantio da variedade de cana-de-açúcar (SP79-1011), e constataram que os herbicidas não influenciaram na produtividade final da cultura ou em suas características tecnológicas.

Velini et al. (2000) verificaram que a mistura dos herbicidas oxyfluorfen+ametryn aplicada em dez cultivares de cana-de-açúcar não causou efeitos sobre a produtividade e qualidade da matéria prima do colmo.

Azania et al. (2005) ao testarem os herbicidas diuron+hexazinone, azafenidin+hexazinone, metribuzin e isoxaflutole verificaram que esses produtos alteraram de forma negativa a qualidade da matéria prima da cana-de-açúcar. Os efeitos negativos dos herbicidas ocorrem, principalmente, quando as plantas de cana-de-açúcar encontram-se em estádios jovens. Essa intoxicação, dependendo do genótipo utilizado e das características do herbicida utilizado, além de afetar a fotossíntese em sua fase inicial (transporte de elétrons no PSII) pode afetar a produtividade e a qualidade da matéria prima da cana-de-açúcar, como as porcentagens de sólidos solúveis totais do caldo (Brix), fibra, sacarose aparente (PCC) e pureza do caldo (VELINI et al., 2000).

A análise da literatura indica a necessidade de desenvolver métodos precisos e de execução rápida e simples para quantificar injúrias de herbicidas e avaliar a seletividade destes produtos a culturas, sobretudo à cana-de-açúcar, uma cultura de grande relevância no Brasil, mas pouco estudada em escala mundial.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi direcionado ao estudo da ação do amicarbazone em cana-de-açúcar e plantas daninhas. A pesquisa foi dividida em dois experimentos, cujos principais objetivos e informações sobre metodologias estão apresentados a seguir.

5.1. Avaliação dos efeitos do amicarbazone sobre a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II em áreas comerciais de cana-de-açúcar.

Esse primeiro experimento teve como objetivo determinar a taxa de transporte de elétrons de três cultivares de cana-de-açúcar em 4 épocas distintas (3, 6, 9 e 12 folhas) submetidos a aplicação do amicarbazone em pré-emergência da cultura.

Este estudo foi realizado em áreas comerciais da Usina da Barra/COSAN, Fazenda Ponte Alta, localizada no município de Barra Bonita/SP de outubro/2009 a maio/2010. O trabalho consistiu no acompanhamento de áreas comerciais com diferentes cultivares de cana-de-açúcar com aplicação de amicarbazone nas cultivares selecionadas com diferentes sensibilidades aos herbicidas. Utilizou as variedades de cana-de-açúcar PO8862, SP80-3280 e RB85-5536, partindo do 2º para o 3º corte.

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de cana-de-açúcar espaçadas em 1,4 m, com 10 m de comprimento. Os tratamentos foram testemunha sem aplicação de herbicidas, amicarbazone na dose de $1,5 \text{ kg p c ha}^{-1}$ ($1050 \text{ g i a ha}^{-1}$) e amicarbazone na dose de $2,5 \text{ p c kg ha}^{-1}$ ($1750 \text{ g i a ha}^{-1}$) aplicados em pré-emergência da cultura no dia 22 outubro de 2009. O monitoramento do ETR foi realizado em 10 plantas por parcela, com 20 leituras de ETR por planta (realizado em folhas novas e velhas).

As avaliações de ETR foram realizadas com fluorômetro portátil OS5p quando as plantas de cana-de-açúcar estavam com 3, 6, 9 e 12 folhas emitidas, ou seja em 20, 50, 120 e 240 dias após a aplicação em pré-emergência da cultura.

A aplicação dos herbicidas foi realizada cinco dias após corte da cana-de-açúcar, utilizando pulverizador costal pressurizado a CO_2 (254 kPa) e barra munida de quatro pontas de pulverização, modelo Teejet 110.015, espaçadas de 0,5 m, aplicando-se o equivalente a 150 L ha^{-1} de calda. No momento da aplicação, a temperatura situava-se em torno de 23°C , a umidade relativa do ar era de 72% e a velocidade do vento próxima a 6 km h^{-1} .

Quando a cana-de-açúcar apresentava 6 folhas, (120 dias após a aplicação) o solo foi acidentalmente revolvido através de cultivo mecânico nas parcelas da variedade SP80-3280.

A altura das plantas foi avaliada com auxílio de uma régua de 1 metro com precisão de cm e as medidas foram tomadas a partir do solo até o primeiro colarinho visível, sendo realizadas no final do experimento (240 dias após a aplicação do herbicida).

As características avaliadas foram: monitoramento a taxa de transporte de elétrons (ETR), número médio de perfilhos por metro quadrado e altura da planta. O monitoramento a taxa de transporte de elétrons no PSII (ETR) foi realizado com um fluorômetro portátil Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p. Foi utilizado o Protocolo Yield para leitura do ETR ajustado com um PAR (radiação fotossinteticamente ativa) de $500 \mu\text{Mols elétrons.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Esse protocolo permite a iluminação e detecção da fluorescência da clorofila, a mensuração da taxa de transporte de elétrons, além de ser otimizado para um estado da fotossíntese adaptado a luz porque registra as medidas de quantum efetivo produzido no PSII. Tanto a fonte de luz do sol quanto à luz artificial pode ser usada para dirigir a fotossíntese.

A fonte de luz utilizada para medir a fluorescência no aparelho Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Sciences) é a fonte diodo com pico de luz vermelha no comprimento de onda de 660 nm sendo bloqueada radiações maiores que 690 nm. A intensidade média da luz é ajustada para o intervalo de 0 a $1 \mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, com o uso da lâmpada halogênica 35 W. O feixe de luz é opticamente monitorado no interior da câmara para corrigir as variações devidas mudanças na temperatura do ambiente. Os sinais ópticos são transferidos para a superfície da folha por uma trifurcação personalizada de

fibra óptica, sendo de 2 cm² a área iluminada. A luz reemitida é conduzida via fibra óptica para o aparelho através de três conectores que ligam na lateral do OS5p. As análises foram feitas seguindo a metodologia de Genty et al. (1989), avaliando a emissão da fluorescência da clorofila na superfície superior das folhas.

A taxa de transporte de elétrons (ETR) - $\mu\text{Mols elétrons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ = (Y).(PAR).(0,84).(0,5) é equivalente a: (produção de quantum do PSII) x (medidas da radiação fotossinteticamente ativa medida em $\mu\text{Mols elétrons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) x (coeficiente de absorção da folha) x (fração de luz absorvida pelo complexo antena do PSII). O ETR é uma medida da separação de cargas do centro de reação do PSII. Na equação são usados valores padrões, contudo, ambos os coeficientes de absorção e fração da luz absorvida pelo PSII podem ser trocados. Embora 0,84 seja um valor médio para muitas espécies de plantas, trabalhos têm mostrado que o coeficiente de absorção da folha pode variar com a qualidade da luz, espécie, conteúdo de clorofila e refletância da folha. Para a fração de luz que é absorvida pelo complexo antena do PSII os trabalhos mostram que ocorre variação de acordo com a espécie e estende de 0,42 a 0,60 (LAISK, LORETO, 1996).

Como o parâmetro ETR, determina a taxa de transporte de elétrons fotossintético no PSII, como descrito por Skorska & Swarczewicz, (2005), o uso do valor do ETR permite detectar o efeito da atuação do herbicida ao nível de concentração de 0,5 micromoles.dm⁻³, enquanto o método tradicional, que inclui a medição do parâmetro Fv/Fm, permite detectar apenas em um nível de concentração que é 100 vezes maior (Van Oorschot & Van Leeuwen, 1992, Korres et al., 2003). A Figura 2 abaixo segue a foto do fluorômetro utilizado nos experimentos.



Figura 2. Painel frontal do fluorômetro portátil OS5p. Botucatu/SP - 2011.

A Figura 3 esta apresentado a instalação do experimento e Figura 4 a média de precipitação dos meses de outubro de 2009 a junho de 2010.



Figura 3. Instalação do experimento em área comercial cana-de-açúcar. (A) instalação e aplicação do amicarbazone, (B) cana-de-açúcar com três folhas, (C) cana-de-açúcar com seis folhas, (D) cana-de-açúcar com nove folhas. Barra Bonita/SP, 2010.

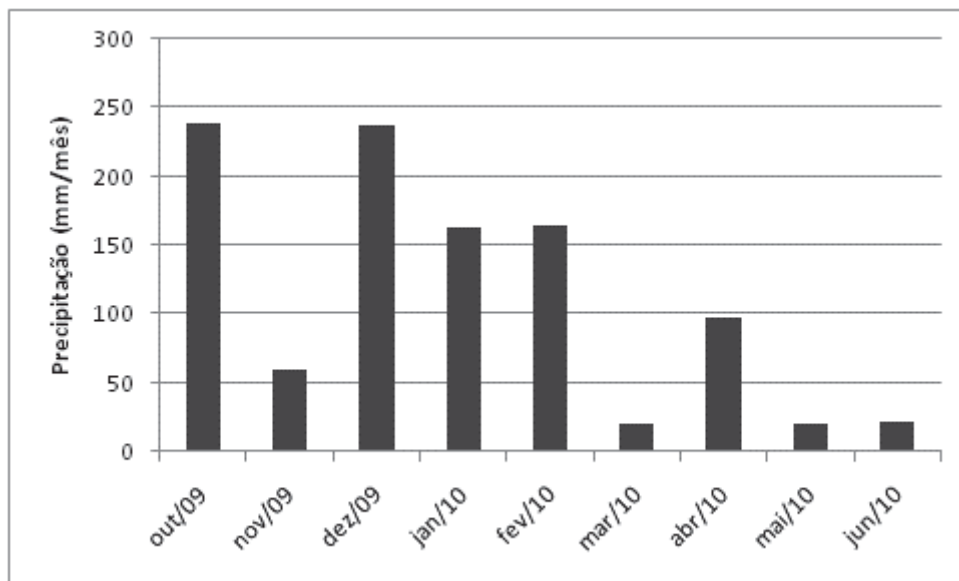


Figura 4. Precipitação média, dos meses de outubro/2009 a junho/2010. Barra Bonita/SP, 2010.

5.1.1. Análise Estatística

Os dados de ETR transformados em porcentagem da testemunha foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativo, foi realizada a comparação das médias através do teste t a 10% de probabilidade.

Para os dados de altura de planta e perfilhamento foi estabelecido o intervalo de confiança (equação abaixo) pelo teste t a 10% de probabilidade,

$$IC = \frac{(t \cdot desvpad)}{\sqrt{nr}}$$

, onde:

“IC” = intervalo de confiança;

“t” = valor de t tabelado, ao nível de 10% de probabilidade;

“desvpad” = desvio padrão;

“nr” = raiz quadrada do número de repetições.

5.2. Estudo das interações do amicarbazone com outros herbicidas utilizados em cana-de-açúcar.

Esse segundo experimento foi conduzido com objetivo de determinar se a aplicação conjunta dos herbicidas pode auxiliar ou prejudicar o bloqueio da taxa de elétrons no fotossistema II.

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu.SP. O local do experimento apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 22°07'56'' S, longitude de 74°66'84'' W. e altitude de 762 m.

O solo utilizado como substrato foi inicialmente seco à sombra por um período de 48 horas, peneirado em peneira com malha de 200 mesh, e submetido às análises químicas e granulométricas cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Com base nesses resultados, o solo foi adubado com 550 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8 para suprir as necessidades nutricionais das plantas daninhas na fase inicial de desenvolvimento e em seguida, acondicionado em vasos de 2 dm³ de capacidade.

Tabela 1. Análise química do solo utilizado nos vasos do experimento com plantas daninhas submetida a herbicidas em pós-emergência. Botucatu, SP, 2011.

Solo	pH (CaCl ₂)	M.O (gdm ⁻³)	P res. (mgdm ⁻³)	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³ (mmolc dm ⁻³)	SB	T	V(%)
LVd	4,3	19	1	0,6	10	4	58	14,6	73	21

Departamento de Solos - FCA/UNESP – Botucatu.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo utilizado nos vasos do experimento com plantas daninhas submetida a herbicidas em pós-emergência. Botucatu, SP, 2011.

