

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal



Dissertação

Saflufenacil: fisiologia da atividade herbicida e efeito de sua mistura com imidazolinonas na seletividade e no controle de plantas daninhas no arroz irrigado

Ânderson da Rosa Feijó

Pelotas, 2016

Ânderson da Rosa Feijó

Saflufenacil: fisiologia da atividade herbicida e efeito de sua mistura com imidazolinonas na seletividade e no controle de plantas daninhas no arroz irrigado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fisiologia Vegetal.

Orientador: Ph.D. Luis Antonio de Avila

Coorientadores: Ph.D. Edinalvo Rabaioli Camargo

Dr. Nelson Diehl Kruse

Dr. Valmor João Bianchi

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F297s Feijó, Ânderson da Rosa

Saflufenacil : fisiologia da atividade herbicida e efeito de sua mistura com imidazolinonas na seletividade e no controle de plantas daninhas no arroz irrigado / Ânderson da Rosa Feijó ; Luis Antonio de Avila, Edinaldo Rabaioli Camargo, orientadores ; Nelson Diehl Kruse, Valmor João Bianchi, coorientadores. — Pelotas, 2016.

70 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Interação. 2. Imidazolinona. 3. Saflufenacil. 4. Estresse oxidativo. I. Avila, Luis Antonio de, orient. II. Camargo, Edinaldo Rabaioli, orient. III. Kruse, Nelson Diehl, coorient. IV. Bianchi, Valmor João, coorient. V. Título.

CDD : 633.18

Banca Examinadora:

Dr. André Andres

Dr. Sidnei Deuner

Ph.D. Luis Antonio de Avila (Orientador)

Aos meus pais João Carlos e Isabel Cristina;

Aos meus irmãos Andrei e Henrique,

DEDICO E OFEREÇO

*“O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano,
mas sem ela o oceano seria menor.”*

Madre Tereza de Calcutá

Agradecimentos

Agradeço a Deus, pela vida e por sempre de alguma maneira me fortalecer e me guiar pelo melhor caminho.

Aos meus pais, João Carlos Tavares Feijó e Isabel Cristina da Rosa Feijó, que sempre me incentivaram para seguir a vida acadêmica, pelo fundamental suporte que proporcionaram as conquistas na minha vida, são a minha base e exemplos de perseverança.

Aos meus irmãos, Andrei e Henrique da Rosa Feijó, por fazerem parte da minha vida, com certeza foram um incentivo durante toda essa caminhada.

A Natasha, por todo incentivo, fundamentalmente na etapa final desta caminhada, pelo carinho e compreensão, sempre.

Aos meus familiares que direta ou indiretamente foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, professor Luis Antonio de Avila, pela confiança, conhecimentos transmitidos, orientação fundamental para a execução deste trabalho e de grande valia para minha formação.

Aos coorientadores, professor Edinaldo Rabaioli Camargo, Nelson Diehl Kruse e Valmor João Bianchi, pela fundamental contribuição durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, por todo aprendizado e ensinamentos transmitidos, com certeza foram todos muito importantes na minha formação.

Aos amigos e colegas da Fisiologia Vegetal, pelo incentivo, carinho, aprendizado e convívio espetacular em todos esses anos de "Fisiologia".

Aos colegas, alunos da pós-graduação e graduação, do Laboratório de Dinâmica de Herbicidas, pelas novas amizades construídas, que levarei para sempre comigo, agradeço pela ajuda, convívio e aprendizado durante o desenvolvimento do trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal pela oportunidade de continuar a minha formação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado, e apoio financeiro para a execução deste trabalho.

Aos demais que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

FEIJÓ, Ânderson da Rosa. **Saflufenacil: fisiologia da atividade herbicida e efeito de sua mistura com imidazolinonas na seletividade e no controle de plantas daninhas no arroz irrigado**. 2016. 70f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas.

No cultivo do arroz irrigado as plantas daninhas que apresentam maior importância são: o arroz daninho e capim-arroz. O controle químico é atualmente o principal método de controle destas plantas daninhas. A utilização de cultivares tolerantes aos imidazolinonas possibilita um controle seletivo. A mistura de herbicidas pode proporcionar inúmeras vantagens como redução das doses aplicadas e aumento do espectro de ação. Saflufenacil um herbicida relativamente novo apresenta potencial para ser aplicado em mistura com outros herbicidas. Além disso, ele é indicado para aplicação em pré-emergência com ação residual no solo. O objetivo deste estudo foi verificar a eficiência no controle de arroz daninho e capim-arroz; a seletividade ao arroz irrigado, com o uso de misturas em tanque entre imazapyr+imazapic e saflufenacil; avaliar as interações de misturas entre os dois herbicidas em plantas de arroz daninho, bem como, avaliar possíveis alterações no metabolismo antioxidante durante a germinação em função da aplicação de saflufenacil. Para atingir esses objetivos, foram conduzidos três experimentos; O experimento I foi realizado em campo, utilizou-se o cultivar Puitá INTA CL, os tratamentos foram compostos por aplicação isolada e em misturas de imazapyr+imazapic e saflufenacil. O experimento II foi realizado em casa de vegetação, onde foram aplicados imazapyr+imazapic e saflufenacil, isolados e em misturas, sendo que cada mistura foi constituída sempre por ao menos uma subdose dos herbicidas. Os resultados de controle, redução da estatura de plantas e matéria seca da parte aérea de arroz daninho, foram analisados pelo Método de Colby para verificar o efeito de interação. No experimento III, sementes de soja foram colocadas para germinar em presença de água ou solução herbicida de saflufenacil, e incubadas no escuro ou expostas à luz (fotoperíodo de 14h), seis dias após, avaliou-se as alterações no metabolismo antioxidante e quantificou-se o extravasamento de eletrólitos. Os resultados do experimento I mostraram que saflufenacil não interferiu no percentual de controle de imazapyr+imazapic em capim-arroz e arroz daninho, além de não acarretar perda de produtividade na cultura do arroz. A menor dose de imazapyr+imazapic ($36,75+12,25$ g e.a. ha^{-1}), isolada e em mistura proporcionou baixo nível de controle destas duas plantas daninhas, reduzindo a produtividade. No experimento II foi constatado um maior número de misturas com efeito de aditividade na interação entre os dois herbicidas. Resultados do experimento III mostram que ocorreu um incremento na atividade da SOD na luz e no escuro em diferentes doses de saflufenacil, maior atividade da CAT na dose de $3,0$ μM na luz e no escuro e incremento da APX com $3,0$ μM na luz e $6,0$ μM na luz e escuro. Os teores de H_2O_2 foram maiores com saflufenacil na presença de luz, MDA foi elevado apenas na dose de $6,0$ μM sob luz. O maior extravasamento de eletrólitos foi observado nos

tratamentos com saflufenacil expostos à luz. Os resultados mostram que saflufenacil pode ser utilizado em mistura com imazapyr+imazapic no arroz irrigado, podendo ampliar o espectro de controle de plantas daninhas da cultura sem causar perdas de produtividade. Na ausência de luz saflufenacil causa incremento na atividade do sistema antioxidante, mas não proporciona danos às membranas celulares.

Palavras-chave: Interação. Imidazolinona. Saflufenacil. Estresse oxidativo.

Abstract

FEIJÓ, Ânderson da Rosa. **Saflufenacil: physiology of herbicide activity and effect of mixture with imidazolinone selectivity and weed control in irrigated rice**. 2016. 70f. Dissertation (Master degree) – Programa de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas.

In irrigated rice weeds with the greatest importance they are: weedy rice and barnyardgrass. Chemical control is currently the main method of control of these weeds. The use of cultivars tolerant to imidazolinones allows selective control. The mixture of herbicides can provide many advantages such as reduction of the amount applied and increased spectrum of action. Saflufenacil a relatively new herbicide has the potential to be applied in tank mixture with other herbicides. Moreover, it presents a recommendation for application in pre-emergence residual action in the soil. The objective of this study was to determine the effects on weedy rice control and barnyardgrass; and selectivity to rice by applying mixtures of imazapyr+imazapic with saflufenacil; evaluating the interactions between mixtures of two herbicides in weedy rice plants, as well as to assess possible changes in antioxidant metabolism during germination depending on the application saflufenacil. To achieve these goals, three experiments were conducted; The first experiment was carried out in the field, used the cultivar Puitá INTA CL, the treatments were applied alone and in mixtures of imazapyr + imazapic with saflufenacil. The second experiment was conducted in a greenhouse, where they were applied imazapyr+imazapic and saflufenacil, alone and in mixtures, each mixture was always consists of at least one sub-dose of herbicides. The results of control, reduced height and shoot dry mass of weedy rice were analyzed by Colby's Method to check the effect of interaction. In the experiment III, soybean seeds were germinated in the presence of water or solution herbicide saflufenacil, and incubated in the dark or exposed to light (photoperiod of 14h), six days after was evaluated the changes in antioxidant metabolism and quantified the electrolyte leakage. The results of experiment I show that saflufenacil doesn't interfere in the percentage of imazapyr + imazapic control in barnyardgrass and weedy rice, besides not causing loss of productivity in the rice crop. The lowest dose imazapic+imazapyr (36.75 + 12.25 g a.e. ha⁻¹), alone and in mixture provided low level control of two weeds, reducing productivity. In experiment II was observed a greater number of mixtures additivity effect on the interaction between the two herbicides. Experiment III results show that there was an increase in the activity of SOD in the light and in the dark at different doses of saflufenacil, higher CAT activity at a dose of 3,0 µM in light and dark and increased APX with 3,0 µM in the light and 6,0 µM in light and dark. The H₂O₂ levels were higher with saflufenacil in the presence of light, MDA was raised only at the dose of 6,0 µM under light. The highest electrolyte leakage was observed in treatments with saflufenacil exposed to light. The results show that saflufenacil may be used in tank mixture with imazapyr+imazapic in irrigated rice, which can extend the weed control spectrum culture without causing productivity losses. In the absence of light saflufenacil causes increased activity of the antioxidant system, but doesn't give damage to cell membranes.