Granulometria (%)	Frações do solo						Classe textural
	Argila	Limo	Areia				
			Fina	Média	Grossa	Total	
LVd	20	4	22,9	35,7	17,4	7,6	Média

Departamento de Solos - FCA/UNESP – Botucatu.

O trabalho foi realizado com as espécies de plantas daninhas *Ipomoea grandifolia* e *Brachiaria decumbens*, selecionadas por ocasionarem grandes prejuízos à cultura de cana-de-açúcar.

As sementes foram pesadas para atender um estande final de 25 plantas por vaso de cada espécie, sendo semeadas as duas espécies no mesmo vaso. Quando as plantas estavam com três folhas foi realizada a aplicação dos herbicidas em pós-emergência inicial das plantas daninhas. A Tabela 3 apresenta os tratamentos utilizados com os diferentes herbicidas e suas respectivas doses.

As aplicações dos herbicidas foram realizadas através do simulador (Figura 5) localizado no NUPAM - FCA que é composto por uma barra de pulverização constituída por quatro pontas de pulverização XR 11002 VS, espaçadas entre si em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais. Para as pulverizações dos herbicidas, o sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 Km.h⁻¹, o que correspondeu a 45,0 Hertz no modulador de frequência, com consumo de calda correspondente a 200 L.ha⁻¹. O equipamento foi operado com pressão constante de 1,5 bar, pressurizado por ar comprimido.

Tabela 3. Tratamentos utilizados no experimento. Botucatu/SP, 2011.

	Produto	Dose de P.C (kg ou l ha⁻¹)	Dose de i. a. (kg ha⁻¹)
1	amicarbazone	1,5	1,05
2	hexazinone	0,75	0,187
3	amicarbazone + hexazinone	0,75 + 0,375	0,525 + 0,0935
4	diuron	3,0	1,92
5	amicarbazone + diuron	0,75 + 1,5	0,525 + 0,96
6	sulfentrazone	1,4	0,6
7	amicarbazone + sulfentrazone	0,75 + 0,7	0,525 + 0,3
8	imazapic	0,17	0,119
9	amicarbazone + imazapic	0,75 + 0,085	0,525 + 0,0595
10	testemunha	-----	-----

As avaliações de ETR foram realizadas às 0,5, 2, 8, 24, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas após a aplicação. E em 07 dias após a aplicação foi realizada a avaliação visual de porcentagem de controle das espécies em estudo através de uma escala

de notas em porcentagem, onde “zero” correspondia a nenhuma injúria e “100” a morte de plantas (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas., 1995).



Figura 5. Instalação do experimento com aplicações de misturas de herbicidas em *I. grandifolia* e *B. decumbens*. (A) pulverização dos herbicidas com o pulverizador estacionário, (B) visão geral do experimento em casa-de-vegetação com 1 DAA.

5.2.2. Análise Estatística

Os valores de ETR foram transformados em porcentagem dos valores médios observados no tratamento sem aplicação de herbicidas (testemunha), e foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativo, foi realizada a comparação das médias através do teste t a 10% de probabilidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Avaliação dos efeitos do amicarbazone sobre a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II de variedades comerciais de cana-de-açúcar.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da análise de variâncias e do teste de comparação de médias para os valores de ETR obtidos. Os resultados são apresentados permitindo avaliar os efeitos das variáveis variedades, épocas de avaliação do ETR e dosagem de amicarbazone. Ao analisar a interação entre esses fatores, observa-se que todas as interações duplas e a interação tripla foram significativas inviabilizando o uso de qualquer tipo de médias, exceto as de tratamentos, na apresentação dos resultados.

Tabela 4. Análise de variância, teste para as médias dos valores de ETR e interações entre as variáveis analisadas (variedade, dosagem e época). Botucatu/SP, 2011.

Teste F	
V	28,84**
D	84,55**
E	33,08**
V x D	9,16**
V x E	12,23**
D x E	13,29**
V x D x E	6,19**
CV (%)	4,72

* Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem, entre si, pelo teste de t, a 10% de probabilidade. NS: Não significativo (P < 0,05); *: Significativo (P < 0,05); **: Significativo (P < 0,01) e CV %: Coeficiente de variação.

Na Figura 6 estão representados os dados da interação dose e época de avaliação do ETR para a variedade PO8862, pode-se observar na avaliação com 3 folhas que apenas a dosagem 2,5 kg ha⁻¹ apresentou diferença significativa reduzindo o ETR, já com 6 folhas a variedade PO8862 não apresentou redução do ETR em nenhuma dose estudada, mas na época com 9 folhas as duas doses estudadas apresentaram efeito significativos quando comparados com a testemunha, sendo que na ultima avaliação (12 folhas) as doses não influenciaram na redução da ETR, enfatizando que o herbicida amicarbazone mostrou-se seletivo a variedade PO8862

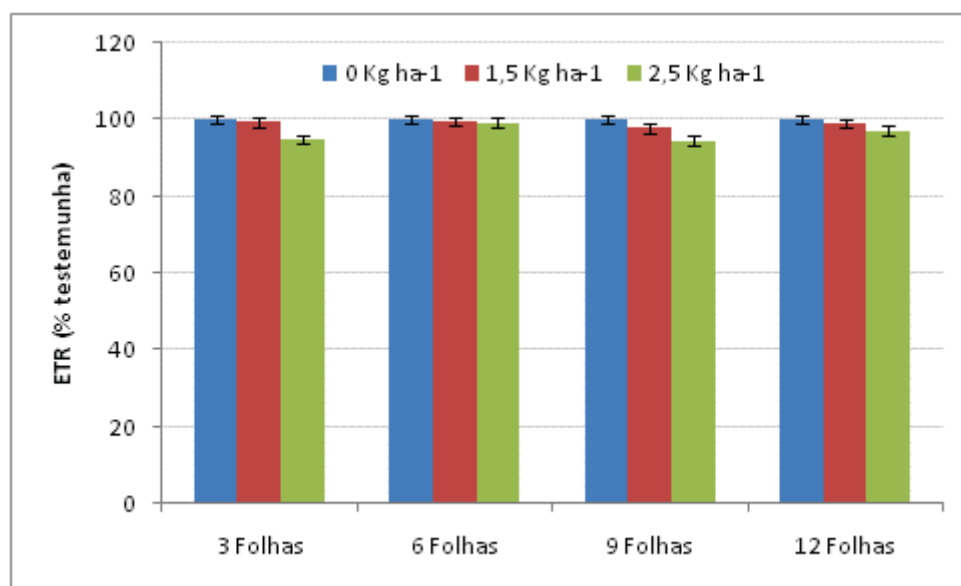


Figura 6. Efeito do amicarbazone, aplicado em diferentes doses, na taxa de transporte de elétrons (ETR) avaliado em quatro estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, variedade PO8862. Botucatu/SP, 2011.

Araldi (2010) trabalhando com absorção de amicarbazone, imazapic, tebuthiuron e hexazinone, em solução, para três variedades de cana-de-açúcar PO8862, SP80-3280 e RB83-5486 e uma planta daninha *I. grandifolia*, concluiu para o amicarbazone, que a *I. grandifolia* transpira mais e tem maior capacidade de absorver o herbicida que as variedades de cana-de-açúcar indicando maior sensibilidade da espécie daninha ao herbicida. De modo similar, variedades de cana com maior capacidade de transpiração foram mais sensíveis ao herbicida.

Analisando a Figura 7, foi possível inferir, para a variedade RB835486, que na primeira avaliação realizada (3 folhas), as doses estudadas não apresentaram diferenças significativas em comparação com a testemunha, o mesmo ocorreu na avaliação com 6 folhas não sendo observadas reduções no ETR. Já nas épocas com 9 e 12 folhas foram observadas as maiores reduções do ETR.

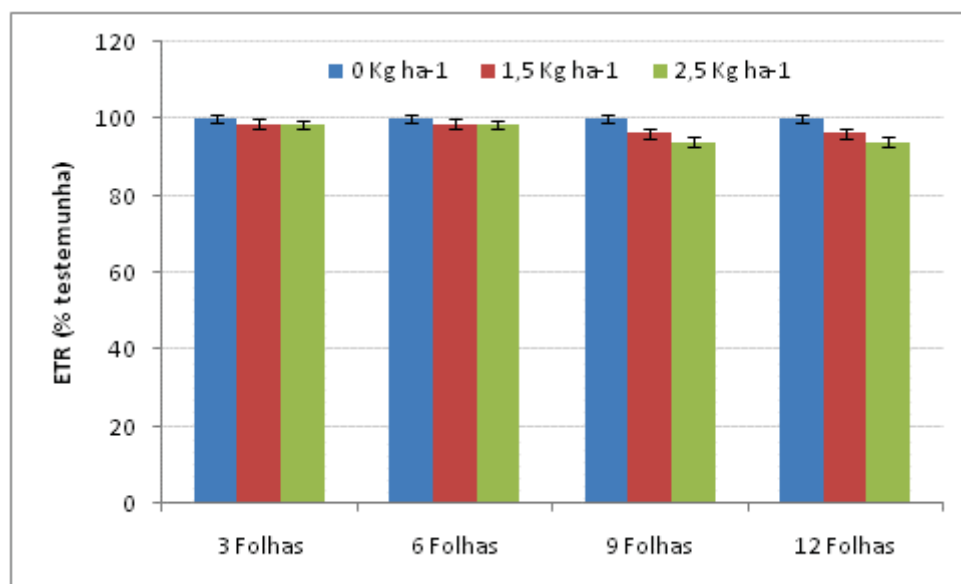


Figura 7. Efeito do amicarbazone, aplicado em diferentes doses, na taxa de transporte de elétrons (ETR) em quatro estádios de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, variedade RB83-5486. Botucatu/SP, 2011.

Pode-se verificar em todas as avaliações realizadas no decorrer do experimento, que a época que na terceira avaliação, quando a cultura já havia emitido nove folhas, foram máximos os efeitos do amicarbazone sobre a taxa de transporte de elétrons na variedade RB83-5486. Nesta fase houve um período de deficiência hídrica que pode ter contribuído para acentuar os efeitos do herbicida sobre a cultura. Não há como inferir com precisão sobre os mecanismos envolvidos na maior suscetibilidade da cultura ao amicarbazone em condições de deficiência hídrica.

Carbonari (2009) demonstrou, em um experimento com cana-de-açúcar, aos 195 DAA, que ocorreu um aumento nas concentrações do amicarbazone, provavelmente pela ocorrência de um veranico, causando um caminhamento ascendente de

produto, principalmente no tratamento com maior perda de água, devido à ausência de cobertura de solo.

Segundo Martini e Durigan (2004), o teor de água no solo é fundamental para garantir o sucesso do herbicida no controle das plantas daninhas, principalmente na camada superficial, de zero a dois centímetros, que deve possuir quantidade de água suficiente para ativar e movimentar o herbicida até os disseminulos, garantindo sua boa ação.

Na Figura 8 está representado o efeito das doses sobre as épocas de avaliação da taxa de transporte de elétrons para a variedade SP80-3280. Observa-se na primeira época (3 folhas) que as duas doses utilizadas apresentaram diferença sobre o ETR da testemunha reduzindo significativamente a taxa de transporte de elétrons. Na avaliação com 6 folhas, não apresentou diferença entre a testemunha e as doses estudadas, provavelmente, pela ocorrência de chuvas e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da cultura nesta época.

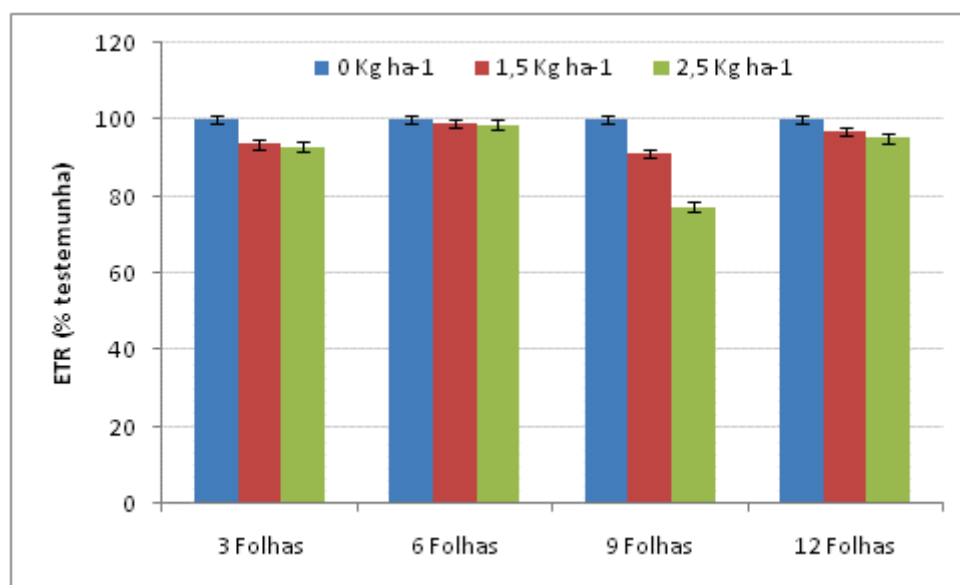


Figura 8. Efeito do amicarbazone aplicado em diferentes doses, na taxa de transporte de elétrons (ETR) de quatro estádios de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, na variedade SP80-3280. Botucatu/SP, 2011.