Keywords: Interaction. Imidazolinone. Saflufenacil. Oxidative stress.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Percentual de controle de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> spp.) em função da aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic e saflufenacil aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2015/16.....	23
Tabela 2 - Percentual de controle de arroz daninho (<i>Oryza sativa</i>) em função da aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic e saflufenacil aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2015/16.....	24
Tabela 3 - Número de panículas por metro quadrado (NPAN), peso de mil grãos (PMG), número de grãos por panículas (NGP), percentual de esterilidade das espiguetas (EST) e produtividade de grãos do cultivar Puitá INTA CL. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2015/16.....	28
Tabela 4 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão, 2016.	35
Tabela 5 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 14 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão, 2016.....	36
Tabela 6 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão, 2016.....	38
Tabela 7 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão, 2016.....	39
Tabela 8 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão, 2016.....	40
Tabela 9 - Percentuais observados e esperados de redução da estatura de plantas de arroz daninho em função da aplicação em pós-emergência de misturas de imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2016.	42
Tabela 10 - Percentuais observados e esperados de massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) de plantas de arroz daninho em função da aplicação em pós-emergência de misturas de imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2016.	43

Lista de Figuras

- Figura 1. Atividade da enzima SOD em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○) submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.....52
- Figura 2. Atividade da enzima CAT em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.....53
- Figura 3. Atividade da enzima APX em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.....54
- Figura 4. Teor de H₂O₂ em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.55
- Figura 5. Conteúdo de MDA de plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.56
- Figura 6. Extravasamento de eletrólitos em cotilédones de plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.57

Sumário

1.	INTRODUÇÃO GERAL	13
2.	CAPÍTULO 1 - Controle de capim-arroz, arroz daninho e a seletividade e produtividade do arroz irrigado submetido à aplicação de mistura de saflufenacil e imazapyr+imazapic em pós-emergência.....	18
2.1.	Introdução	18
2.2.	Materiais e Métodos	20
2.3.	Resultados e Discussão	21
2.4.	Conclusões.....	30
3.	CAPÍTULO 2 - Avaliação da interação entre imazapyr+imazapic e saflufenacil no controle de arroz daninho.....	31
3.1.	Introdução	31
3.2.	Materiais e Métodos	33
3.3.	Resultados e Discussão	34
3.4.	Conclusões.....	45
4.	CAPÍTULO 3 - Alterações no metabolismo antioxidante em sementes de soja durante a germinação em função da aplicação de saflufenacil em condições de luz e escuro	46
4.1.	Introdução	46
4.2.	Materiais e Métodos.....	47
4.3.	Resultados e Discussão	51
4.4.	Conclusões.....	58
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO GERAL

O arroz uma planta pertencente à família Poaceae e ao gênero *Oryza* (CHATURVEDI et al., 1998) começou a ser cultivado há aproximadamente 10.000 anos (GRISP, 2013), destacando-se a espécie *Oryza sativa* L. como uma das fontes de alimentos mais importantes para a nutrição humana (ZHANG et al., 2014), servindo como base alimentar para mais de três bilhões de pessoas (SOSBAI, 2014). Além disso, toda cadeia de produção de arroz também se destaca como uma das mais importantes atividades econômicas do mundo (GRISP, 2013).

No ano de 2014 a cultura do arroz apresentou a terceira maior produção dentre os cultivos em todo mundo, atingindo a marca de aproximadamente 740 milhões de toneladas, ficando atrás somente da cana-de-açúcar e do milho (FAO, 2016). O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz, atingindo uma produção de 12,5 milhões de toneladas de grãos no ano de 2015. O Estado do Rio Grande do Sul é responsável pela maior produção desta cultura no país, com uma produção de 8,7 milhões de toneladas de grãos, equivalente a 69,5% do total produzido (IRGA, 2016).

Tanto fatores abióticos entre eles, irradiação, água, temperatura e nutrientes, como fatores bióticos, destacando-se a ocorrência de plantas daninhas, pragas e fitopatógenos podem interferir causando importantes perdas de produtividade das culturas (OERKE, 2006). No cultivo do arroz, regularmente as plantas daninhas, pragas e fitopatógenos apresentam importância econômica, possuindo um potencial para causarem perdas de produtividade em torno de 35%, 24% e 16%, respectivamente (OERKE; DEHNE, 2004).

No cultivo do arroz irrigado as plantas daninhas destacam-se como sendo um dos principais fatores limitantes de produtividade desta cultura, principalmente

quando existe a interferência de plantas daninhas adaptadas a solos inundados (AGOSTINETTO et al., 2010; MATZENBACHER et al., 2013).

Dentre as espécies que causam maiores perdas na produtividade da cultura estão, o arroz daninho (*Oryza sativa*) (VILLA et al., 2006; SHIVRAIN et al., 2010; MENEZES et al., 2013; KALOUMENOS et al., 2013; SUDIANTO et al., 2013; CHAUHAN, 2013) e o capim-arroz (*Echinochloa* spp.) (GALON et al., 2005; RAO et al., 2007; OTTIS; TALBERT, 2007; AGOSTINETTO et al., 2010). De todos os métodos de controle de plantas daninhas na cultura do arroz, o controle químico é um dos mais utilizados, devido a algumas vantagens como a praticidade, maior eficiência e rapidez (ERASMO et al., 2004; CONCENÇO et al., 2006; PACANOSKI; GLATKOVA, 2009; SOSBAI, 2014).

Uma importante e eficiente alternativa para o controle de arroz daninho e outras espécies associadas ao cultivo de arroz é a utilização de genótipos de arroz tolerantes aos herbicidas do grupo das imidazolinonas (Sistema Clearfield®), que possibilita o controle seletivo das plantas daninhas (BURGOS et al., 2008; MARCHESAN et al., 2011; AZMI et al., 2012; MENEZES et al., 2013; SOSBAI, 2014). Esta tolerância aos herbicidas imidazolinonas foi desenvolvida por mutação induzida pelo agente químico EMS (Etilmetanosulfonato) (CROUGHAN, 1994).

Atualmente no Rio Grande do Sul, em cerca de 65% da área semeada são utilizadas sementes de cultivares tolerantes aos herbicidas imidazolinonas (IRGA, 2016), sendo que no estado são recomendados dois herbicidas para o sistema Clearfield®, o herbicida Only®, composto pela mistura formulada dos herbicidas imazethapyr+imazapic, nas concentrações de 75 e 25g i.a. L⁻¹, respectivamente e o herbicida Kifix®, que é composto pela mistura formulada dos herbicidas imazapyr+imazapic, nas concentrações de 525 e 175g e.a. kg⁻¹, respectivamente (SOSBAI, 2014).

Os herbicidas deste grupo químico apresentam um amplo espectro de controle de plantas daninhas, a absorção ocorre tanto pelas raízes, quanto pelas folhas das plantas e o transporte é via floema e xilema. As imidazolinonas atuam inibindo a atividade da enzima acetolactato sintase (ALS) também conhecida como acetohidroxiácido sintase (AHAS), uma enzima essencial na rota de síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina, acarretando na inibição da síntese de proteínas e conseqüentemente interferindo na síntese de

DNA, que por fim afeta a divisão celular (TAN et al., 2005; KRAEMER et al., 2009; RECK, 2013).

Apesar dos dois herbicidas recomendados apresentarem eficiente controle sobre as principais plantas daninhas do arroz irrigado, tanto espécies monocotiledôneas, como dicotiledôneas (SOSBAI, 2014), a aplicação de outro herbicida em mistura no tanque pode proporcionar alguns benefícios, tais como, o aumento do espectro de plantas daninhas controladas, melhoria no controle de determinada espécie, redução das doses recomendadas, redução de custos de aplicação e ainda retardar o desenvolvimento de biótipos resistentes (STREIBIG et al., 1998; MACHADO et al., 2006). Não obstante, o uso contínuo do Sistema Clearfield®, pode acarretar no surgimento de populações de arroz daninho resistentes aos herbicidas do grupo das imidazolinonas, devido à utilização repetida de herbicidas do mesmo grupo químico ou mecanismo de ação (MENEZES et al., 2009).

Visando complementar a ação dos herbicidas empregados no Sistema Clearfield® e reduzir a pressão de seleção de plantas daninhas resistentes na cultura do arroz, o herbicida saflufenacil surge como uma alternativa potencial para ser utilizado em mistura com herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. Moura et al. (2015), reportaram que saflufenacil pode ser utilizado na cultura do arroz irrigado para o controle de biótipos de *Sagittaria montevidensis* que apresentam resistência múltipla aos herbicidas inibidores da ALS e do Fotossistema II.

Saflufenacil é recomendado para controle de plantas daninhas de folhas largas na cultura do arroz, trigo, milho, cana-de-açúcar, soja, entre outras (AGROFIT, 2016). Este herbicida pertence ao grupo químico das Pirimidinadionas, atua inibindo a enzima Protoporfirinogênio IX oxidase (PROTOX), a absorção ocorre tanto pelas raízes quanto pelas folhas e a translocação ocorre principalmente via xilema, pois possui baixa mobilidade no floema (LIEBL et al., 2008; SOLTANI et al., 2009; KNEZEVIC et al., 2010).

A enzima Protox é encontrada em cloroplastos e mitocôndrias de células vegetais, essa enzima atua na rota de biossíntese das clorofilas e grupos heme, (LERMONTOVA; GRIMM, 2000; KNEZEVIC et al., 2009, 2010; DAYAN; WATSON, 2011; MATZENBACHER et al., 2014) catalisando a oxidação de protoporfirinogênio IX para protoporfirina IX, com a inibição desta enzima ocorre o acúmulo de protoporfirinogênio IX no cloroplasto, em consequência deste acúmulo há difusão

deste composto para o citosol, onde o protoporfirinogênio IX também é oxidado a protoporfirina IX, porém no citosol as enzimas da via de biossíntese da clorofila não estão disponíveis, acarretando no acúmulo de protoporfirina IX (GEOFFROY et al., 2002), que interage com a luz e o oxigênio molecular gerando espécies reativas de oxigênio (EROs), como o oxigênio singlet, que provocam a peroxidação lipídica e danos às membranas (HESS, 2000). Com isso ocorre uma rápida perda da integridade das membranas, ocasionando o extravasamento celular, necrose dos tecidos e conseqüentemente, a morte da planta (KNEZEVIC et al., 2009; GROSSMANN et al., 2011).

Segundo Camargo et al. (2012a), saflufenacil proporciona uma maior absorção e translocação de imazethapyr em plantas de arroz daninho, assim como, imazethapyr causou um incremento na absorção de saflufenacil em *Sesbania exaltata*. Trabalho realizado por Montgomery et al. (2015), mostrou um aumento no controle de *Echinochloa crus-galli* utilizando imazethapyr em mistura com saflufenacil, quando comparado ao controle obtido com imazethapyr sozinho. No entanto, por se tratar de um herbicida relativamente novo no mercado brasileiro, há pouca pesquisa realizada com a combinação de saflufenacil e imazapyr+imazapic, nas condições de produção de arroz irrigado no Brasil.

Além da utilização em misturas com aplicação em pós-emergência, saflufenacil pode ser aplicado em pré-emergência. No entanto, a maioria dos inibidores da Protox são recomendados para aplicação em pós-emergência, com as plantas daninhas em estágio inicial de desenvolvimento, sendo que com algumas exceções, por exemplo sulfentrazone, os inibidores da protox não apresentam atividade em pré-emergência e possuem pouca atividade residual no solo (DAYAN; DUKE, 2010).

Em ensaios para analisar o modo de ação de saflufenacil Grossmann et al. (2010), apresentaram resultados que comprovaram que o saflufenacil é um herbicida inibidor da Protox e conseqüentemente ocasiona a peroxidação lipídica quando na presença de luz, além disso, quando as alterações do perfil metabólico de plantas tratadas com saflufenacil foram comparadas com alterações causadas por diversos outros herbicidas com mecanismos de ação conhecidos, os resultados mostraram uma semelhança muito forte com inibidores da protox, seguido por uma fraca similaridade de perfil com herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS), 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), fotossistema II (PSII), entre outros.

Como o saflufenacil é indicado em aplicações de pré-emergência, pode controlar plantas daninhas problemáticas em diversas culturas (LIEBL et al., 2008), é importante verificar se nestas aplicações este herbicida, pode desencadear alterações no metabolismo de plântulas, antes mesmo da emergência na superfície do solo e conseqüentemente sem o contato direto com a luz solar.