Observa-se ainda na Figura 8 que na avaliação realizada com 9 folhas, o ETR foi reduzido mais severamente, sendo que nas duas doses avaliadas diferenciaram significativamente da testemunha, principalmente a dose maior ($2,5 \text{ kg ha}^{-1}$). Nessa época (9 folhas) além do solo ter sido revolvido com cultivo mecânico, as condições climáticas estavam desfavoráveis para a cultura possivelmente acentuando ou preservando por mais tempo os efeitos do herbicida sobre a cultura. Na época de 12 folhas apesar do ETR ter reduzido significativamente comparando com a testemunha, apresentou uma recuperação satisfatória em relação à época anterior.

Gimenes (2004) relata que a adsorção do amicarbazone pode variar entre $32,4$ a $42,6 \text{ mg g}^{-1}$ de solo, sendo este um dos fatores que imprimem a este herbicida uma baixa necessidade de umidade no solo para sua ação como herbicida e sua fácil disponibilidade nos momentos em que as plantas daninhas encontram condições para germinar, no entanto, mesmo sendo mínimas as condições de umidade o herbicida permanece disponível.

Patti et al. (2005) estudaram a eficiência do herbicida amicarbazone aplicado em pré-emergência no controle de plantas daninhas, sob diferentes situações de disponibilidade de água, e avaliaram o período residual do herbicida no solo sob condição de estresse hídrico em diferentes períodos de seca após a aplicação. Os autores verificaram que o amicarbazone controlou as espécies *I. grandifolia*, *B. plantaginea*, *D. horizontalis* e *P. maximum* independentemente do período de seca a que foi submetido.

Na Figura 9 estão representadas as médias e intervalos de confiança para, altura de planta, e pode-se verificar que, para a variedade SP80-3280, a altura da planta foi sensivelmente influenciada pela aplicação do amicarbazone, sendo que o crescimento das demais variedades não foi afetado pelas duas doses do herbicida utilizadas. Para as variedades PO8862 e RB85-5536 as pequenas alterações nos valores de ETR observadas não refletiram sobre o crescimento da cana-de-açúcar em altura indicando que a avaliação é uma técnica bastante precisa e sensível para avaliar a intoxicação da cultura por herbicidas inibidores do FSII sendo possível detectar intoxicações mesmo em níveis mínimos, que não afetam o crescimento da planta cultivada.

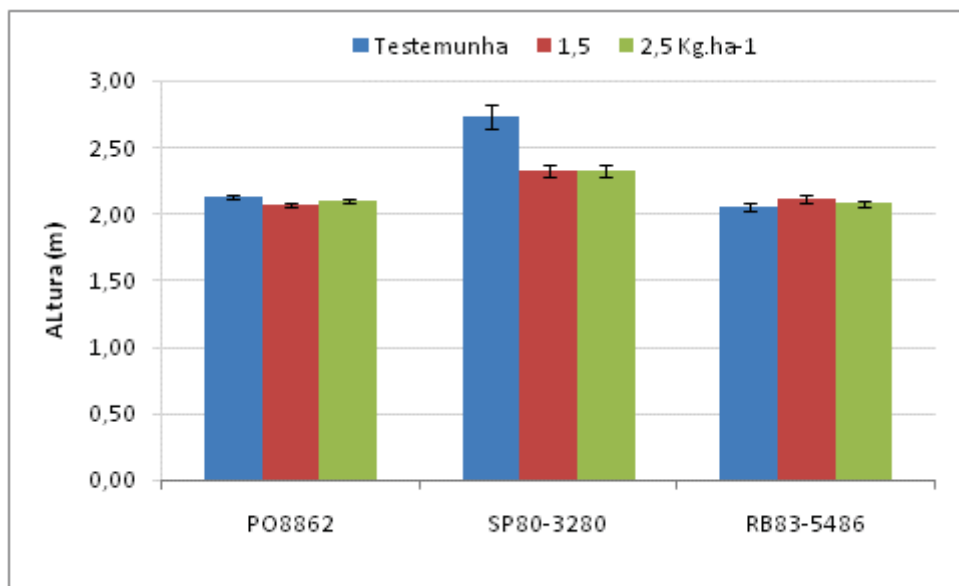


Figura 9. Altura média das plantas, em metros, e intervalos de confiança para as variedades de cana-de-açúcar PO8862, SP80-3280 e RB85-5536 e. Botucatu/SP, 2011.

Souza et al. (2009) buscaram avaliar a tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência na soqueira da cultura. Foi detectada uma pequena redução no transporte de elétrons do PSII, na fase inicial de desenvolvimento da cultura, mas não suficiente para prejudicar a altura, estande, produção e qualidade tecnológica das diferentes cultivares de cana-de-açúcar estudadas.

Nas Figuras 10, 11 e 12 estão representadas as frequências acumuladas para a altura de plantas das variedades PO8862, SP80-3280 e RB85-5536, e pode-se observar que a variedade que apresentou maior redução de crescimento nas duas doses estudadas, foi à variedade SP80-3280. A linha correspondente à testemunha evidencia que foram mais frequentes plantas com maiores alturas neste tratamento. Praticamente não há diferença entre as linhas representando as frequências acumuladas para as duas doses de amicarbazone, para esta variedade (SP80-3280). Possivelmente contribuiu para o resultado obtido, o fato das parcelas desta variedade terem sido cultivadas no estágio de nove folhas, conforme já relatado. Efeitos menos intensos do amicarbazone sobre a altura das plantas de cana-de-açúcar foram observados para a variedade PO8862.

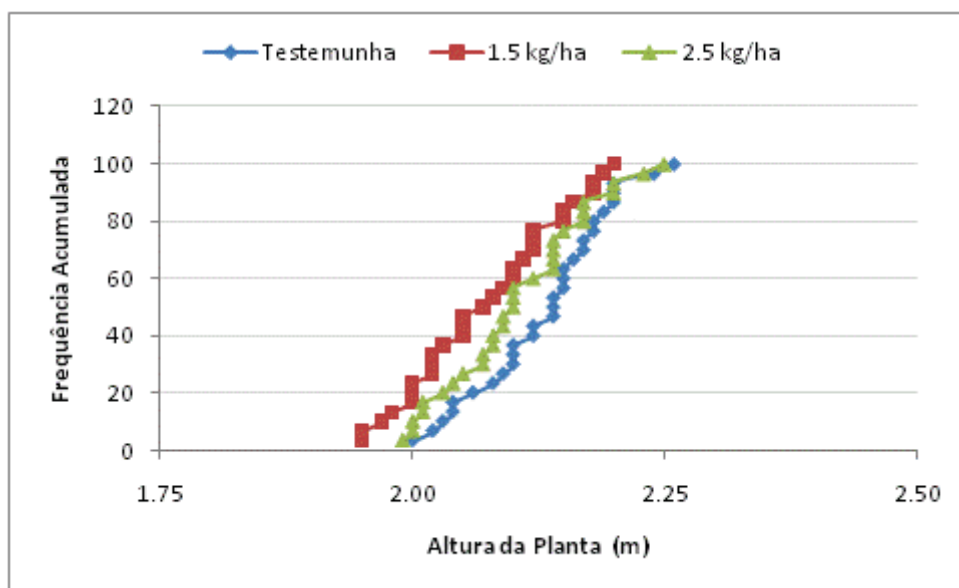


Figura 10. Frequência acumulada para a altura de planta (variedade PO-8862) após aplicação de amicarbazone nas doses de 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹. Botucatu/SP. 2011.

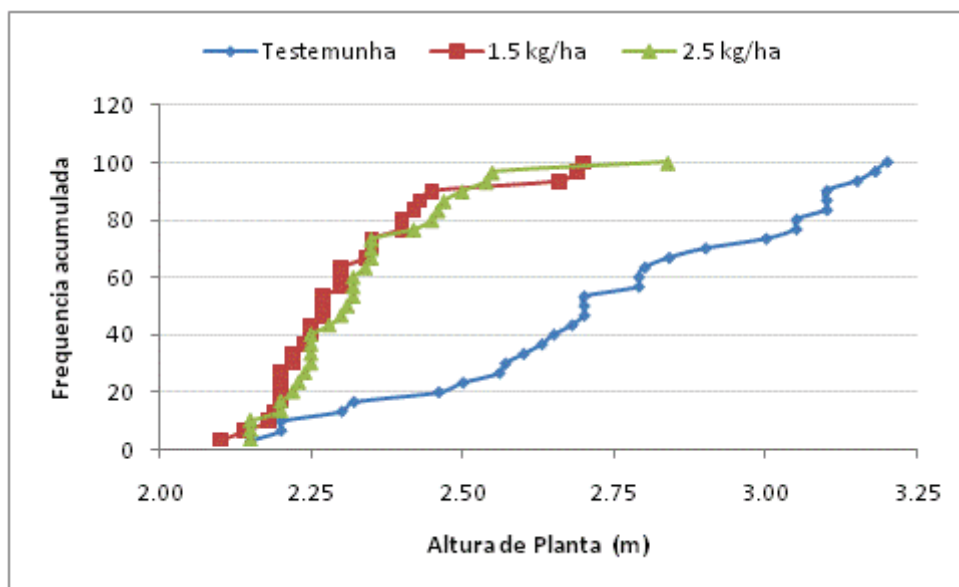


Figura 11. Frequência acumulada para a altura de planta (variedade SP80-3280) após aplicação de amicarbazone nas doses de 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹. Botucatu/SP, 2011.

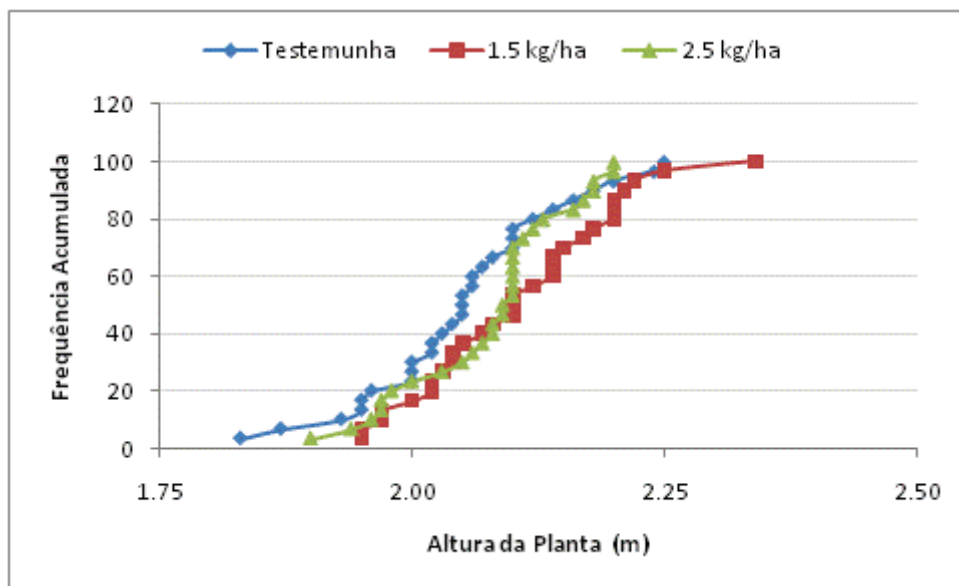


Figura 12. Frequência acumulada para a altura de planta (variedade RB83-5486) após aplicação de amicarbazone nas doses de 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹. Botucatu/SP, 2011.