Sendo assim, as hipóteses são que: Saflufenacil aplicado em mistura com imazapyr+imazapic em pós-emergência incrementa o controle de arroz daninho e capim-arroz, sem causar perdas de produtividade na cultura do arroz irrigado; A utilização de misturas de subdoses de saflufenacil e/ou imazapyr+imazapic proporciona sinergismo para controle de arroz daninho; e por fim, saflufenacil apresenta atividade herbicida sem a presença de luz. Portanto, os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de controle de arroz daninho e capim-arroz e as respostas de um cultivar de arroz tolerante aos imidazolinonas em função da aplicação dos herbicidas saflufenacil e imazapyr+imazapic isoladamente e em misturas. Avaliar quais efeitos de interação ocorrem quando misturas de saflufenacil e imazapyr+imazapic são aplicadas em plantas de arroz daninho. E elucidar os efeitos da ação de saflufenacil no metabolismo antioxidante durante o processo de germinação com presença e ausência de luz.

2. CAPÍTULO 1 - Controle de capim-arroz, arroz daninho e a seletividade e produtividade do arroz irrigado submetido à aplicação de mistura de saflufenacil e imazapyr+imazapic em pós-emergência

2.1. Introdução

Ao redor do mundo mais de 140 espécies de plantas daninhas distribuídas em 27 famílias, apresentam importância econômica no cultivo de arroz, sendo que dentre estas espécies as mais importantes pertencem às famílias Cyperaceae e Poaceae (RAO et al., 2007).

No Rio Grande do Sul, o arroz daninho (Poaceae) é a planta daninha que mais causa danos às lavouras orizícolas, por ocasionar redução da produtividade, ser de difícil controle, apresentar alto grau de infestação das áreas de cultivo, e ainda provocar aumento do custo de produção e depreciação do valor comercial do produto final (SANTOS et al., 2007). O arroz daninho é muito similar ao arroz cultivado, são biótipos de *Oryza sativa* que apresentam diferentes características de plantas daninhas em comparação ao arroz cultivado (GOULART et al., 2012) estas características proporcionam vantagens de competição em relação a cultura, devido ao vigor inicial, maior perfilhamento e maior altura de planta (SÜREK et al., 2014). Outras características importantes apresentadas pelo arroz daninho são o elevado degrane e longo período de dormência das sementes (ROSO et al., 2010).

Também pertencente à família Poaceae, o capim-arroz (*Echinochloa* spp.) (RUIZ-SANTAELLA et al., 2006), possui o metabolismo C4 e está entre as mais importantes plantas daninhas gramíneas do mundo, inclusive é uma das principais plantas daninhas na cultura do arroz (DAMALAS et al., 2008; CHAUHAN; JOHNSON, 2010). A ampla tolerância ecológica, sua capacidade de mimetizar o arroz, a rápida germinação, o rápido crescimento e a elevada produção de sementes

por planta, são características que tornam o capim-arroz importante em todo mundo (MENNAN; KAYA-ALTOP, 2012).

As plantas daninhas reduzem o rendimento do arroz, competindo com a cultura por luz, nutrientes e água. A extensão das perdas de rendimento depende de vários fatores, mas principalmente do genótipo da cultura, das espécies de plantas daninhas, densidade da cultura e plantas daninhas, tempo de emergência das plantas daninhas e manejo de adubação (REZAEIEH et al., 2015). A interferência das plantas daninhas pode causar perdas variáveis, sendo que em áreas onde não se realiza o controle, a redução da produtividade pode chegar a 100% (ANDRES et al., 2008).

O manejo efetivo das plantas daninhas é o caminho para se obter sucesso na produção de arroz (RIAR; NORSWORTHY, 2011). No sul do Brasil o controle químico é o mais utilizado em áreas de arroz irrigado, principalmente pela facilidade de atingir grandes áreas em curto espaço de tempo, com eficiência e rapidez. Sendo que o uso de herbicidas pode prevenir a interferência de plantas daninhas, principalmente no início de ciclo, período no qual as plantas daninhas causam as maiores perdas na produtividade do arroz (ANDRES et al., 2008).

A tecnologia Clearfield® possibilita o controle químico, principalmente do arroz daninho, por meio da utilização de herbicidas imidazolinonas em cultivares de arroz tolerantes a estes herbicidas (SOUSA et al., 2012). Além disso, são utilizados para o controle de outras plantas daninhas, como o capim-arroz e ciperáceas. A tecnologia Clearfield® é uma ferramenta muito valiosa para o manejo de plantas daninhas na cultura do arroz, pois os imidazolinonas possuem atividade no solo e foliar, e quando combinados com outros herbicidas podem fornecer controle das plantas daninhas ao longo de todo período de cultivo do arroz (SUDIANTO et al., 2013).

Em trabalhos desenvolvidos com aplicação de saflufenacil na cultura do arroz, Camargo et al. (2012b) reportaram que este herbicida causou injúrias na cultura do arroz, porém essa injúria não causou a redução de produtividade. Segundo Montgomery et al, (2015) saflufenacil pode ser utilizado em sistemas de cultivos de arroz Clearfield®, para obter melhores controles de plantas daninhas e maior rendimento de arroz.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da aplicação em pós-emergência dos herbicidas imazapyr+imazapic e saflufenacil no controle de arroz daninho e capim-arroz; e o desempenho do cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL.

2.2. Materiais e Métodos

O experimento foi instalado em área experimental pertencente ao Centro de Herbologia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). O ensaio foi conduzido no ano agrícola de 2015/16. O solo da área experimental é caracterizado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2013) apresentando as seguintes características: pH (5,1), cálcio ($3,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$), magnésio ($1,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$), alumínio ($0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$), fósforo ($11,7 \text{ mg dm}^{-3}$), potássio (43 mg dm^{-3}), CTC_{pH7} (9,2), V (57,6%), matéria orgânica (0,7%) e argila (24%).

No estudo foram utilizadas sementes de arroz do cultivar Puitá INTA CL com densidade de semeadura de 120 kg ha^{-1} , com espaçamento de 17 cm entre as linhas de semeadura. A infestação de arroz daninho foi obtida através de semeadura perpendicular ao sentido de semeadura da cultura com uma densidade de 50 kg ha^{-1} . A semeadura foi realizada mecanicamente utilizando-se semeadora-adubadora contendo nove linhas. A infestação de capim-arroz foi obtida através de germinação espontânea de sementes presentes no banco de sementes do solo da área experimental. Foi realizada uma adubação de base com 20, 75 e 75 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), P_2O_5 e K_2O , respectivamente. O nitrogênio foi aplicado mais duas vezes na forma de ureia (45% de N), 40 kg ha^{-1} de N no estágio V4 e 80 kg ha^{-1} de N no estágio de iniciação da panícula (R0) (COUNCE et al., 2000). O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e as parcelas experimentais com dimensões de cinco metros de comprimento por dois metros de largura, totalizando uma área de 10 metros quadrados cada.

Os tratamentos herbicidas foram constituídos por aplicações isoladas de saflufenacil nas doses de $21 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ e $42 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, correspondente a 30 e 60 g ha^{-1} da formulação comercial do herbicida Heat[®]; e imazapyr+imazapic nas doses de (36,75+12,25), (73,5+24,5), (110,25+36,75) e (147+49) g e.a. ha^{-1} , correspondente a 70, 140, 210 e 280 g ha^{-1} da mistura comercial do herbicida Kifix[®] e aplicação dos dois herbicidas em mistura nas doses citadas anteriormente, além de um tratamento controle sem a aplicação de herbicidas. Aos tratamentos herbicidas foi acrescido um adjuvante não iônico a 0,5% v/v. Os tratamentos herbicidas foram aplicados em pós-

emergência das plantas daninhas e da cultura no estágio vegetativo V4 (SOSBAI, 2014).

A aplicação dos tratamentos foi realizada através da utilização de um pulverizador costal de precisão, pressurizado com CO₂, equipado com uma barra composta por quatro pontas do tipo leque modelo Teejet® XR110.015, com espaçamento de 0,5 metros e calibrado para uma vazão de 150 L ha⁻¹. Após 24 horas da aplicação dos tratamentos foi realizada a irrigação contínua do experimento através da manutenção de uma lâmina de água de aproximadamente 10 cm de altura. O experimento foi instalado no sistema convencional de cultivo e durante a condução do ensaio foram realizados tratos culturais conforme recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul (SOSBAI, 2014).

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) foram realizadas as avaliações visuais de controle das plantas de arroz daninho e capim-arroz, atribuindo-se notas em escala percentual, onde 0% corresponde a nenhum controle das plantas daninhas e a nota de 100% corresponde a morte de todas plantas daninhas.

No estágio de maturação da cultura realizou-se a colheita manual de grãos em uma área de 3,4 m² por parcela, obtendo-se a produtividade da cultura através da pesagem dos grãos em casca e com umidade ajustada para 13%. Também foram avaliados o número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panícula, peso de mil grãos e percentual de esterilidade de espiguetas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$) com a utilização do programa estatístico SAS®. Para as análises estatísticas os dados de controle foram transformados em $xT = \arcseno\sqrt{(x + 0,5)/100}$ e os dados referentes a esterilidade de espiguetas em $xT = \sqrt{x + 1}$.

2.3. Resultados e Discussão

Com os resultados obtidos em relação ao controle de capim-arroz e arroz daninho, observa-se que as duas doses de saflufenacil aplicadas isoladamente não causaram efeito de controle sobre estas espécies nos diferentes períodos de

avaliações (Tabelas 1 e 2). Estes resultados já eram esperados, visto que saflufenacil é recomendado para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas (MONTGOMERY et al., 2014; WALSH et al., 2015). Resultados reportados por Trolove et al. (2011), também mostraram um ineficiente controle de gramíneas quando saflufenacil foi aplicado isolado nas doses de 70 e 105 g i.a. ha⁻¹.

Esse comportamento provavelmente está relacionado com a capacidade de metabolização do herbicida por estas plantas daninhas. Estudos de seletividade do saflufenacil na cultura do milho realizados por Grossmann et al. (2011), revelaram que plântulas de milho causam uma rápida metabolização de saflufenacil em compostos não fitotóxicos, proporcionando a seletividade.

Aos 7 DAT os tratamentos com aplicação de doses isoladas de imazapyr+imazapic e tratamentos com a associação de doses de saflufenacil apresentaram percentual de controle de capim-arroz acima de 55%, sendo que a dose de 147+49 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic proporcionou maior percentual de controle (72,5%) de capim-arroz neste período, já a dose de 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic apresentou o menor controle (57,5%) aos 7DAT. Os tratamentos com combinações de 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (110,25+36,75) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic apresentaram controle elevado aos 7 DAT (71,2%), porém diferindo significativamente apenas da menor dose de imazapyr+imazapic (Tabela 1).

Em relação ao controle de arroz daninho a combinação de 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic proporcionou o maior controle aos 7 DAT (68,7%), diferindo significativamente do tratamento com a dose isolada de 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, que por sua vez ocasionou o menor controle (53,7%) (Tabela 2).

Tabela 1 - Percentual de controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) em função da aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic e saflufenacil aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT). FAEM/UFPeI, Capão do Leão/RS, 2015/16.