A Figura 13 ilustra o número de perfilhos de cada variedade avaliada, e pode-se observar que as duas doses de amicarbazone aplicadas não afetaram o número de perfilhos. Embora tenha ocorrido uma tendência de redução do número de perfilhos nas parcelas tratadas da variedade SP80-3280, a alta variabilidade dos resultados não permitiu concluir pela diferença significativa entre as médias. Deve ser destacado que a acentuação da intoxicação desta variedade pode estar associada ao fato do cultivo mecânico ter sido realizado nas parcelas referentes à mesma.

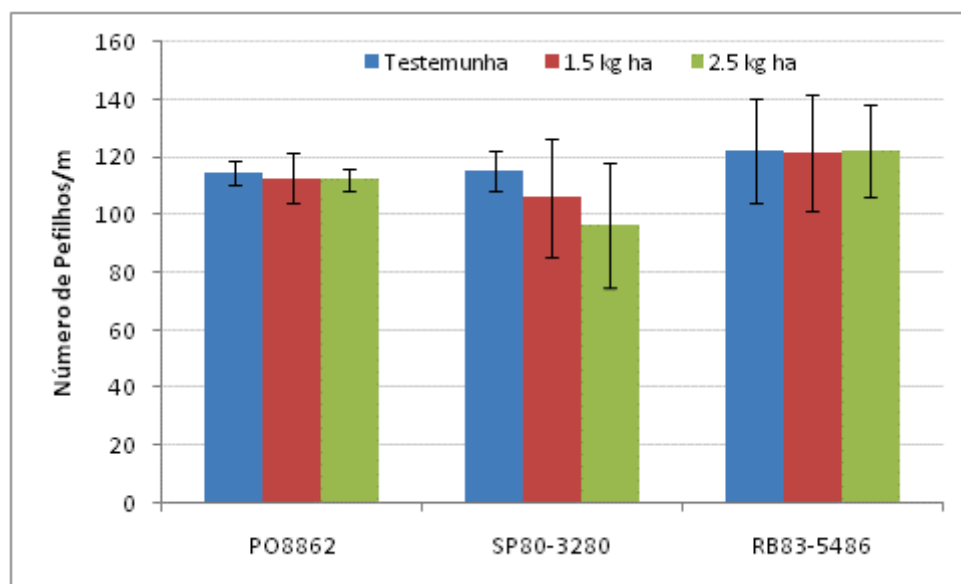


Figura 13. Número de perfilhos/m para as variedades PO-8862, SP80-3280 e RB83-5486. Botucatu/SP. 2011.

Segundo Sugiharto, (2004) o déficit hídrico influencia de maneira direta o crescimento dos perfilhos e a altura final dos colmos e, conseqüentemente, a produção de açúcar.

Silva et al. (2009) constataram que o canavial (variedade RB 85-5536) mantido sem plantas daninhas durante todo o ciclo produziu 10,68 colmos por metro. Já o canavial em convivência com a comunidade infestante (composta principalmente por *I. hederifolia*) até os 229 dias após a brotação apresentou 7,06 colmos por metro, correspondendo a uma redução de 34%. Assim como a deficiência hídrica a matocompetição pode prejudicar o perfilhamento da cana-de-açúcar mas, no trabalho em questão não houve influencia desses fatores no perfilhamento das variedades durante o período avaliado.

6.2. Estudo das interações do amicarbazone com outros herbicidas utilizados em cana-de-açúcar.

A Tabela 5 apresenta uma síntese de análise de variância e do teste F, para os herbicidas estudados e períodos de avaliação, verifica-se que houve uma diferença significativa, a 1% de probabilidade, para os tempos e para os herbicidas. Na

interação de todos os herbicidas com o tempo, foi constatada diferença significativa entre todos os tratamentos. Na Tabela 6 estão apresentados os dados referentes à taxa de transporte de elétrons, em função da interação do tempo após aplicação e herbicidas em pós emergência em *B. decumbens*.

Tabela 5. Síntese de análise de variância e teste de médias para o ETR em *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

Teste F		DMS	CV (%)
Tempo	2.792,32**	29,10	
Herbicida	348,47**	82,38	18,45
T x H	18,26**	21,07	

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem, entre si, pelo teste de t, a 10% de probabilidade. NS: Não significativo ($P < 0,05$); *: Significativo ($P < 0,05$); **: Significativo ($P < 0,01$) e CV %: Coeficiente de variação

Observa-se na Figura 14 para *B. decumbens*, que meia hora após a aplicação do herbicida amicarbazone isolado, ocorreu uma diminuição do ETR de forma mais rápida que a ocasionada pela aplicação de diuron isolado, entretanto quando aplicados em mistura (amicarbazone + diuron) o comportamento da ETR foi menos pronunciado do que o amicarbazone isolado e mais pronunciado do que o diuron isolado. O mesmo ocorre duas horas após a aplicação do herbicida, oito horas após a aplicação do amicarbazone isolado, o ETR reduziu 81,76% em relação à testemunha, enquanto o diuron reduziu 48,64% e a mistura (amicarbazone + diuron), 76,99%.

Pode-se observar ainda na Figura 14 que 24 horas após aplicação o amicarbazone ocasionou 96,72% de redução do ETR em relação à testemunha e o diuron 75,96%, enquanto a mistura (amicarbazone + diuron) demonstrava 89,90% de diminuição do ETR em relação à testemunha. As avaliações seguintes demonstraram que o diuron comparando com o amicarbazone e a mistura (amicarbazone + diuron) foi o herbicida que atingiu de forma mais lenta a redução da taxa de elétrons. Mesmo sendo um inibidor da fotossíntese, o efeito do diuron foi mais lento que o amicarbazone.

Araldi (2010) realizou um experimento com *I. grandifolia*, *B. decumbens* e *Digitaria sp*, submetida a aplicação de amicarbazone e verificou-se que todas as espécies apresentaram redução do ETR de forma rápida em poucas horas para as duas concentrações avaliadas, 0,250 ppm e 0,500 ppm.

O amicarbazone é absorvido pelo sistema radicular e translocado via xilema. No entanto, a absorção foliar também ocorre quando ele é aplicado em pós-emergência. Isso mostra a importante eficiência do herbicida amicarbazone, tanto quando aplicado no solo ou nas folhas.

Carbonari et al, (2010) também realizaram um experimento com aplicação de amicarbazone isolado e em associação com, diuron, tebuthiuron e clomazone no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar e observaram eficiente controle quando o herbicida amicarbazone foi utilizado em mistura principalmente no controle de *B. decumbens*.

Tabela 6. Respostas da taxa de transporte de elétrons (ETR), em função da interação do tempo após aplicação e herbicidas utilizados em pós-emergência, em *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

Herbicidas	Tempo (horas)									
	0,5	2	8	24	48	72	96	120	144	168
testemunha	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
hexazinone	26,10 Fa	12,93 Hb	3,18 Hdc	2,29 Fdc	6,86 Ec	4,67 Edc	0,0 Ed	0,90 Dd	3,80 Ddc	1,70 Dd
hexaz. + amic.	26,96 FEa	18,05 Gb	10,48 Gc	2,46 Fd	4,21 FED	1,58 Ed	1,14 Ed	1,24 Dd	0,97 Db	0,57 Dd
amicarbazone	41,19 Da	28,05 Feb	18,24 FEc	3,28 Fd	2,09 FED	1,41 Ed	0,75 Ed	1,01 Dd	1,03 Dd	0,0 Dd
imaz. + amic.	37,39 Da	35,36 Da	16,75 Fb	3,70 Fc	1,24 Fc	1,36 Ec	0,62 Ec	1,12 Dc	1,16 Dc	0,08 Dc
sulf. + amic.	39,93 Da	31,39 EDb	17,77 Fc	4,39 Fd	3,32 FED	1,72 Ed	0,51 Ed	1,38 Dd	0,85 Dd	0,30 Dd
diuron + amic.	31,66 Ea	24,91 Fb	23,01 Eb	10,10 Ec	12,50 Dc	3,39 Ed	2,20 Ed	1,62 Dd	2,02 Dd	0,87 Dd
diuron	76,21 Ch	65,50 Cg	51,36 Dc	24,04 Dd	15,95 De	10,91 Df	9,60 Dgf	5,18 Dfg	2,46 Dh	2,62 Dh
imazapic	92,81 Ba	90,94 Ba	93,89 Ba	73,25 Cb	38,15 Ce	37,72 Ce	38,34 Ce	47,72 Cd	44,78 Cd	62,85 Cc
sulfentrazone	92,48 Ba	95,79 BAa	86,37 Cb	84,04 Bcb	79,87 Bedc	81,53 Bdcb	75,56 Bfe	76,55 Bfe	77,51 Bfed	73,90 Bd

**Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste t (p = 0,10), na coluna.

*Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste t (p = 0,10), na linha.

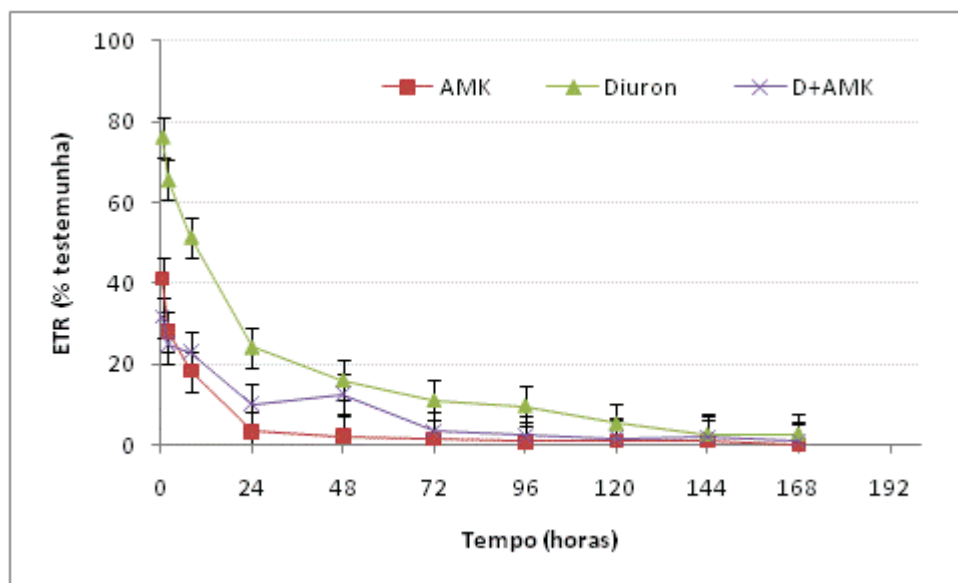


Figura 14. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e diuron isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

Em um trabalho desenvolvido por Dayan et al. (2009) foi monitorado o transporte de elétrons no fotossistema II em plantas de Milho, *Digitaria* sp. e *Abutilon theophrasti* quando submetidas à aplicação de amicarbazone. A taxa de transporte de elétrons (ETR) para *Digitaria* sp. e *Abutilon theophrasti* foi completamente inibida com oito horas após a aplicação do herbicida, enquanto o milho manteve uma redução de aproximadamente 70% do ETR fotossintético com 24 horas após a aplicação do herbicida, sendo o milho mais tolerante ao amicarbazone quando comparado às plantas daninhas. No presente trabalho a inibição para a *B. decumbens* ocorreu 24 horas após a aplicação do amicarbazone e após 120 horas da aplicação do diuron.

Giroto et al. (2010) realizaram um trabalho para avaliar o transporte de elétrons em *B. decumbens* após a aplicação de diuron e isoxaflutole e foi observado que o diuron em apenas 24 horas após a aplicação do herbicida, reduziu o ETR em 100% e o isoxaflutole somente após 72 horas do início da aplicação reduziu 84% do ETR. O isoxaflutole é inibidor da síntese de carotenóide, por isso atingiu de uma forma mais lenta a taxa de transporte de elétrons no fotossistema II.

De acordo com os dados representados na Figura 15 o efeito do herbicida hexazinone sobre o ETR reduziu de forma mais rápida em apenas meia hora após a aplicação observa-se 73,90%, para o amicarbazone 58,81%, e a mistura

(amicarbazone + hexazinone) 73,04% de redução do ETR. Já com oito horas após a aplicação o hexazinone apresentava 96,82% de redução do ETR. Os dados confirmam a eficiência do hexazinone e amicarbazone no controle de *B. decumbens*.

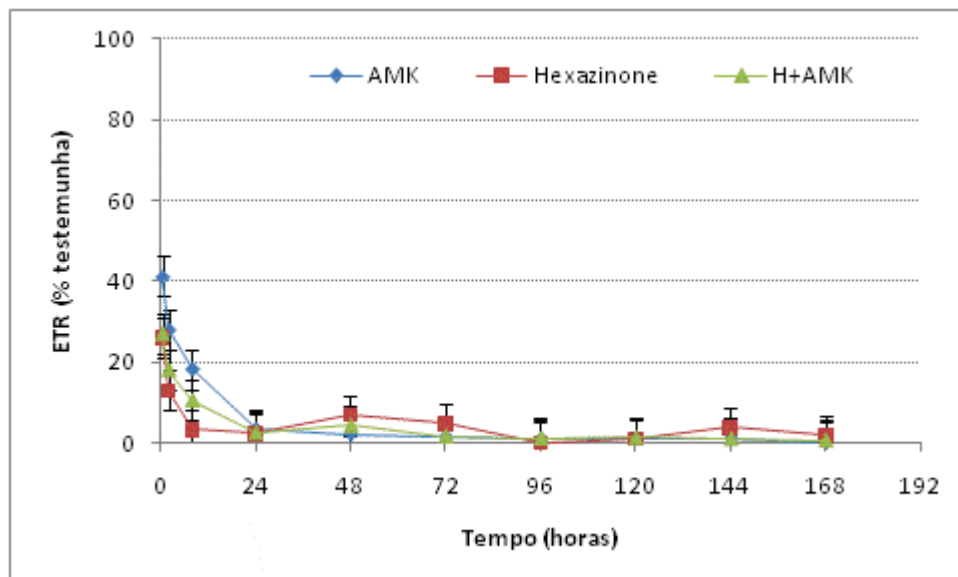


Figura 15. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e hexazinone isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

O comportamento obtido pela mistura de amicarbazone + hexazinone já era previsto, uma vez que ambos são inibidores do fotossistema II, ou seja, atuam inibindo a taxa de elétrons do fotossistema II para o I, consequentemente apresentando um comportamento rápido no ETR.

De maneira geral, não foi observada diferença entre o amicarbazone isolado e em mistura com imazapic. O imazapic aplicado isoladamente só apresentou redução da ETR após 24 horas da aplicação, com 26,75% de redução, sendo que com 48 horas apresentou 61,85% de redução do ETR, e a sequência de avaliações até a avaliação final demonstrou uma recuperação na taxa de transporte de elétrons quando o imazapic foi aplicado isolado (Figura 16). Em projetos futuros é interessante determinar a possível justificativa para recuperação da taxa de elétrons no FSII; é possível que tenha ocorrido tanto o metabolismo do herbicida quanto a migração para outros sítios de locais do mesmo, como a própria ALS, sítio de ação do imazapic.

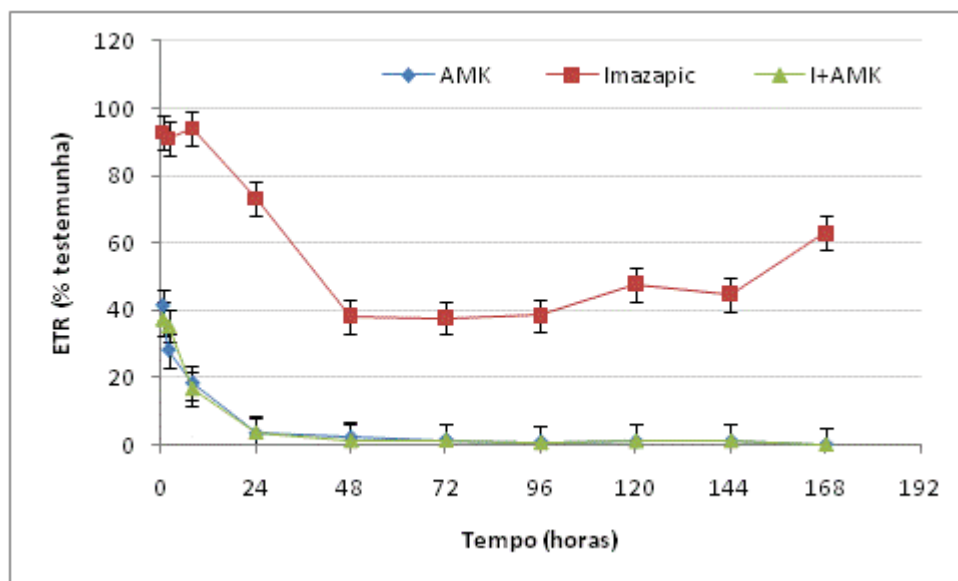


Figura 16. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e imazapic isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

Santos et al., (2010) observou, que aos 20 DAA, o imazapic aplicado isolado não proporcionou efeito satisfatório no controle de *B. decumbens*, já nas avaliações realizadas aos 35 e 50 DAA, o imazapic isolado passou a apresentar controle satisfatório (> 80%), porém o controle desta espécie de planta daninha foi sempre inferior aos observados com a utilização de imazapic em mistura com outros herbicidas.

Os resultados representados na Figura 17 também apresentaram comportamentos similares ao demonstrado na Figura 16, ou seja, o efeito do herbicida sulfentrazone aplicado sem mistura demonstrou que não obteve um efeito satisfatório para reduzir o transporte de elétrons da *B. decumbens* sendo que, após a aplicação e ao longo dos tempos avaliados ele reduziu apenas 26,10% do ETR após 168 horas do início da aplicação, enquanto comparando com o amicarbazone que reduziu aproximadamente 100% do ETR em apenas 24 horas. Observa-se que a mistura do amicarbazone + sulfentrazone, não obteve efeito superior quando aplicados isolados, o efeito dos herbicidas em conjunto apresentou o mesmo comportamento do ETR quando aplicado o amicarbazone isolado, devido ao fato dos herbicidas serem de mecanismo de ação diferentes e não competirem pelo mesmo sitio de ação.

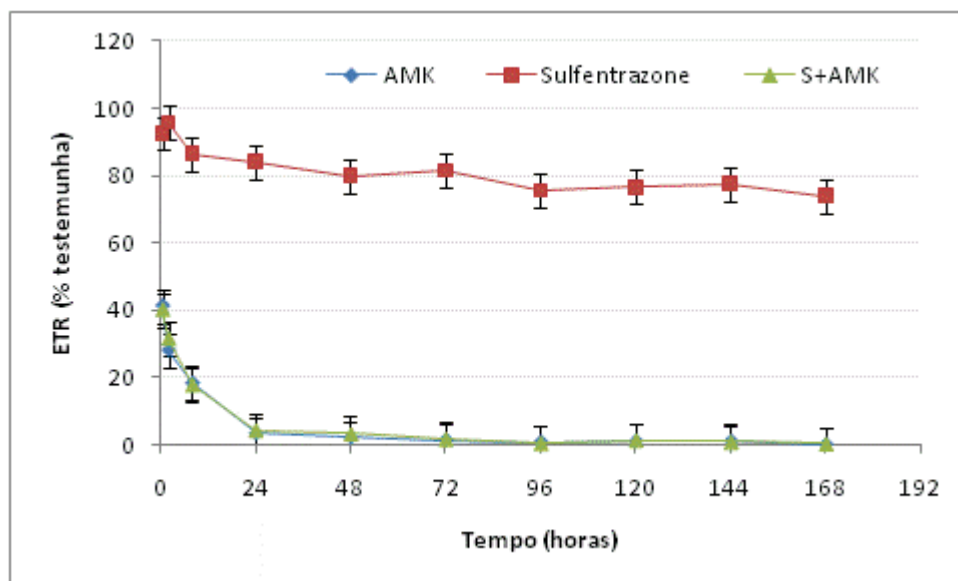


Figura 17: Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e sulfentrazone isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

Pode-se observar na Figura 18 que o amicarbazone quando aplicado em mistura com herbicidas do mesmo mecanismo de ação competem pelo mesmo sitio de ação, com isso acontece o efeito antagônico.

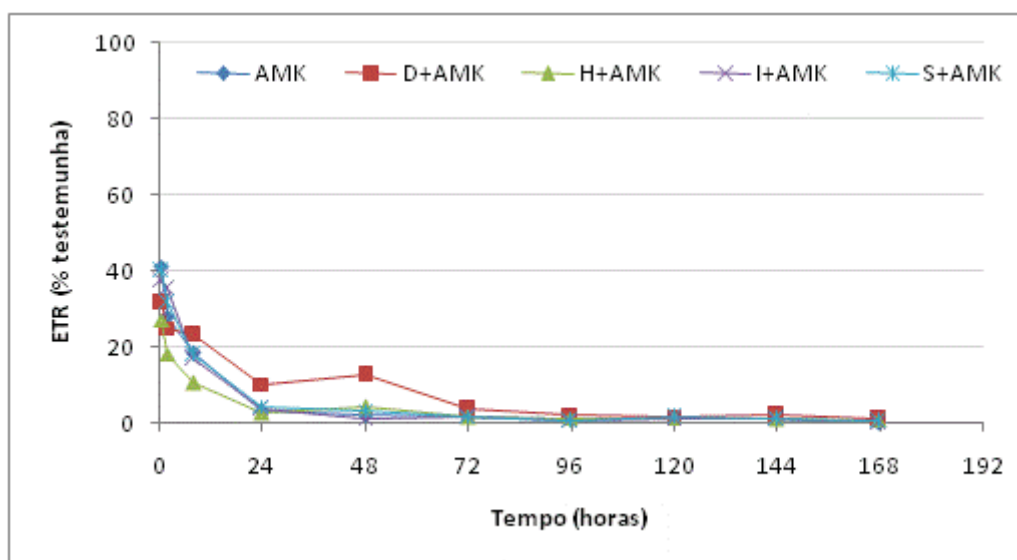


Figura 18. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone isolado e em mistura com diuron, hexazinone, imazapic e sulfentrazone em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *B. decumbens*. Botucatu/SP, 2011.

Analisando a Tabela 7, onde há uma síntese de análise de variância dos dados de ETR, e do teste F, para espécie de *I. grandifolia*, em função dos herbicidas mencionados ao longo do período de avaliação, verifica-se que houve uma diferença significativa a 1% de probabilidade para os tempos e para os herbicidas. Na interação de todos os herbicidas com o tempo, foi constatado diferença significativa entre todos os tratamentos. Na Tabela 8 está apresentado às respostas da taxa de elétrons, em função da interação do tempo após aplicação e herbicidas em pós emergência em *I. grandifolia*

Tabela 7. Síntese da análise de variância do teste de médias para o ETR em *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

Teste F		DMS	CV (%)
Tempo	1.657,05**	51,12	
Herbicida	1.027,23**	64,93	24,49
T x H	41,65**	32,55	

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem, entre si, pelo teste de t, a 10% de probabilidade. NS: Não significativo ($P < 0,05$); *: Significativo ($P < 0,05$); **: Significativo ($P < 0,01$) e CV %: Coeficiente de variação

A espécie de *I. grandifolia* após a aplicação do amicarbazone reduziu rapidamente o transporte de elétrons nas primeiras horas avaliadas, com meia hora após a aplicação já apresentava 46,16% de redução do ETR e após oito horas essa redução do ETR estava com 92,72%, sendo que com 24 horas o ETR demonstrava redução de aproximadamente 100%, as avaliações seguiram até 168 horas sem indício de recuperação do transporte de elétrons (Figura 19).