Tratamentos	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	7 DAT	14 DAT	21 DAT	28 DAT
Testemunha	-	0 c*	0 c	0 e	0 d
Saflufenacil	21	0 c	0 c	0 e	0 d
Saflufenacil	42	0 c	0 c	0 e	0 d
Imazapyr+Imazapic	36,75 + 12,25	57,5 b	82,5 b	88,7 d	91,2 c
Imazapyr+Imazapic	73,5 + 24,5	63,7 ab	88,7 ab	95,0 abc	98,7 ab
Imazapyr+Imazapic	110,25 + 36,75	65,0 ab	93,7 a	93,7 abcd	96,2 abc
Imazapyr+Imazapic	147 + 49	72,5 a	93,7 a	98,7 a	100,0 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (36,75 + 12,25)	67,5 ab	88,7 ab	91,2 bcd	93,7 bc
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (73,5 + 24,5)	63,7 ab	91,2 a	95,0 abc	98,7 ab
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (110,25 + 36,75)	67,5 ab	91,2 a	95,0 abc	100,0 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (147 + 49)	71,2 a	95,0 a	97,5 a	100,0 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (36,75 + 12,25)	65,0 ab	87,5 ab	90,0 cd	96,2 abc
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (73,5 + 24,5)	67,5 ab	92,5 a	96,2 ab	100,0 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (110,25 + 36,75)	71,2 a	92,5 a	96,2 ab	98,7 ab
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (147 + 49)	65,0 ab	92,5 a	95,0 abc	98,7 ab
CV (%)		9,08	4,52	2,70	3,01

* Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas são significativamente diferentes de acordo com o teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 2 - Percentual de controle de arroz daninho (*Oryza sativa*) em função da aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic e saflufenacil aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2015/16.

Tratamentos	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	7 DAT	14 DAT	Controle (%)	
				21 DAT	28 DAT
Testemunha	-	0 c*	0 c	0 e	0 d
Saflufenacil	21	0 c	0 c	0 e	0 d
Saflufenacil	42	0 c	0 c	0 e	0 d
Imazapyr+Imazapic	36,75 + 12,25	53,7 b	76,2 b	78,7 d	76,2 c
Imazapyr+Imazapic	73,5 + 24,5	61,2 ab	85,0 ab	92,5 a	91,2 ab
Imazapyr+Imazapic	110,25 + 36,75	61,2 ab	86,2 ab	92,5 a	93,7 a
Imazapyr+Imazapic	147 + 49	65,0 a	86,2 ab	92,5 a	96,2 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (36,75 + 12,25)	62,5 ab	82,5 ab	80,0 cd	78,7 c
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (73,5 + 24,5)	62,5 ab	87,5 ab	93,7 a	93,2 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (110,25 + 36,75)	66,2 a	82,5 ab	90,0 ab	97,0 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (147 + 49)	68,7 a	88,7 a	90,0 ab	97,5 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (36,75 + 12,25)	61,2 ab	78,7 ab	81,2 bcd	81,2 bc
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (73,5 + 24,5)	67,5 a	85,0 ab	92,0 a	95,0 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (110,25 + 36,75)	65,0 a	88,7 a	93,7 a	96,2 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (147 + 49)	61,2 ab	83,7 ab	88,7 abc	97,5 a
CV (%)		8,13	7,35	5,41	5,39

* Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas são significativamente diferentes de acordo com o teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Aos 14 DAT as doses isoladas de 110,25+36,75 e 147+49 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic apresentaram 93,75% de controle de capim-arroz com diferença significativa em relação aos 82,5% de controle observados quando aplicado 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic. Já as combinações das doses de saflufenacil e imazapyr+imazapic não diferiram estatisticamente entre si, porém o maior percentual de controle de capim-arroz foi obtido com 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic. Para o controle de arroz daninho neste período os tratamentos com 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (110,25+36,75) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic proporcionaram o maior percentual de controle, ambos com 88,7%, diferindo significativamente da dose isolada de 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic com controle de 82,5%.

Aos 21 DAT a dose isolada de 36,75+12,25 g ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e as combinações de 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic foram os tratamentos que apresentaram os menores percentuais de controle do capim-arroz com 88,7; 91,2 e 90%, respectivamente. As demais doses isoladas de imazapyr+imazapic e combinadas proporcionaram controle do capim-arroz acima de 93%, neste período, atingindo 98,7% de controle com a aplicação de 147+49 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic.

Na avaliação de controle do arroz daninho aos 21 DAT, não foram observados percentuais de controle satisfatórios, assim como, para o controle de capim-arroz os menores valores de controle do arroz daninho foram observados nos tratamentos com 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, com controle de 78,7; 80 e 81,2%, respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos com dose isolada de imazapyr+imazapic e das misturas de 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (73,5 +24,5) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic , 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (73,5+24,5) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (110,25+36,75) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic. No entanto, segundo dados reportados por Camargo et al. (2012), mostraram a ocorrência de um controle eficiente de arroz daninho aos 14 e 21 DAT a medida em que saflufenacil foi

misturado com um herbicida imidazolinona (imazethapyr) em relação ao controle proporcionado por imazethapyr quando aplicado sozinho.

Aos 28 DAT atingiu-se 100% de controle do capim-arroz no tratamento com 147+49 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e nas doses combinadas de 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (110,25+36,75) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (73,5+24,5) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic. O tratamento com imazapyr+imazapic isolado (36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹) apresentou o pior resultado no controle de capim-arroz (91,2%), em relação as doses isoladas de imazapyr+imazapic e em mistura com saflufenacil.

Para o controle de arroz daninho nenhum tratamento proporcionou controle total aos 28 DAT, sendo que os tratamentos que resultaram em um controle mais elevado foram as combinações de doses com 21 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic com 97,5% de controle. Os tratamentos menos efetivos foram oriundos da aplicação isolada de 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e em mistura com 21 e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil. Portanto, estes tratamentos possibilitam um escape elevado de plantas de arroz daninho, podendo resultar no cruzamento natural com o cultivar Puitá INTA CL, ocasionando o desenvolvimento de biótipos de arroz daninho tolerantes aos herbicidas do grupo das imidazolinonas (GEALY et al., 2003; SCARABEL et al., 2012; SUDIANTO et al., 2013). Villa et al., (2006) reportaram que o controle de total de arroz daninho somente foi obtido com a aplicação fracionada do herbicida imazethapyr+imazapic aplicado em pré e pós-emergência.

Na prática a aplicação de 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic não é indicada para um controle eficiente de plantas daninhas no arroz irrigado, sendo que atualmente é recomendado a utilização de 73,5+24,5 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic em pré-emergência seguido por outra aplicação de 73,5+24,5 g e.a. ha⁻¹ em pós-emergência inicial (SOSBAI, 2014).

Neste trabalho observou-se que os percentuais de controle obtidos em função da aplicação das doses de imazapyr+imazapic isolado, foram equivalentes aos tratamentos onde estas doses foram combinadas com saflufenacil. Pellerin et al. (2004), reportaram resultados semelhantes quando avaliaram o uso de imazethapyr em misturas com herbicidas indicados para o controle de plantas daninhas de folhas

largas, incluindo inibidores da Protox, no controle de capim-arroz e arroz daninho, onde os resultados obtidos com a aplicação isolada do imidazolinona proporcionou controle equivalente as misturas testadas com os demais herbicidas.

O tratamento sem herbicida (testemunha) e com aplicação isolada de 21 e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil apresentaram um elevado nível de infestação de capim-arroz e arroz daninho, acarretando em um severo acamamento das plantas de Puitá INTA CL, o que impossibilitou a avaliação destes tratamentos em relação aos parâmetros apresentados na tabela 3. Os resultados observados dos parâmetros de rendimento, peso de mil grãos e esterilidade de espiguetas não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Villa et al. (2006) utilizando o herbicida imazethapyr+imazapic sozinho também não constataram diferenças significativas para estes parâmetros de rendimento em uma cultivar tolerante aos imidazolinonas.

O número de panículas por metro quadrado foi menor no tratamento de 36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, devido à alta infestação e competição com plantas daninhas que sobreviveram ao controle ineficiente deste tratamento. Os maiores valores de panículas por metro quadrado foram verificados quando aplicado 73,5+24,5 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e a mistura de 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (110,25+36,75) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, com 431 e 433 panículas por metro quadrado, respectivamente. Resultados apresentados por Ottis e Talbert (2007), mostraram que houve um aumento significativo na densidade de panículas de arroz por metro quadrado a medida em que o nível de controle de capim-arroz foi maior, sendo que a produtividade de arroz incrementou cerca de 750 kg ha⁻¹ para cada 10% de incremento no controle de capim-arroz.

Tabela 3 - Número de panículas por metro quadrado (NPAN), peso de mil grãos (PMG), número de grãos por panículas (NGP), percentual de esterilidade das espiguetas (EST) e produtividade de grãos do cultivar Puitá INTA CL. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2015/16.

Tratamento	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	NPAN (m ²)*	PMG (g)	NGP*	EST (%)	Produtividade (kg ha ⁻¹)*
Testemunha	-	- ¹	-	-	-	-
Saflufenacil	21	-	-	-	-	-
Saflufenacil	42	-	-	-	-	-
Imazapyr+Imazapic	36,75 + 12,25	286 b	24,7 ^{ns}	106,8 a	11,2 ^{ns}	7.177,5 d
Imazapyr+Imazapic	73,5 + 24,5	431 a	24,6	84 ab	13,7	9.986,0 a
Imazapyr+Imazapic	110,25 + 36,75	374 ab	26,6	97,5 ab	11,6	9.360,3 ab
Imazapyr+Imazapic	147 + 49	354 ab	23,9	95,2 ab	15,3	8.136,3 bcd
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (36,75 + 12,25)	384 ab	25,8	95,5 ab	12,5	7.908,5 cd
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (73,5 + 24,5)	383 ab	24,6	103,7 ab	15,9	9.078,3 abc
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (110,25 + 36,75)	384 ab	24,8	98,4 ab	15,8	9.831,5 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	21 + (147 + 49)	362 ab	25,4	93,8 ab	11,2	9.881,5 a
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (36,75 + 12,25)	376 ab	24,5	82,5 b	10,8	7.727,0 cd
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (73,5 + 24,5)	382 ab	24,7	94,5 ab	10,4	9.083,0 abc
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (110,25 + 36,75)	433 a	25,0	80,9 b	9,2	9.475,0 ab
Saflufenacil+ (Imazapyr+Imazapic)	42 + (147 + 49)	388 ab	24,7	104,4 ab	15,3	9.987,5 a
CV (%)		14,25	4,51	10,04	22,25	6,3

* Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas são significativamente diferentes de acordo com o teste Tukey ($p \leq 0,05$). ^{ns} Teste F não significativo ($p \leq 0,05$). ¹ Dados não coletados devido ao acamamento da cultura causado pelo elevado nível de infestação de plantas daninhas, causando danos severos ao crescimento e desenvolvimento da cultura.

No parâmetro grãos por panícula o tratamento com a menor dose isolada de imazapyr+imazapic (36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹) apresentou o maior valor (106,8) dentre todos tratamentos, diferindo significativamente das misturas de 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil + (110,25+36,75) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, onde foram observados 82,5 e 80,9 grãos por panícula, respectivamente.