Tabela 8. Respostas da taxa de transporte de elétrons (ETR), em função da interação do tempo após aplicação e herbicidas utilizados em pré-emergência, em *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

Herbicidas	Tempo (horas)									
	0,5	2	8	24	48	72	96	120	144	168
testemunha	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
hexazinone	41,13 Ga	18,77 Gb	2,87 Ec	0,59 Ec	1,63 Cc	0,77 Cc	0,69 Bc	0,0 Bc	0,0 Bc	0,06 Bc
hexaz. + amic.	50,55 Fa	23,92 Fb	3,50 Ec	0,67 Ec	1,45 Cc	0,91 CBc	0,74 Bc	0,14 Bc	0,07 Bc	0,0 Bc
amicarbazone	53,84 FEa	44,88 Eb	7,28 Ec	2,37 Edc	1,93 Cb	0,75 Cd	0,54Bd	0,80 Bd	0,17 Bd	0,0 Bd
imaz. + amic.	57,42 Ea	49,02 EDb	3,36 Ec	2,14 Ec	1,06 Cc	0,91 CBc	1,42 Bc	0,0 Bc	0,54 Bc	0,33 Bc
sulf. + amic.	58,52 EDa	54,53 Ca	4,12 Eb	1,57 Eb	0,63 Cb	0,0 Cb	0,0 Bb	0,0 Bb	0,0 Bb	0,0 Bb
diuron + amic.	63,36 Da	53,25 DCb	28,53 Dc	5,51 Ed	1,44 Ced	0,96 CBed	1,82 Bed	0,56 Bed	0,32 Be	0,0 Be
diuron	75,64 Ca	52,21 Cb	39,56 Cc	11,13 Dd	8,83 Bed	5,93 Bfe	2,83 Bgf	1,06 Bgf	0,14 Bg	0,0 Bg
imazapic	92,49 Ba	92,92 Ba	74,24 Bb	52,05 Bc	8,51 Bd	4,76 CBed	4,85 Bed	2,83 Be	3,57 Beb	3,52 Bed
sulfentrazone	99,78 Aa	95,65 BAa	76,28 Bb	28,07 Cc	9,87 Bd	0,0 Ce	0,0 Be	0,0 Be	0,0 Be	0,0 Be

***Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste t (p = 0,10), na coluna.

**Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste t (p = 0,10), na linha.

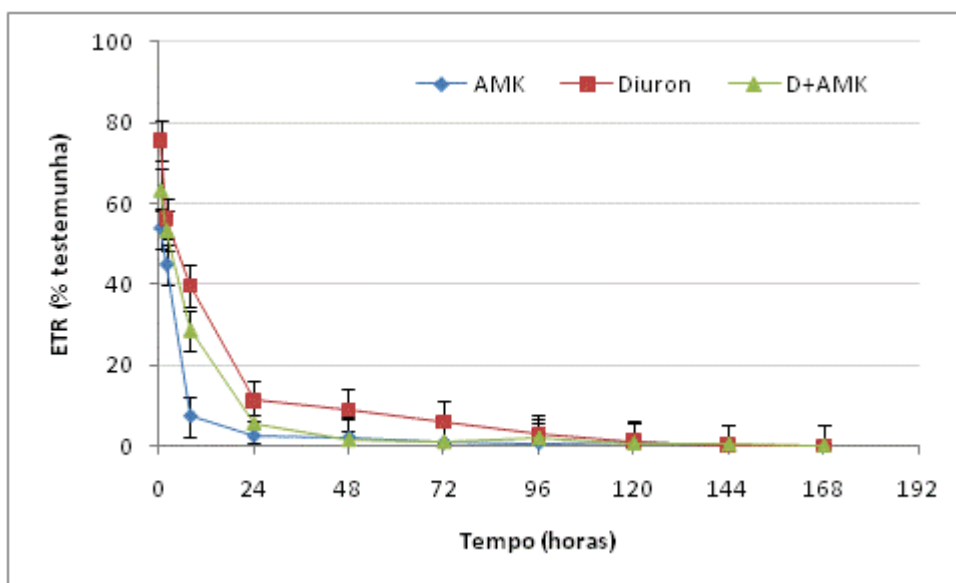


Figura 19. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e diuron isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

Já a aplicação de diuron com meia hora após a aplicação apresentava apenas 25% de redução do ETR sendo que 24 horas (AAH) ocorreu 90% de redução do ETR. Os dois herbicidas (amicarbazone e diuron) aplicados isoladamente demonstraram que a taxa de transporte de elétrons reduziu de maneira mais rápida para o amicarbazone que o diuron, mesmo os dois herbicidas serem inibidores do fotossistema II. A mistura do amicarbazone + diuron demonstrou que foi mais eficiente comparando com a aplicação de diuron isolado, mas não foi mais eficiente que o amicarbazone aplicado sem mistura (Figura 19).

Toledo et al. (2004) relataram que o amicarbazone é absorvido pelo sistema radicular e translocado via xilema. No entanto, o predomínio da absorção foliar ocorre quando aplicado em pós-emergência, promovendo sua ação de contato.

Quando se aplicou amicarbazone + hexazinone (Figura 20), observa-se que o hexazinone reduz o transporte de elétrons de forma mais rápida que o amicarbazone. O hexazinone aplicado sem mistura reduziu em meia hora após a aplicação 60% do ETR, enquanto que, amicarbazone reduziu 54% do ETR e a mistura de amicarbazone + hexazinone reduziu 50%. O hexazinone continuou reduzindo de forma muito rápida, e com duas horas (AAH) apresentava 88% de redução do ETR, e a mistura de amicarbazone + hexazinone, 77% de redução do ETR e o

amicarbazone aplicado isoladamente reduziu 64%. A avaliação realizada com 24 horas (AAH) demonstrou que todos os tratamentos, já apresentavam praticamente 100% de redução do ETR. Os dados apresentados na Figura 20 demonstram a extrema eficiência do hexazinone e amicarbazone para o controle de *I. grandifolia* na fase inicial de desenvolvimento.

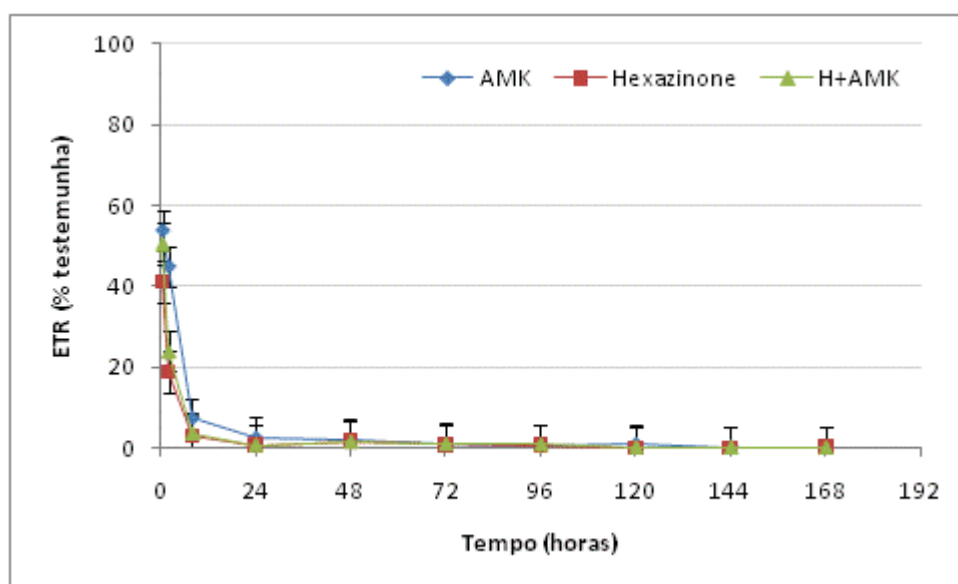


Figura 20. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e hexazinone isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

De maneira geral, não foi observado diferença entre o amicarbazone isolado e em mistura com imazapic, ou seja, os dois herbicidas apresentaram para a espécie de *I. grandifolia* comportamento parecido com a *B. decumbens*, quando aplicado em mistura, apresentando efeito aditivo (Figura 21).

O imazapic aplicado isoladamente apresentou uma redução do ETR, muito lenta comparado com o amicarbazone e a mistura de amicarbazone + imazapic. Enquanto o amicarbazone apresentava 50% de redução do ETR com meia hora (AAH) o imazapic apresentava 10% de redução. Com 24 horas o imazapic ainda apresentava 50% de redução, as avaliações foram mantidas até 162 horas após (AAH) e houve uma redução do ETR apresentado pela aplicação do ETR, mas pode-se observar que foi pelo fato da planta apresentar sintomas de necrose nas folhas, por isso houve essa redução do transporte de elétrons. O imazapic é um

herbicida que causa inibição na síntese de aminoácidos ramificados, através da inibição da enzima Aceto Lactato Sintase, interrompendo a síntese protéica, que interfere na síntese do DNA e no crescimento.

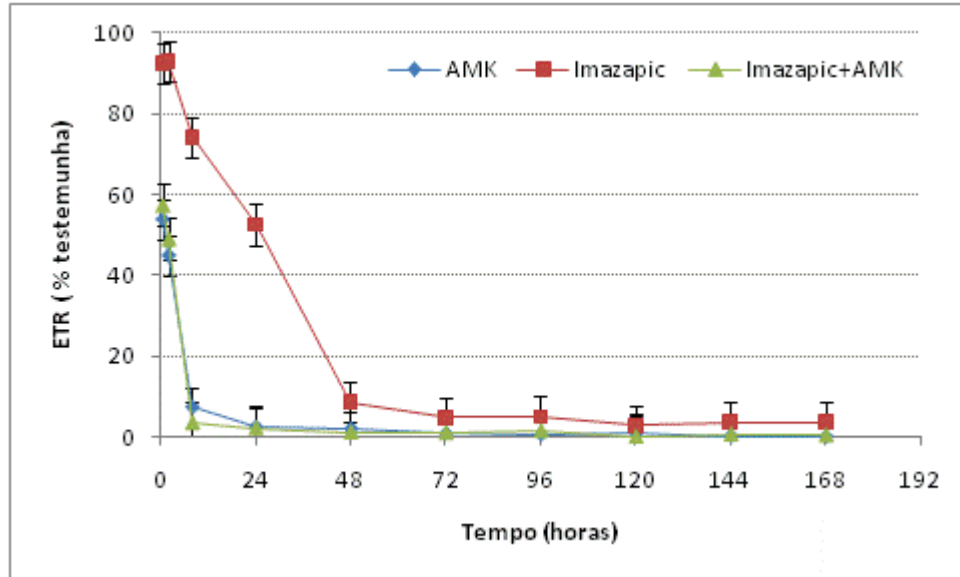


Figura 21. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e imazapic isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

Os resultados encontrados na Figura 22 também apresentaram comportamentos similares aos observados na Figura 21, ou seja, o efeito do herbicida sulfentrazone aplicado sem mistura demonstrou que não teve um efeito satisfatório para reduzir o transporte de elétrons da *I. grandifolia* sendo que, 24 horas (AAH) obteve 30% de redução do ETR e ao longo dos tempos avaliados o ETR obteve redução pelo fato de apresentar sintomas de necrose nas folhas, enquanto comparando com o amicarbazone que reduziu aproximadamente 100% do ETR em apenas 24 horas.

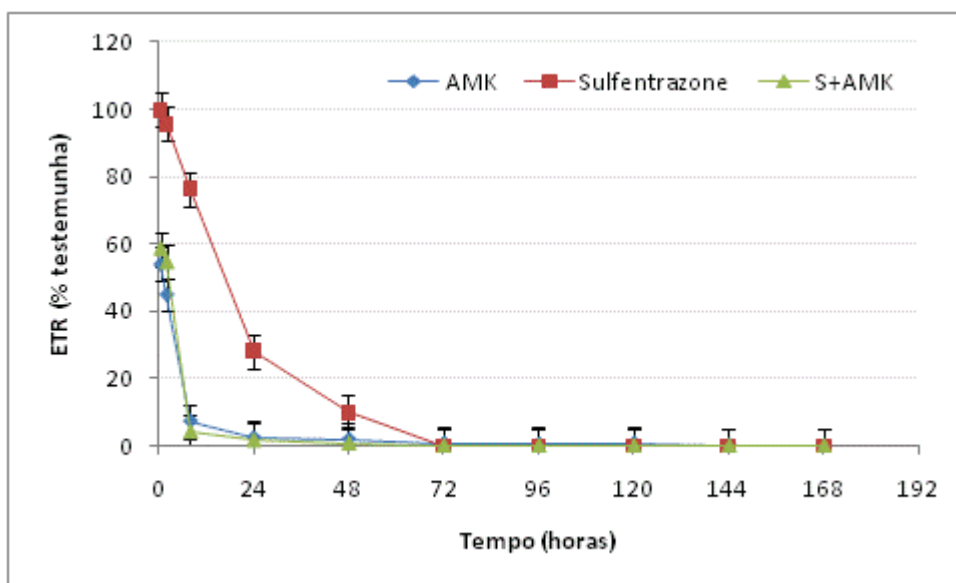


Figura 22. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone e sulfentrazone isolados e em misturas em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

Observa-se que a mistura do amicarbazone + sulfentrazone, não obteve efeito superior quando aplicado isolados, o efeito dos herbicidas em conjunto apresentou o mesmo comportamento do ETR quando aplicado o amicarbazone isolado. O sulfentrazone é inibidor da PROTOX e sua atividade é expressa por necrose foliar nas plantas.

Segundo Ferreira et al., (2005), a protoporfirina IX se acumula muito rapidamente em células de plantas tratadas. Esse acúmulo rápido se deve ao descontrole na rota metabólica de sua síntese. A consequência do descontrole é o aumento rápido do protoporfirinogênio IX, a sua saída para o citoplasma na forma protoporfirina IX, que, na presença de luz e oxigênio, produz a forma reativa do oxigênio, com consequente peroxidação dos lipídios da membrana celular.

Pode-se observar na Figura 23 que a aplicação do amicarbazone em mistura com herbicidas do mesmo mecanismo de ação na espécie de *I. grandifolia* ocorreu o mesmo efeito na aplicação com *B. decumbens*, ou seja, competição pelo mesmo sítio de ação, ocorrendo efeito antagônico causado pela mistura.

Comparando ainda *B. decumbens* e *I. grandifolia* para aplicação isolado do imazapic e sulfentrazone a segunda espécie demonstrou maior sensibilidade aos herbicidas de acordo com o comportamento do ETR.

Korres et al. (2003) investigaram a influência do chlortoluron em duas cultivares de trigo, que se destacavam por exibir diferença na resposta ao herbicida. Com a detecção da fluorescência do PSII foi possível verificar a resposta diferencial do herbicida entre as cultivares de trigo. Yordanova et al. (2001) mostraram também que plantas de tabaco não transgênica (susceptível ao chlortoluron) apresentaram uma maior inibição do transporte de elétrons em relação as plantas transgênicas, plantas essas que se destacavam pela tolerância ao chlortoluron.

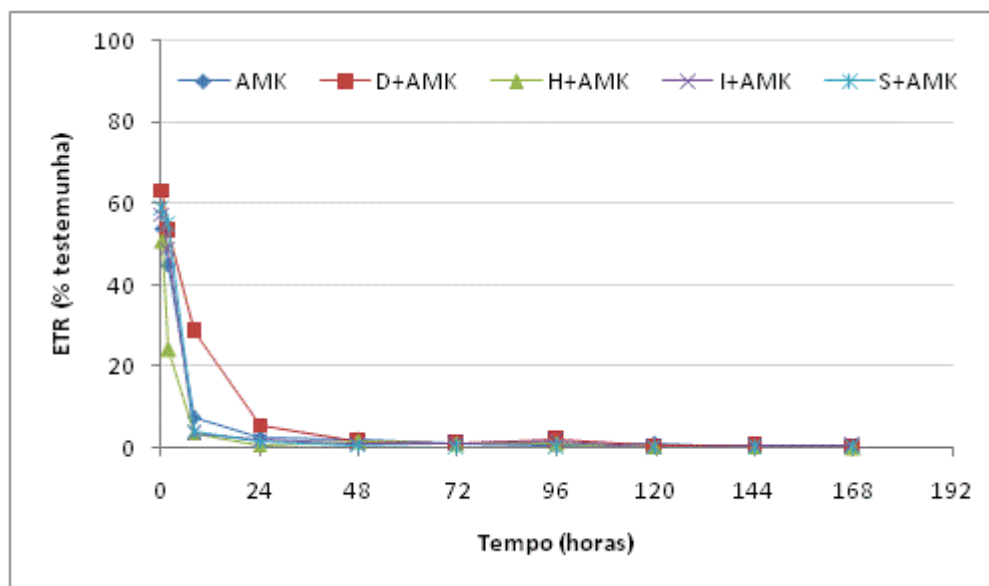


Figura 23. Efeito da aplicação dos herbicidas amicarbazone isolado e em mistura com diuron, hexazinone, imazapic e sulfentrazone em pós-emergência sobre a taxa de transporte de elétrons (ETR) ao longo do tempo para *I. grandifolia*. Botucatu/SP, 2011.

Pode-se observar, aos 7 dias após aplicação (DAA), que todos os tratamentos apresentaram diferença significativa da testemunha para a espécie de *I. grandifolia*. O tratamento com imazapic apresentou menor porcentagem de controle em relação aos demais tratamentos (72% de controle), seguido pelo amicarbazone (77% de controle). Foram constatados efeitos satisfatórios para os tratamentos com sulfentrazone (100% de controle), amicarbazone +

sulfentrazone (100% de controle), seguido pelo diuron e o amicarbazone + imazapic (98% de controle visual). O produto foi aplicado diretamente sobre a planta (Tabela 9). Na sequência está a Figura 24, onde está representado a porcentagem de controle aos 7 DAA.

Tabela 9. Porcentagem de controle de *I. grandifolia* aos 7 dias após a aplicação do herbicida (7DAA). Botucatu/SP, 2011.

Tratamento	Controle (%)
Testemunha	0,0 A
Imazapic	72,50 B
Amicarbazone	77,25 BC
hexazinone	93,75 CD
hexazinone + amicarbazone	94,50 CD
diuron + amicarbazone	97,75 D
Diuron	98,50 D
imazapic + amicarbazone	98,50 D
Sulfentrazone	100,00 D
sulfentrazone + amicarbazone	100,00 D
Teste F	
H	17,35**
CV (%)	17,78

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem, entre si, pelo teste de t, a 10% de probabilidade. NS:

Não significativo ($P < 0,05$); *: Significativo ($P < 0,05$); **: Significativo ($P < 0,01$) e CV %: Coeficiente de variação

Trabalhando em pré-emergência com aplicação de amicarbazone sobre a palha ou no solo na cultura de cana-de-açúcar Toledo et al. (2009), verificaram um ótimo controle de *I. grandifolia* e *M. cissoides* a partir dos 14 DAA, concluído ser uma excelente alternativa para o manejo destas espécies de plantas daninhas em cana crua.

Negrisoni et al., (2007) trabalhando com amicarbazone no controle de *I. grandifolia* em cana-de-açúcar colhida mecanicamente identificou sintomas de intoxicação aos sete dias após a aplicação. Toledo et al., (2009) aos sete dias após a aplicação de amicarbazone em plantas daninhas obteve um controle de 17,5% para *I. grandifolia* e de 5% para *B. decumbens*.

Kraemer et al. (2009) que avaliando atividade residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em arroz, concluíram que, além de resultar em redução de massa da matéria seca, também provocou diminuição no estande de plantas, no perfilhamento, no número de panículas e na estatura de plantas, porém sem afetar o rendimento final de grãos.

A Tabela 10 apresentou a porcentagem de fitointoxicação da *B. decumbens* realizada aos sete (DAA). Nota-se que o tratamento que menos afetou a espécie de *B. decumbens* foi aplicação com imazapic com apenas 63% de fitointoxicação, seguido pelo herbicida amicarbazone 74% de fitointoxicação e o diuron apresentou 91% de fitointoxicação. Apesar do herbicida amicarbazone e diuron aplicados isolados tenham apresentado sua porcentagem de controle inferior aos demais, quando aplicados juntos (amicarbazone + diuron), ocorreu um efeito muito satisfatório comparando com os outros tratamentos (99% de fitointoxicação). Os demais tratamentos apresentaram comportamentos parecidos em relação a porcentagem de fitointoxicação.

Tabela 10. Porcentagem de controle da *B. decumbens* aos 7 dias após a aplicação do herbicida (7DAA). Botucatu/SP, 2011.

Tratamento	Controle (%)
Testemunha	0,0 A
Imazapic	63,75 B
Amicarbazone	74,75 BC
Diuron	91,50 CD
sulfentrazone + amicarbazone	95,00 D
sulfentrazone	95,50 D
imazapic + amicarbazone	96,25 D
Hexazinone	96,50 D
hexazinone + amicarbazone	98,50 D
diuron + amicarbazone	99,25 D
Teste F	
H	18,15**
CV (%)	17,82

* Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem, entre si, pelo teste de t, a 10% de probabilidade. NS: Não significativo ($P < 0,05$); *: Significativo ($P < 0,05$); **: Significativo ($P < 0,01$) e CV %: Coeficiente de variação

Toledo et al. (2009) mencionaram que o amicarbazone aplicado em pré-emergência foi eficaz no controle de *Merremia cissoides*, independentemente da dose avaliada (0,525; 0,700; 0,875; e 1,050 kg ha⁻¹).

Monquero et al. (2009) constataram que a aplicação de trifloxysulfuron + ametryn (37 + 1.463,07 g ha⁻¹) em plantas de *I. grandifolia* com seis folhas definitivas resultou em 90% de controle, aos 90 DAA. Quando em mistura com diuron + hexazinone, houve 100% de mortalidade das plantas.

7. CONCLUSÃO

Nas condições em que foram conduzidos os experimentos foi possível concluir que:

A avaliação da ETR mostrou-se uma metodologia de alta precisão, rápida execução e útil na avaliação da eficácia e seletividade de herbicidas inibidores do FSII, com destaque para o amicarbazone, priorizado neste estudo.

A variedade SP80 3280 apresentou redução de crescimento e as maiores reduções de ETR após a aplicação do amicarbazone.

Para os herbicidas de mesmo sitio de ação foi constatado efeito antagônico da mistura com reduções do efeito na taxa de transporte de elétrons.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Sistemas de informações sobre agrotóxicos. 2009. Disponível em: <http://www4.anvisa.gov.br/AGROSIA/asp/frm_dados_ingrediente.asp?iVarAux=1&CodIng=514>. Acesso em: 12 jul. 2009.

ARALDI, R. **Avaliação da absorção do amicarbazone e intoxicação em cana-de-açúcar e plantas daninhas** 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

ARALDI, R. et al. Consumo de água e fluorescência em *I. grandifolia* após aplicação de glyphosate e diuron. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GLYPHOSATE USO SUSTENTÁVEL, 3., 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fepaf, 2011. p. 225-227.

ASADA, K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 601-639, 1999.

AZANIA, C. A. M.; ROLIM, J. C.; AZANIA, A. A. P. M. Plantas daninhas. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VANCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 465-490.

AZANIA, C. A. M. et al. Seletividade de herbicidas. II. Aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar em época das chuvas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, p. 669-675, 2005.

BACARIN, M. A.; MOSQUIM, P. R. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas de dois genótipos de feijoeiro. **Ciência Agrotécnica**, Panamá, v. 26, p. 705-710, 2002.

BARBER, J. Photosystem two. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1365, p. 269-277, 1998.

BIANCO, S.; TONHÃO, M. A. R.; PITELLI, R. A. Crescimento e nutrição mineral de capim-braquiária. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, p. 423-428, 2005.

BØLHAR-NODENKAMPF, H. R.; OQUIST, G. O. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O. et al. (Eds.). **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, 1993. p.193-206.

BREITENBACH, J.; ZHU, C.; SANDMAN, G. Bleaching herbicide norflurazon inhibits phytoene desaturase by competition with the cofactors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, p. 5270-5272, 2001.

CAMILLERI, P. et al. Structure-activity relationships in the Hill inhibitory activity of substituted phenylureas. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 35, p. 479-483, 1987.

CARBONARI, C. A. **Eficácia do herbicida amicarbazone em aplicação conjunta com a colheita de cana-de-açúcar no controle das principais plantas daninhas da cultura**. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CARBONARI, C. A. **Efeito da palha na disponibilidade do herbicida amicarbazone na solução do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar**. 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CARBONARI, C. A. et al. Eficácia do amicarbazone aplicado em associação com outros herbicidas no controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA

CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p.1936.

CATANEO, A. C.; CARVALHO, J. C. Desintoxicação de herbicidas pelas plantas: transformação química e compartimentalização vacuolar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo fundo: Embrapa Trigo, 2008. 78 p.

CATUNDA, M. G. et al. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, p. 15-121, 2005.