Os tratamentos afetaram a produtividade do arroz, sendo que os menores valores de produtividade foram observados quando se aplicou a menor dose de imazapyr+imazapic isoladamente (36,75+12,25 g e.a. ha⁻¹) e em mistura com 21 e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, atingindo produtividades de 7.177,5; 7.908,5 e 7.727,0 kg ha⁻¹, respectivamente. Estes resultados, estão diretamente relacionados com o baixo nível de controle proporcionados pelos referidos tratamentos, que proporcionaram a infestação de plantas daninhas. Marchesan et al. (2011), encontraram uma relação direta entre a produtividade e a incidência de arroz daninho, onde sistemas de cultivo que apresentaram menor incidência foram os que apresentaram maior produtividade de grãos, conseqüentemente a elevada infestação de arroz daninho acarretou em diminuição direta da produtividade.

A produtividade obtida no tratamento com 147+49 g ha⁻¹ de imazapyr+imazapic (8.136,3 kg ha⁻¹) foi significativamente diferente dos tratamentos com esta dose do imidazolinona associada a 21 e 42 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, que proporcionaram uma produtividade maior, de 9.881,5 e 9.987,5 kg ha⁻¹, respectivamente. Em relação ao controle do capim-arroz e arroz daninho estes tratamentos apresentaram resultados semelhantes, portanto, esta diferença na produtividade deve estar relacionada possivelmente ao menor número de panículas por metro quadrado e peso de mil grãos obtidos no tratamento 147+49 g ha⁻¹ de imazapyr+imazapic em relação aos outros dois tratamentos.

Neste trabalho não foi observada redução de produtividade relacionada a aplicação de saflufenacil, estes resultados corroboram com Camargo et al. (2012), que não encontraram diferenças significativas na produtividade de grãos de arroz quando imazethapyr foi aplicado sozinho ou em mistura com saflufenacil. Já Montgomery et al. (2015), obtiveram uma produtividade de arroz maior, quando aplicado uma mistura de saflufenacil e imazethapyr em comparação ao tratamento com imazethapyr utilizado sozinho. No entanto, conforme reportado por Sikkema et al. (2008) saflufenacil aplicado em pós-emergência causou injúrias que refletiram

diretamente na redução de 13 e 24% da produtividade de trigo e cevada, respectivamente.

2.4. Conclusões

Nas condições de campo saflufenacil não é eficiente para o controle de capim-arroz e arroz daninho. Quando em mistura com imazapyr+imazapic, o herbicida saflufenacil não interfere na ação do imidazolinona no controle de arroz daninho e capim arroz, sendo que se o alvo da aplicação for apenas estas duas plantas daninhas as quais a adição de saflufenacil não é necessária.

Aplicação em pós-emergência de (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, tanto isolado quanto em mistura, é ineficiente para controle de capim-arroz e arroz daninho, refletindo na redução da produtividade.

Nas doses avaliadas de saflufenacil, sua utilização combinada com imazapyr+imazapic, não causa injúrias e perdas de produtividade de grãos do cultivar Puitá INTA CL.

3. CAPÍTULO 2 - Avaliação da interação entre imazapyr+imazapic e saflufenacil no controle de arroz daninho

3.1. Introdução

Estudos com misturas entre herbicidas são desenvolvidos há muitos anos, Gowing (1960) já evidenciava a importância das pesquisas com misturas de herbicidas para área de herbologia. O interesse em estudar os efeitos sinérgicos ou antagônicos através de experimentos com mistura tem crescido imensamente ao longo das últimas duas décadas (RITZ; STREIBIG, 2014). Vários são os trabalhos realizados com misturas de dois ou mais herbicidas em todo o mundo ao longo dos anos, buscando avaliar as interações decorrentes das inúmeras misturas propostas para o controle de diversas plantas daninhas (TOTTMAN, 1978; GREEN et al., 1988; STREIBIG et al., 1998; KRUSE et al., 2001; PELLERIN et al., 2004; ZHANG et al., 2005; KAMMLER et al., 2008; SINGH et al., 2011; JHALA et al., 2013; MENEZES et al., 2013; DALAZEN et al., 2015).

As misturas de herbicidas são consideradas ferramentas poderosas para o controle eficiente de plantas daninhas na agricultura. É muito comum a utilização simultânea de dois ou mais herbicidas em pré-misturas comerciais formuladas ou a realização de misturas de diferentes herbicidas em tanque antes da aplicação (DAMALAS, 2004), considerada como uma prática padrão na estratégia de manejo no controle de plantas daninhas (FLINT et al., 1988).

Dependendo dos herbicidas combinados, a mistura em tanque pode proporcionar muitas vantagens em comparação com a aplicação de determinados herbicidas isolados, principalmente o aumento do espectro de espécies de plantas daninhas controladas, redução do custo de aplicação, redução das doses utilizadas, prevenção do aparecimento de plantas daninhas resistentes (SHAW; ARNOLD, 2002; DAMALAS, 2004; KAMMLER; WALTERS; YOUNG, 2010; MATZENBACHER

et al., 2015). Sendo que, as vantagens de determinada mistura de herbicidas dependem das interações resultantes dos herbicidas envolvidos (AKOBUNDU et al., 1975).

As combinações entre herbicidas podem resultar em três tipos distintos de interações, podendo ser uma interação aditiva, sinérgica ou antagônica. O efeito de aditividade ocorre quando a atividade da mistura é igual à soma de toda a atividade dos herbicidas da mistura quando estes são aplicados separadamente, o efeito de sinergismo ocorre quando a atividade da mistura é superior à soma das atividades dos herbicidas aplicados isoladamente, já o antagonismo é caracterizado quando a atividade da mistura é inferior (TAMMES, 1964; COLBY, 1967; DAMALAS, 2004). A interação sinérgica é a mais desejada em misturas de herbicidas (CHORBADJIAN; KOGAN, 2002), devido as diversas vantagens citadas anteriormente. No entanto, os herbicidas em mistura podem interagir fisicamente e quimicamente na calda herbicida ou biologicamente quando absorvidos pelas plantas, por isto, a avaliação da ação conjunta de herbicidas é fundamental para criar misturas eficientes (KUDSK; MATHIASSEN, 2004).

Em estudos para a avaliar as interações de imazethapyr, um herbicida do grupo imidazolinona, combinado com propanil e thiobencarb foi verificado um efeito sinérgico para o controle de capim-arroz e principalmente para arroz daninho, combinando diferentes mecanismos de ação possibilitando que essa mistura incrementa programas de manejo de resistência de plantas daninhas (FISH et al., 2015). Matzenbacher et al. (2015), relataram um efeito sinérgico na combinação de imazapyr+imazapic com quinclorac utilizados para o controle de um biótipo de capim-arroz resistente aos inibidores da ALS.

Combinações entre imazethapyr e saflufenacil apresentaram resultados satisfatórios quando utilizados para o controle do arroz daninho, sendo que não foi verificado efeito antagônico entre estas moléculas (CAMARGO et al., 2012b).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da interação entre os herbicidas saflufenacil e imazapyr+imazapic em plantas de arroz daninho.

3.2. Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Dinâmica de Herbicidas da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Para a execução do experimento foram utilizadas sementes de arroz daninho (*Oryza sativa*) coletadas na safra 2014/15 na área experimental da UFPel. Foram semeadas 10 sementes em potes plásticos com capacidade de 750 mL, contendo solo PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2013), após a emergência das plântulas foi realizado desbaste, deixando-se seis plantas por pote. O experimento foi conduzido em delineamento casualizado com quatro repetições.

Os tratamentos herbicidas consistiram de imazapyr+imazapic em 0; 9,2+3,06; 18,4+6,12; 36,75+12,25; 73,5+24,5; 147+49; 294,0+98,0 e 588,0+196,0 g e.a. ha⁻¹ e saflufenacil em 0; 3,06; 6,12; 12,25; 24,5; 49,0; 98,0 e 196,0 g i.a. ha⁻¹, aplicados isoladamente e as doses de 9,2+3,06 e 18,4+6,12 g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic aplicadas em misturas com todas as doses de saflufenacil, assim como, 3,06 e 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil aplicadas associadas com todas as doses de imazapyr+imazapic. Aos tratamentos herbicidas foi acrescido um adjuvante não iônico a 0,5% v/v.

Os herbicidas foram aplicados quando as plantas de arroz daninho atingiram o estágio vegetativo V4 (COUNCE; et al., 2000). A aplicação dos tratamentos foi realizada com um pulverizador costal de precisão, pressurizado com gás carbônico (CO₂), equipado com uma barra composta por quatro pontas do tipo leque modelo Teejet XR110.015, com espaçamento de 0,5 metros e calibrado para uma vazão de 150 L ha⁻¹.

Foram avaliados o controle do arroz daninho aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), através de avaliação visual adotando-se escala percentual de 0 a 100, onde 0 equivale a ausência de controle e 100 a morte de todas as plantas. Aos 35 DAT avaliou-se a estatura das plantas e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), sendo que para a obtenção da estatura de plantas utilizou-se régua graduada e a MMSPA obtida secando-se o material vegetal em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 65°C até atingir peso constante. Os valores de estatura e MMSPA foram convertidos em percentual de redução em relação ao tratamento controle.

As interações entre os herbicidas foi calculada conforme o método descrito por Colby (1967), calculando-se valores esperados de cada variável para as misturas aplicadas, utilizando-se a seguinte equação: $E = X + Y - (XY/100)$, onde X e Y são os efeitos de imazapyr+imazapic e saflufenacil, aplicados isoladamente, e E é a resposta esperada pela combinação dos dois herbicidas. A significância estatística entre os valores observados e esperados foi obtida pela comparação das médias utilizando-se o Teste t com $p \leq 0,05$ de significância.

A interação foi considerada antagônica quando o valor observado foi menor que o valor esperado para a mistura e a interação sinérgica quando o valor observado foi maior que o valor esperado ao nível de significância estatística. Quando as respostas observadas e esperadas não diferiram significativamente, a interação foi de aditividade.

3.3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nas variáveis estudadas mostraram de uma maneira geral que as misturas estabelecidas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil ocasionaram mais interações de aditividade e antagonismo do que sinergismo no controle de arroz daninho. Para a variável controle aos 7 DAT apenas a combinação de (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic mais 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil apresentou efeito sinérgico sendo que o controle observado (10%) foi levemente superior ao controle esperado (9,8%), o restante das combinações apresentou efeito antagônico ou aditivo no mesmo período avaliado (Tabela 4). Resultados de antagonismo também foram observados em misturas de carfentrazone (inibidor da protox) com fenoxaprop (inibidor da ACCase) no controle de capim-arroz, porém o antagonismo foi observado da primeira avaliação aos 10 DAT até aos 30 DAT, nas diferentes doses testadas (ZHANG et al., 2005).