CHAGAS, R. M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

CHIOVATO, M. G. **Controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar com herbicidas aplicados na época seca**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar. **BASF**, Piracicaba, v. 10, p. 12-14, 1997.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Avaliação do desempenho do herbicida amicarbazone isolado e em associação sobre a planta daninha capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 319-322.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Previsão de safra- safra 2011/2012 primeiro levantamento**. São Paulo: CONAB, 2011. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 16 maio 2011.

CONSTANTIN, J. **Avaliação da seletividade do herbicida halosulfuron à cana-de-açúcar**. Botucatu, 1997, 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

CORNIANI, N. et al. Eficiência fotossintética de *Brachiaria decumbens* após a aplicação de glyphosate com diferentes adjuvantes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GLYPHOSATE USO SUSTENTÁVEL. 3., 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fepaf, 2011. p. 297-300.

CORREIA, N. M. et al. Eficácia de herbicidas aplicados nas épocas seca e úmida para o controle de *Merremia aegyptia* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, DF, v. 28, n. 3, p. 631-642, 2010

DARIO, G. J. A.; VICENZO, M. C.; DA SILVA, M. S. F. Avaliação da eficiência do herbicida flazasulfuron no controle de plantas daninhas ocorrentes na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 22, p. 102-106, 1997.

DAYAN, F. E.; TRINDADE, M. L. B.; VELINI, E. D. Amicarbazone, a new photosystem II inhibitor. **Weed Science**, Champaign, v. 57, p. 579-583, 2009.

DINER, B. A.; BABCOCK, G. T. **Structure, dynamics, and energy conversion efficiency in photosystem II**. In: ORT, D. R.; YOCUM, C. F. (Eds.). Oxygenic photosynthesis: the light reactions. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 147-166.

DUCREST, J. M.; GASQUEZ, J. Fluorescence as a means of detecting the chloroplastic resistance of *Cbenopodium album* L. and *Poa annua* L. to atrazine. **Chemosphere**, Oxford, v. 7, p. 691-696, 1978.

FAY, P. K.; DUKE, W. B. An assessment of allelopathic potential in *Avena* germplasm. **Weed Science**, Champaign, v. 5, p. 224-228, 1977.

ELMORE, C. D.; HURST, H. R.; AUSTIN, D. F. Biology and control of morningglories (*Ipomoea* spp.). **Weed Science**, Champaign, v. 5, p. 83-114, 1990.

FERREIRA, E. A. et al. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura Trifloxysulfuron-sodium+Ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, p. 93-99, 2005.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 990, p. 87-92, 1989.

GIMENES, R. Dinamic: o novo herbicida da Hokko do Brasil para cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 22, n. 4, p. 23-24, 2004.

GIROTTTO, M. et al. Monitoramento da taxa de transporte de elétrons no fotossistema II em três espécies de plantas daninhas após à aplicação de diuron e isoxaflutole. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 3086-3090.

GIROTTTO, M. et al. Intoxicação em *I. grandifolia* após aplicação do glyphosate na formulação sal de amônio. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GLYPHOSATE USO SUSTENTÁVEL, 3., 2011, Botucatu. 2011a. **Anais...** Botucatu: Fepaf, 2011. p. 248-250.

GIROTTTO, M. et al. Avaliação da taxa de transporte de elétrons após aplicação dos herbicidas amicarbazone e glyphosate em *Ipomea grandifolia*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GLYPHOSATE USO SUSTENTÁVEL, 3., 2011, Botucatu. 2011. **Anais...** Botucatu: Fepaf, 2011b. p. 265-267.

GRESSEL, J. Synergizing herbicides. **Reviews of Weed Science**, Champaign, v. 5. p. 49-82, 1990.

GUIDI, L.; TANINI, M.; SOLDATINI, G.F. Effects of high light and ozone fumigation on photosynthesis in *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v. 38, p. 717-725, 2000.

HAVAUX, M.; LANNOYE, R. *In vivo* chlorophyll fluorescence and delayed light emissions as rapid screening techniques for stress tolerance in crop plants. **Zeitschrift Pflanzenzucht**, Berlin, v. 95, p. 1-13, 1985.

HERNANDEZ, D. D.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência dos herbicidas imazapic e imazapic + pendimethalin. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 419-426, 2001.

IRELAND, C. R.; PERCIVAL, M. P.; BAKER, N. R. Modification of the induction of photosynthesis in wheat by glyphosate, an inhibitor of amino acid metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v. 37, p. 299-308, 1986.

JORDAN, T. N.; WARREN, G. F. Herbicide combinations and interactions. In: **Herbicide Action Course**. Indiana: Purdue University, 1995. p. 238-254.

KORRES, N. E., FROUD-WILLIAMS, R. J., MOSS, S. R. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid diagnostic test of the effects of the photosynthetic inhibitor chlortoluron on two winter wheat cultivars. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 143, p. 53-56, 2003.

KRAEMER, A. F. et al. Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1660-1666, 2009.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

KRAUSE, G. H.; WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps: a chlorophyll fluorescence study. **Botânica Acta**, Stuttgart, v. 109, p. 456-462, 1996.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores do EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, DF, v. 2, n. 1, p. 139-146, 2000.

KRUSE, N. D. et al. Sinergismo potencial entre herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 569-575, 2001.

LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase / oxygenase specificity factor, dark respiration in the light, excitation distribution between photosystems, alternative electron transport rate, and mesophyll diffusion resistance. **Plant Physiology**, Washington, v. 110, p. 903-912, 1996.

LAZÁR, D. Chlorophyll a fluorescence induction. **Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics**, Washington, v. 1412, n. 1, p. 1-28, 1999.

LU, D.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 50, n. 336, p. 1199-1206, 1999.

MARTINI, G.; DURIGAN, J. C. Influência do teor de água na superfície do solo sobre a eficácia e seletividade do flazasulfuron, na cultura de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 259-267, 2004.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botanic**, Oxford, v. 51, p. 659-668, 2000.

METS, L.; THIEL A. Biochemistry and genetic control of the photosystem II herbicide target site. In BOGER, P.; SANDMANN, G. (Eds.). **Target sites of herbicide action**. Boca Raton: CRC Press, 1989. p. 1-24.

MILES, C. D.; DANNIEL, D. J. A rapid screening technique for photosynthetic mutants of higher plants. **Plant Science Letters**, Oxford, v. 1, p. 227-240, 1973.

MOHANTY, P.; GOVINDJEE, A. The slow decline and the subsequent rise of chlorophyll fluorescence transients in intact algal cells. **Plant Biochemistry and Biotechnology**, Oxford, v. 1, p. 78-106, 1974.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; SANTOS, C. T. D. Glyphosate em mistura com herbicidas alternativos para o manejo de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 375-380, 2001.

NEGRISOLI, E. et al. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 567-575, 2004.

NEGRISOLI, E. et al. Controle de plantas daninhas pelo amicarbazone aplicado na presença de palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, p. 603-611, 2007.

OETTMEIER, W. **Herbicides of photosystem II**. In: BARBER, J. (Eds.). The photosystems: structure, function and molecular biology. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 349-408.

OLBRICH, B. W.; ROUX, D. L. E.; POULTER, A. G. Variation in water use efficiency and $G^{13}C$ levels in *Eucalyptus grandis* clones. **Journal Hydrology**, New York, v. 150, p. 615-633, 1993.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. (Eds.). **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 291-314.

PATTI, G. P. et. al. Influência da disponibilidade de água no solo na eficiência agronômica do amicarbazone. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2005, Gramado. **Resumos...** Gramado: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2005. p. 656.

PEDRINHO, A. F. F.; DURIGAN, J. C. Controle de capim-colonião na cultura da cana-de-açúcar com herbicidas aplicados em pré-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, DF, v. 2, n. 3, p. 125-131, 2001.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 23, p. 16-27, 1985.

PEREWOSKA, I. et al. S₁ destabilization and higher sensitivity to light in metribuzin-resistant mutants. **Plant Physiology**, Oxford, v. 104, p. 235-245, 1994.

PFISTER, K. et al. Photoaffinity labeling of a herbicide receptor in chloroplast membranes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 78, p. 981-985, 1981.

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

PROCÓPIO, S. O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003. 150 p.

RENGER, G. Water cleavage by solar radiation-An inspiring challenge of photosynthesis research. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 38, p. 229-247, 1993.

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 1189-1202, 2004.

RICHARD JUNIOR, E. P. et al. Determination of herbicide inhibition of photosynthetic electron transport by fluorescence. **Weed Science**, Champaign, v. 31, p. 361-367, 1983.

RINALDI, E. B.; BALAN, M. G.; SILVA, C. M. Influência dos herbicidas hexazinone+diuron e clomazone na produtividade e qualidade tecnológica da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 14-19, dez. 2010.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2005. 592 p.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, Prague, v. 40, v. 1, p. 13-29, 2002.

ROSSI, C. V. S. **Dinâmica e eficácia no controle de plantas daninhas pelo herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar**. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia vegetal**. México: Iberoamérica, 1994. 758 p.

SANTOS, G. et al. Influência da palha de cana-de-açúcar na eficácia e seletividade de herbicidas aplicados à cana-soca no período seco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 1786-1789.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SCHULZE, E.D. CALDWELL, M. M. (Eds.). **Ecophysiology of photosynthesis**, New York: Springer Verlag, 1994. p. 49-70.

SKÓRSKA, E.; MURKOWSKI, A. Comparison of susceptibility of crop oat cv. AKT and wild oat leaves to Dicuran 80 WP in mixture with two adjuvants, measured by chlorophyll fluorescence. **Acta Agrophysica**, Lublin, v. 14, p. 463-468, 2009.

SILVA, A. A. et al. **Controle de plantas daninhas**. Brasília, DF: ABEAS, 2003. 260 p.

SILVA, I. A. B. et al. Interferência de uma comunidade de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* na cana-soca. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 265-272, 2009.

SIQUERI, F. V. Controle de ervas daninhas em pré-emergência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. p. 4.

SOUZA, J. R. et al. Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 873-884, 2009.

SUGIHARTO, B. Biochemical and molecular studies on sucrose-phosphate synthase and drought inducible-protein in sugarcane (*Saccharum officinarum*) **Journal Ilmu Dasar**, Malaysia. v. 5, p. 62-67, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

TISCHER, W.; STROTMANN, H. Relationship between inhibitor binding by chloroplasts and inhibition of photosynthetic electron transport. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 460, p. 113-125, 1977.

TOLEDO, R. E. B. et al. Dinamic (amicarbazone) - novo herbicida seletivo para o controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBCPD, 2004. p. 451.

TORRES NETTO, A. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Oxford, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

TREBST, A. The topology of the plastoquinone and herbicide binding peptides of photosystem II in the thylakoid membrane. **Zeitschrift Naturforschung**, Dublin, v. 41, p. 240-245, 1986.

VAN OORSCHOT, J. L. P.; VAN LEEUWEN, P. H. Use of fluorescence induction to diagnose resistance of *Alopecurus myosuroides* Huds. (black-grass) to chlortoluron. **Weed Research**, Oxford, v. 32, p. 473-482, 1992.

VELINI, E. D. et al. Avaliação dos efeitos de doses de herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre crescimento e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) cv. SP 71-1406. **STAB**, Santa Maria, v. 10, p. 13-16, 1992.

VELINI, E. D. et al. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré e pós emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 18, p. 123-134, 2000.

VELTHUYS, B. R. Electron-dependent competition between plastoquinone and inhibitors for binding to photosystem II. **FEBS Letters**, Amsterdam, v. 126, p. 277-281, 1981.

VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana-de-açúcar. **Visão Agrícola**, Brasília, DF, p. 32-37, 2004.

YAMAMOTO, Y. Quality control of photosystem II. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 42, p. 121-128, 2001.

YORDANOVA, E. et al. Influence of the herbicide chlortoluron on photosynthetic activity in transgenic tobacco plants. **Photosynthetica**, Prague, v. 39, p. 313-316, 2001.

YOUNG, A. L.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, Oxford, v. 36, p. 3-15, 1996.

WIXSON, M. B.; SHAW, D. R. Use of AC 263,222 for sicklepod (*Cassia obtusifolia*) control in soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, Champaign, v. 5, p. 276 -279, 1991.