Tabela 4 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	Controle (%) 7DAT			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	5,0	7,4	0,134	=
(18,4+6,12)+3,06	5,0	9,8	<0,001	-
(36,75+12,25)+3,06	7,5	9,8	0,170	=
(73,5+24,5)+3,06	7,5	10,9	0,116	=
(147+49)+3,06	7,5	9,8	0,170	=
(294+98)+3,06	8,8	8,8	0,267	=
(588+196)+3,06	8,8	13,3	0,038	-
(9,2+3,06)+6,12	7,5	7,4	0,952	=
(18,4+6,12)+6,12	10,0	9,8	<0,001	+
(36,75+12,25)+6,12	7,5	9,8	0,170	=
(73,5+24,5)+6,12	7,5	10,9	0,116	=
(147+49)+6,12	5,0	9,8	<0,001	-
(294+98)+6,12	5,0	12,1	0,002	-
(588+196)+6,12	8,8	13,3	0,038	-
(9,2+3,06)+12,25	8,8	8,6	0,945	=
(9,2+3,06)+24,5	7,5	11,0	0,240	=
(9,2+3,06)+49	7,5	9,8	0,376	=
(9,2+3,06)+98	6,3	11,1	0,030	-
(9,2+3,06)+196	8,8	13,5	0,032	-
(18,4+6,12)+12,25	8,8	10,9	0,252	=
(18,4+6,12)+24,5	7,5	13,3	0,021	-
(18,4+6,12)+49	8,8	12,1	0,119	=
(18,4+6,12)+98	11,3	13,3	0,277	=
(18,4+6,12)+196	11,3	15,7	0,042	-

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

Aos 14 DAT observou-se um aumento de efeito antagônico entre as misturas testadas (Tabela 5), o antagonismo foi verificado principalmente nas misturas das doses de imazapyr+imazapic com a menor dose de saflufenacil (3,06 g i.a. ha⁻¹) e quando misturadas as doses de saflufenacil com as menores doses de imazapyr+imazapic (9,2+3,06) e (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹. No entanto, ensaios realizados por outros autores com a mistura de saflufenacil combinado com outros imidazolinonas não apresentaram este comportamento, Montgomery et al. (2015) reportaram um controle de 81% com a mistura de 50 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil mais 70 g i.a. ha⁻¹ imazethapyr, enquanto a aplicação isolada de imazethapyr

proporcionou um controle de apenas 70%, o autor sugere que a formulação (concentrado emulsionável) de saflufenacil possa contribuir para um efeito de controle sobre o capim-arroz, já que em aplicação isolada este herbicida não controla gramíneas.

Tabela 5 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 14 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	Controle (%) 14DAT			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	25,0	34,8	0,013	-
(18,4+6,12)+3,06	25,0	39,3	<0,001	-
(36,75+12,25)+3,06	31,3	41,4	0,049	-
(73,5+24,5)+3,06	31,3	48,2	0,020	-
(147+49)+3,06	36,3	44,8	0,080	=
(294+98)+3,06	38,8	48,2	0,029	-
(588+196)+3,06	36,3	50,6	0,003	-
(9,2+3,06)+6,12	31,3	28,4	0,153	=
(18,4+6,12)+6,12	31,3	33,3	0,419	=
(36,75+12,25)+6,12	31,3	35,8	0,210	=
(73,5+24,5)+6,12	33,8	43,3	0,123	=
(147+49)+6,12	32,5	39,5	0,058	=
(294+98)+6,12	32,5	43,2	0,004	-
(588+196)+6,12	33,8	45,7	0,003	-
(9,2+3,06)+12,25	26,3	33,9	0,046	-
(9,2+3,06)+24,5	25,0	33,9	0,008	-
(9,2+3,06)+49	26,3	32,9	0,063	=
(9,2+3,06)+98	26,3	38,4	<0,001	-
(9,2+3,06)+196	26,3	42,9	<0,001	-
(18,4+6,12)+12,25	25,0	38,4	0,003	-
(18,4+6,12)+24,5	25,0	38,4	0,003	-
(18,4+6,12)+49	25,0	37,5	0,002	-
(18,4+6,12)+98	27,5	42,6	<0,001	-
(18,4+6,12)+196	28,8	46,8	<0,001	-

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

Frihauf et al. (2010), avaliaram a mistura de duas formulações de saflufenacil em trigo, e relataram um aumento no percentual de necrose nas folhas e redução da estatura de plantas de trigo quando utilizado saflufenacil isolado na formulação de concentrado emulsionável em comparação com a formulação em granulado dispersível, sendo que as misturas destes com o herbicida 2,4D reduziu os efeitos de saflufenacil sobre plantas de trigo.

No presente trabalho foi utilizado saflufenacil na formulação de granulado dispersível (WG), sendo que o efeito reduzido de saflufenacil observado sobre plantas de arroz daninho está relacionado à menor ação herbicida desta formulação sobre as monocotiledôneas.

No controle aos 21 DAT, novamente apenas uma mistura proporcionou uma resposta sinérgica, com as doses de 24,5 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil mais (9,2+3,06) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, onde foi obtido um controle de 52,5% contra 44,2% de controle esperado para esta combinação. Também se observou uma diminuição de respostas antagônicas, sendo que cinco misturas foram consideradas antagônicas aos 21 DAT, ficando evidenciado um efeito de aditividade na maioria das misturas (Tabela 6). Camargo et al., (2012b) reportaram que aos 14 e 21 DAT o controle de arroz daninho foi maior quando 140 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr foram aplicados em mistura com 12,5; 18,75; 25 e 50 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, comparado com a aplicação de imazethapyr isolado.

A partir dos 28 DAT as respostas de interações antagônicas para a variável controle, reduziram (Tabela 7), onde a combinação de (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 3,06 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil foi a única mistura antagônica para o controle de arroz daninho, sendo que o controle esperado foi de 62,6% e o observado apenas de 45%. Para este período, verificou-se também uma combinação sinérgica com a dose de (9,2+3,06) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic mais 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, proporcionando um controle de 61,3%, onde o esperado foi de 50,8%. As demais misturas apresentaram efeito de aditividade, chegando-se a atingir 97,5% e 95% de controle quando a dose de (588+196) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic foi misturada com as doses de 3,06 e 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, respectivamente.

Tabela 6 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	Controle (%) 21DAT			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	37,5	48,6	0,046	-
(18,4+6,12)+3,06	38,8	56,4	0,008	-
(36,75+12,25)+3,06	65,0	59,5	0,196	=
(73,5+24,5)+3,06	63,8	66,0	0,757	=
(147+49)+3,06	68,8	70,5	0,681	=
(294+98)+3,06	71,3	82,5	0,004	-
(588+196)+3,06	73,8	78,1	0,205	=
(9,2+3,06)+6,12	56,3	44,3	0,057	=
(18,4+6,12)+6,12	56,3	52,8	0,548	=
(36,75+12,25)+6,12	57,5	56,3	0,818	=
(73,5+24,5)+6,12	63,8	63,4	0,941	=
(147+49)+6,12	61,3	68,1	0,155	=
(294+98)+6,12	65,0	81,0	<0,001	-
(588+196)+6,12	67,5	76,4	0,022	-
(9,2+3,06)+12,25	52,5	47,1	0,201	=
(9,2+3,06)+24,5	52,5	44,2	0,046	+
(9,2+3,06)+49	51,3	45,6	0,274	=
(9,2+3,06)+98	46,3	52,1	0,348	=
(9,2+3,06)+196	47,5	56,5	0,188	=
(18,4+6,12)+12,25	46,3	55,1	0,101	=
(18,4+6,12)+24,5	47,5	52,5	0,391	=
(18,4+6,12)+49	51,3	53,8	0,633	=
(18,4+6,12)+98	55,0	59,1	0,510	=
(18,4+6,12)+196	57,5	63,2	0,287	=

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

Tabela 7 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPeL, Capão do Leão, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	Controle (%) 28DAT			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	38,8	53,1	0,068	=
(18,4+6,12)+3,06	45,0	62,6	0,019	-
(36,75+12,25)+3,06	71,3	68,4	0,697	=
(73,5+24,5)+3,06	87,5	87,1	0,937	=
(147+49)+3,06	95,0	90,6	0,308	=
(294+98)+3,06	93,8	96,5	0,444	=
(588+196)+3,06	97,5	94,2	0,114	=
(9,2+3,06)+6,12	61,3	50,8	0,030	+
(18,4+6,12)+6,12	66,3	60,6	0,259	=
(36,75+12,25)+6,12	81,3	66,9	0,059	=
(73,5+24,5)+6,12	90,0	86,4	0,298	=
(147+49)+6,12	88,8	90,3	0,726	=
(294+98)+6,12	92,5	96,3	0,220	=
(588+196)+6,12	95,0	93,8	0,763	=
(9,2+3,06)+12,25	60,0	55,9	0,189	=
(9,2+3,06)+24,5	58,8	51,9	0,221	=
(9,2+3,06)+49	56,3	52,5	0,540	=
(9,2+3,06)+98	53,8	57,1	0,649	=
(9,2+3,06)+196	53,8	62,1	0,284	=
(18,4+6,12)+12,25	57,5	64,6	0,173	=
(18,4+6,12)+24,5	52,5	61,4	0,117	=
(18,4+6,12)+49	56,3	62,0	0,297	=
(18,4+6,12)+98	61,3	65,6	0,281	=
(18,4+6,12)+196	67,5	69,6	0,558	=

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

Na avaliação de controle aos 35 DAT (Tabela 8), a mistura de (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic mais 3,06 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil antagônica aos 28 DAT manteve seu efeito de antagonismo. Porém, neste período de avaliação três combinações proporcionaram efeitos sinérgicos para o controle de arroz daninho, com a mistura de (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic mais 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, verificou-se 62,5% de controle quando o esperado foi de 55,6%, com a combinação de (36,75+12,25) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil foi alcançado 76,3% de controle contra 65,6% de controle que foi o esperado. A terceira mistura sinérgica aos 35 DAT combinando 24,5 g i.a. ha⁻¹ de

saflufenacil mais (9,2+3,06) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, apresentou um percentual de controle um pouco inferior, atingindo 58,8% para um valor esperado de 48,8%.

Em estudos para avaliar o uso potencial de imazethapyr (imidazolinona) em misturas, Pellerin et al. (2004) reportaram que a combinação de imazethapyr com carfentrazone, um inibidor da Protox, proporcionou um menor controle de arroz daninho comparado a aplicação de imazethapyr isolado.

Como verificado aos 21 e 28 DAT o efeito de aditividade no controle de arroz daninho prevaleceu entre as misturas aos 35 DAT.

Tabela 8 - Percentual de controle observado e esperado de arroz daninho, aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) com misturas entre imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	Controle (%) 35DAT			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	51,3	51,4	0,964	=
(18,4+6,12)+3,06	52,5	58,4	0,018	-
(36,75+12,25)+3,06	75,0	67,9	0,299	=
(73,5+24,5)+3,06	95,0	95,4	0,896	=
(147+49)+3,06	96,3	93,1	0,290	=
(294+98)+3,06	97,5	100,0	0,134	=
(588+196)+3,06	97,5	97,6	0,952	=
(9,2+3,06)+6,12	53,8	48,2	0,083	=
(18,4+6,12)+6,12	62,5	55,6	0,035	+
(36,75+12,25)+6,12	76,3	65,6	0,032	+
(73,5+24,5)+6,12	91,3	95,1	0,255	=
(147+49)+6,12	88,8	92,6	0,210	=
(294+98)+6,12	97,5	100,0	0,134	=
(588+196)+6,12	100,0	97,5	0,134	=
(9,2+3,06)+12,25	55,0	50,8	0,212	=
(9,2+3,06)+24,5	58,8	48,8	0,003	+
(9,2+3,06)+49	56,3	50,1	0,141	=
(9,2+3,06)+98	58,8	52,1	0,126	=
(9,2+3,06)+196	57,5	58,0	0,898	=
(18,4+6,12)+12,25	60,0	57,8	0,537	=
(18,4+6,12)+24,5	53,8	56,1	0,375	=
(18,4+6,12)+49	61,3	57,3	0,340	=
(18,4+6,12)+98	62,5	58,9	0,095	=
(18,4+6,12)+196	66,3	64,0	0,258	=

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

Pode-se observar inicialmente um comportamento antagônico das misturas, sendo que no decorrer das avaliações houve uma considerável mudança nas interações, para efeitos sinérgicos e principalmente para a aditividade. Essa mudança no percentual de controle, pode ser atribuída pelo fato de que o herbicida imazapyr+imazapic, causa inibição do crescimento de plantas suscetíveis poucas horas após a aplicação, porém os sintomas visuais, como clorose e necrose podem levar mais de duas semanas para aparecerem (SENSEMAN, 2007). O efeito de antagonismo também foi observado em avaliações iniciais no controle de capim-arroz, quando imazapyr+imazapic foi combinado com cyhalofop-butyl, quinclorac, propanil+thiobencarb e clomazone, porém aos 28 DAT o efeito final observado foi de aditividade (MATZENBACHER et al., 2015). Em trabalho realizado por Fish et al. (2016), a mistura entre imazamox e propanil apresentou uma mudança de respostas no decorrer das avaliações de controle de arroz daninho, mudando de efeitos aditivos para sinérgicos ao final do período de avaliações. E quando avaliado o controle de capim-arroz com as mesmas misturas, foi relatada uma resposta antagônica em relação ao controle inicial (7 DAT), porém aos 49 DAT o efeito de aditividade foi constatado.

Importante destacar, que neste experimento todas as combinações testadas foram constituídas por pelo menos uma subdose de um dos dois herbicidas, sendo que não foram avaliadas as doses recomendadas para aplicação a campo destes herbicidas em uma mesma mistura. No entanto, pode-se observar que as doses de (73,5+24,5) e (147+49) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, que normalmente são recomendadas para aplicação em lavoura, quando misturadas com 3,06 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil apresentaram efeito aditivo e níveis elevados de controle de arroz daninho, com percentual de 95 e 96,3%, respectivamente. Enquanto as mesmas doses de imazapyr+imazapic misturadas com 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, apresentaram uma redução no controle de arroz daninho.

Para a variável percentual de redução da estatura das plantas os resultados mostraram um maior número de misturas com interação antagônica (Tabela 9), este efeito foi observado nas misturas de 3,06 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil com todas as doses de imazapyr+imazapic, 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil com (588+196) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic.

Tabela 9 - Percentuais observados e esperados de redução da estatura de plantas de arroz daninho em função da aplicação em pós-emergência de misturas de imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	Estatura (% de redução)			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	46,9	69,0	<0,001	-
(18,4+6,12)+3,06	48,8	70,7	<0,001	-
(36,75+12,25)+3,06	54,8	67,6	0,008	-
(73,5+24,5)+3,06	52,6	65,5	0,003	-
(147+49)+3,06	52,4	68,6	0,001	-
(294+98)+3,06	57,7	69,5	0,003	-
(588+196)+3,06	56,6	71,0	<0,001	-
(9,2+3,06)+6,12	55,6	52,2	0,231	=
(18,4+6,12)+6,12	57,2	54,8	0,498	=
(36,75+12,25)+6,12	51,3	50,1	0,828	=
(73,5+24,5)+6,12	58,6	46,9	0,004	+
(147+49)+6,12	50,2	51,7	0,498	=
(294+98)+6,12	53,2	53,0	0,942	=
(588+196)+6,12	48,5	55,2	0,016	-
(9,2+3,06)+12,25	55,0	61,8	0,069	=
(9,2+3,06)+24,5	53,3	54,3	0,696	=
(9,2+3,06)+49	48,8	56,3	0,013	-
(9,2+3,06)+98	51,5	64,1	<0,001	-
(9,2+3,06)+196	54,7	68,7	<0,001	-
(18,4+6,12)+12,25	51,1	63,5	0,020	-
(18,4+6,12)+24,5	50,9	56,8	0,174	=
(18,4+6,12)+49	51,5	58,6	0,095	=
(18,4+6,12)+98	51,1	65,7	0,011	-
(18,4+6,12)+196	56,4	70,4	<0,001	-

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

Quando utilizadas doses maiores de saflufenacil também se observou antagonismo com as duas doses menores de imazapyr+imazapic, como nas combinações de 49; 98; 196 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil com (9,2+3,06) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic, e nas misturas de 12,25; 98 e 196 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil com (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic. Para o parâmetro de percentual de redução de estatura apenas um tratamento apresentou interação sinérgica, com a combinação de (73,5+24,5) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic e 6,12 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, reduzindo em 58,6% a estatura, quando o valor esperado calculado foi de 46,9% de redução da estatura das plantas de arroz daninho.

Para a variável percentual de redução de massa seca da parte aérea verificou-se a ocorrência de cinco combinações antagônicas, equivalente a 20,8% das misturas avaliadas, quando realizada a combinação de (18,4+6,12) g e.a. ha⁻¹ de imazapyr+imazapic com 3,06; 24,5; 49; 98 e 196 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, sendo que as demais misturas realizadas apresentaram o efeito de aditividade para este parâmetro, atingindo 79,2% das misturas (Tabela 10).

Tabela 10 - Percentuais observados e esperados de massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) de plantas de arroz daninho em função da aplicação em pós-emergência de misturas de imazapyr+imazapic e saflufenacil. FAEM/UFPEl, Capão do Leão/RS, 2016.

Tratamentos (Imazapyr+Imazapic)+Saflufenacil (g e.a. ha ⁻¹ + g i.a. ha ⁻¹)	MMSPA (% de redução)			
	Observado	Esperado	Prob t ¹	Efeito ²
(9,2+3,06)+3,06	55,9	69,8	0,178	=
(18,4+6,12)+3,06	75,5	82,7	0,029	-
(36,75+12,25)+3,06	78,2	79,8	0,697	=
(73,5+24,5)+3,06	83,9	83,3	0,852	=
(147+49)+3,06	85,3	87,0	0,512	=
(294+98)+3,06	85,6	86,1	0,787	=
(588+196)+3,06	86,9	86,4	0,868	=
(9,2+3,06)+6,12	70,3	64,2	0,507	=
(18,4+6,12)+6,12	79,8	79,6	0,939	=
(36,75+12,25)+6,12	82,0	76,4	0,196	=
(73,5+24,5)+6,12	86,6	80,2	0,157	=
(147+49)+6,12	81,1	84,8	0,244	=
(294+98)+6,12	83,3	83,7	0,855	=
(588+196)+6,12	80,1	83,8	0,295	=
(9,2+3,06)+12,25	62,9	61,7	0,885	=
(9,2+3,06)+24,5	73,4	66,5	0,270	=
(9,2+3,06)+49	64,1	65,5	0,872	=
(9,2+3,06)+98	68,6	75,9	0,169	=
(9,2+3,06)+196	68,3	77,7	0,120	=
(18,4+6,12)+12,25	80,3	78,1	0,426	=
(18,4+6,12)+24,5	66,4	80,3	0,012	-
(18,4+6,12)+49	74,1	80,2	0,045	-
(18,4+6,12)+98	73,0	85,9	0,001	-
(18,4+6,12)+196	72,7	87,2	0,001	-

¹Teste t com nível de significância indicado. ²Efeito da mistura, onde + denota efeito de sinergismo, - antagonismo e = aditividade.

No caso das misturas antagônicas, essa interação pode estar relacionada a uma menor absorção e/ou translocação de imazapyr+imazapic quando aplicado em mistura com saflufenacil, pode-se observar que este efeito ocorreu predominantemente em misturas onde a dose mais elevada era de saflufenacil, combinada com uma subdose de imazapyr+imazapic. Embora, Camargo et al. (2012a) tenham reportado que saflufenacil ocasionou um aumento na absorção e translocação de imazethapyr em um biótipo de arroz daninho, em outros trabalhos como o de Unland et al. (1999), os autores reportaram antagonismo entre o herbicida imazamox, um inibidor da ALS em misturas com acifluorfen, fomesafen e lactofen, inibidores da Protox, constatando uma redução na absorção e translocação de imazamox quando aplicado em mistura. Comportamento semelhante foi encontrado em trabalho realizado por Eubank et al. (2013), onde a aplicação de saflufenacil em combinação com glifosato, reduziu a translocação de glifosato em biótipos suscetível e resistente de *Conyza canadensis*. A atividade de glifosato também foi reduzida em diversas plantas daninhas pela fitotoxicidade causada por saflufenacil, que apresenta rápida atividade de contato, causando morte das células e conseqüentemente limitando a translocação de outros herbicidas (ASHIGH; HALL, 2010).

Os resultados deste trabalho mostram algumas respostas diferentes de interações para certas misturas nas variáveis estudadas. Trezzi et al. (2016) também reportaram diferenças de interações para variáveis percentual de controle e massa seca da parte aérea de *Alternanthera tenella*, quando avaliaram saflufenacil em misturas com outros herbicidas causadores de estresse oxidativo. Sugerindo que provavelmente essas diferenças de respostas para a mesma mistura, seja ocasionada pelo fato de que no caso da análise de controle visual a avaliação é subjetiva e considera-se muito os sintomas como clorose, necrose e redução do desenvolvimento, o qual é quantificado precisamente com a avaliação da massa da matéria seca da parte aérea.

Para uma mesma variável também pode-se observar que ocorreu mais de um tipo de resposta nas diferentes misturas avaliadas, sugerindo que a interação entre herbicidas é bastante influenciada pela proporção de cada componente da mistura. A influência das doses na mistura de herbicidas, também foi reportada por Zhang et al. (2005), onde eles observaram efeito aditivo da mistura de 75 g i.a. ha⁻¹

fenoxaprop com bentazon ou propanil+molinate para o controle de capim-arroz e efeito foi antagônico quando a dose de fenoxaprop foi elevada para 85 g i.a. ha⁻¹.

No presente trabalho observa-se que houve mais interações antagônicas quando se considera as avaliações da variável de percentual de redução da estatura, em relação as demais variáveis, este resultado pode estar atribuído ao menor número de folhas emitidas por planta após os tratamentos, conseqüentemente resultando em um menor acúmulo de matéria seca da parte aérea. No entanto, algumas misturas certamente não influenciaram na estatura das plantas. Assim a redução da massa da matéria seca da parte aérea das plantas é a variável que melhor expressa os efeitos de interação das misturas.

3.4. Conclusões

Com os resultados obtidos com as misturas avaliadas e nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que através do método de Colby a principal interação entre imazapyr+imazapic e saflufenacil em arroz daninho é a aditividade.

As duas subdoses de imazapyr+imazapic combinadas com todas doses de saflufenacil aplicadas em pós-emergência não são eficientes para o controle de arroz daninho.

4. CAPÍTULO 3 - Alterações no metabolismo antioxidante em sementes de soja durante a germinação em função da aplicação de saflufenacil em condições de luz e escuro

4.1. Introdução

O modo de ação dos inibidores da enzima Protoporfirinogênio IX oxidase (PROTOX) está relacionado diretamente com a presença de um pigmento fotodinâmico, a protoporfirina IX, que é um precursor da clorofila. A inibição da Protox induz ao processo de acúmulo descontrolado de protoporfirinogênio IX que se difunde através da membrana externa dos cloroplastos para o citoplasma, onde é convertido a protoporfirina IX, molécula altamente fotodinâmica. Na presença da luz, protoporfirina IX gera oxigênio singlet altamente reativo, que induz a peroxidação de lipídios da membrana plasmática (DAYAN; DUKE, 2010). Assim, os inibidores da Protox também são conhecidos como herbicidas dependentes de luz (HESS, 2000). Porém, com as aplicações em pré-emergência, os tecidos vegetais são danificados pelo contato com o herbicida somente quando a planta emerge acima da superfície do solo (HWANG et al., 2004).

Nas plantas, durante o metabolismo celular, oxigênio molecular (O_2) é reduzido à água e espécies reativas de oxigênio (EROs) que incluem o radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$), radical hidroxila (OH^{\cdot}), radical hidroperoxila (HO_2^{\cdot}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e oxigênio singlet (1O_2) (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011). As EROs são altamente reativas e tóxicas, causando danos em proteínas, lipídios, carboidratos, DNA e conseqüentemente, resultando em morte celular. A produção de EROs ocorre principalmente em cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos. O equilíbrio entre a produção e eliminação de EROs pode ser afetado por diversos fatores de estresses abióticos e bióticos, como os herbicidas, salinidade, déficit

hídrico, extremos de temperatura, patógenos, entre outros (GILL; TUTEJA, 2010; FIKRET et al., 2013; BARBOSA et al., 2014; KERCHEV et al., 2015).

Para neutralizar a ação tóxica das EROs nas células vegetais, as plantas desenvolveram mecanismos de defesas enzimáticos e não enzimáticos. No mecanismo antioxidante não enzimático, destacam-se o ascorbato, a glutathiona, β -caroteno e o α -tocoferol (BARBOSA et al., 2014). As principais enzimas envolvidas no mecanismo antioxidante enzimático para detoxicação das EROs são as superóxido dismutases (SODs), as catalases (CATs), glutathiona peroxidase (GPX), as peroxidases do ascorbato (APXs) e as peroxidases de fenóis (POXs) (APEL; HIRT, 2004; MAIA et al., 2012).

Saflufenacil um herbicida inibidor da Protox que foi lançado em 2010, é recomendado para dessecação de culturas, dessecação pré-plantio e aplicação em pré-emergência e atividade residual com controle das principais plantas daninhas de inúmeras culturas (GROSSMANN et al., 2011). Apesar de ser indicado para aplicação em pré-emergência e apresentar controle residual, por ser um herbicida relativamente novo, as pesquisas relacionadas com a ação deste herbicida durante o processo germinativo ainda são incipientes. Existe uma hipótese que este herbicida possa apresentar algum outro tipo de atividade, que não o modo de ação característico dos inibidores da Protox, sobre plântulas quando aplicado em pré-emergência sem que necessite da incidência da luz solar para causar danos aos tecidos vegetais.

Portanto o objetivo deste trabalho foi elucidar se saflufenacil obrigatoriamente depende da incidência da luz para causar alterações no metabolismo antioxidante e na integridade das membranas das células durante o processo de germinação.

4.2. Materiais e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica – Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas. Para a execução do experimento foram semeadas 20 sementes de soja do cultivar Brasmax Tornado em caixas plásticas do tipo gerbox, sobre papel substrato mata-borrão previamente umedecido com 25 mL de solução herbicida. O

experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema bifatorial. Sendo que o fator A foi constituído por seis doses de saflufenacil, 0; 1,5; 3; 6; 12 e 24 μM , equivalentes a 0; 12,5; 25; 50; 100 e 200 gramas do ingrediente ativo por hectare (g i.a. ha^{-1}), respectivamente. E o fator B constituído por duas condições de intensidade de luz, sendo uma condição no escuro ($0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e outra condição sob $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, com um fotoperíodo de 14 horas. Os tratamentos foram compostos por quatro repetições, cada uma representada por um gerbox.

As sementes foram incubadas em câmara de crescimento com temperatura controlada de 25°C . Após seis dias de incubação realizou-se a coleta do material vegetal para realização das avaliações da atividade das enzimas SOD, CAT e APX, assim como, quantificação de peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica e extravasamento de eletrólitos. Sendo que o material para atividade enzimática, quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica foi acondicionado em nitrogênio líquido no momento da coleta e posteriormente em ultrafreezer a -80°C até a realização das análises.

Atividade de enzimas antioxidantes

Para a extração das enzimas antioxidantes, 600 mg de material vegetal de plântulas foram macerados com polivinilpolipirrolidona (PVPP) (10 % p/p) e homogeneizados em 2 mL de tampão de extração, composto por fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) 0,1 mM, ácido ascórbico 10 mM e água destilada. Após a maceração, realizou-se a centrifugação a 13.000 g , por 20 minutos a 4°C . O sobrenadante foi coletado e utilizado para realização das análises enzimáticas da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) e quantificação de proteínas totais.

A atividade da SOD foi avaliada pela capacidade da enzima inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977), em um meio de incubação composto por fosfato de potássio 50mM (pH 7,8), metionina 14 mM, EDTA 0,1 μM , NBT 75 μM e riboflavina 2 μM , água destilada e extrato enzimático das amostras. Em tubos de ensaio as amostras contendo meio de reação e os controles contendo apenas meio de reação foram iluminados durante 7 minutos acondicionados em uma caixa adaptada contendo uma lâmpada fluorescente de

20W, enquanto o padrão de referência (branco) foi mantido no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e a atividade enzimática obtida através da equação: % de inibição = $(A_{560} \text{ amostra com extrato enzimático} - A_{560} \text{ controle sem enzima}) / (A_{560} \text{ controle sem enzima})$. Sendo que uma unidade de SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50% a fotoredução do NBT nas condições do ensaio, e o resultado expresso em $U \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da CAT foi avaliada conforme Azevedo et al. (1998), com base no consumo de H_2O_2 . O meio de reação foi composto por tampão de incubação de fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H_2O_2 (12,5 mM), água destilada e extrato enzimático. A atividade foi quantificada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante o período de 1,5 minutos, sendo o resultado expresso em $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A avaliação da atividade da APX foi realizada segundo Nakano e Asada (1981), relacionada com a taxa de oxidação do ascorbato, utilizando-se meio de reação composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), ácido ascórbico 0,5 mM, H_2O_2 (0,1 mM), água destilada e extrato enzimático. A oxidação do ascorbato foi monitorada pelo decréscimo na absorbância a 290 nm durante 1,5 minutos e os resultados expressos em $\mu\text{mol ASA min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína. A quantificação de proteínas totais foi realizada pelo método de Bradford (1976), com resultados expressos em mg de proteína g^{-1} de massa fresca.

Quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica

Para a quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, 600 mg de material vegetal de plântulas foram macerados e homogeneizados em 2 mL de ácido tricloroacético (TCA a 0,1%) e centrifugados a 12.000 g por 15 minutos, a temperatura de 4°C.

A quantificação de peróxido de hidrogênio foi realizada conforme descrito por Loreto e Velikova (2001), preparando-se um meio de reação contendo tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0), 1 mL de iodeto de potássio 1 M e 100 μL de extrato de amostra, o H_2O_2 foi determinado realizando-se leitura de absorbância a 390 nm e os resultados expressos em $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ g}^{-1}$ de massa fresca.

A peroxidação lipídica foi determinada através da quantificação das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), neste caso, pelo acúmulo de

malondialdeído (MDA), conforme descrito por Heath e Packer (1968). Para quantificação das TBARS adicionou-se 100 µL de extrato de amostra ao meio de reação contendo 1,0 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) (0,5% m/v) e TCA (10% m/v). Em seguida, incubou-se as reações, a 95°C, por 30 minutos, a reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo por 10 minutos, e a absorbância determinada a 535 nm e 600 nm. Realizou-se o cálculo da concentração de MDA/TBA através da seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600})/(\xi \cdot b)$, onde: ξ (coeficiente de extinção = $1,56 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$) e b : (comprimento ótico = 1). A peroxidação foi expressa em µmol de MDA g⁻¹ de massa fresca.

Extravasamento de eletrólitos

Para a mensuração do extravasamento de eletrólitos, quatro cotilédones de cada repetição foram coletados e lavados em água destilada. As amostras foram colocadas em tubos de ensaio revestidos com papel alumínio contendo 5 mL de água deionizada. As amostras foram incubadas por um período de 24 horas a temperatura de 20°C. Após o período de incubação realizou-se a primeira leitura de condutividade elétrica (E1), utilizando-se condutivímetro digital portátil Combo 5 (AKSO®), com resolução de $1 \mu\text{S cm}^{-1}$. Após a primeira leitura as amostras foram autoclavadas por 20 minutos a 120°C, com a temperatura equilibrada em torno de 20°C realizou-se a segunda leitura de condutividade elétrica (E2). Os valores de extravasamento de eletrólitos foram expressos conforme descrito por Kim et al. (2012), E.L. (%) = $(E1/E2) \times 100$.

Os resultados de extravasamento de eletrólitos foram transformados em $xT = \arccos(\sqrt{x/100})$, para análise estatística. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando apropriado e dependendo da variável em estudo, realizaram-se regressões ajustando-se modelos não-lineares (quando ajustável) aos dados dos tratamentos, utilizando-se o software Sigma Plot 11. Nos experimentos para realizar as regressões, considerou-se as doses de saflufenacil como fator independente e as variáveis avaliadas como fator dependente.

4.3. Resultados e Discussão

Neste estudo, verificou-se interação significativa entre os fatores dose herbicida (saflufenacil) e intensidade de luz (0 e 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para todas as variáveis estudadas.

Sabe-se que o próprio processo de germinação ocasiona a formação de EROs, sendo que a atividade mitocondrial é uma das principais fontes de peróxido, a partir da embebição da semente e retomada da respiração. Outra organela importante na geração de EROs durante a germinação são os glioxissomos, durante o processo germinativo ocorre a mobilização e metabolismo de lipídios de reserva que levam à formação de superóxido e peróxido de hidrogênio pela ação da glicolato oxidase (GOMES; GARCIA, 2013).

Neste trabalho os resultados da enzima SOD foram submetidos à análise de regressão ajustados pela equação quadrática. A atividade desta enzima foi maior na condição de 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do que no escuro, nas doses de 0; 1,5; 3,0; 6,0 e 24,0 μM . Indicando uma produção anormal de superóxido. Nos tratamentos com 100 g i.a. ha^{-1} a atividade da SOD foi elevada nas duas condições de luz (Figura 1). Comparando as doses de saflufenacil na intensidade de luz de 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, verificou-se que o controle, a menor e a maior dose (0; 1,5 e 24,0 μM) apresentaram uma menor atividade da SOD, diferindo dos tratamentos com as doses de 3,0; 6,0; 12 μM . Quando comparadas as doses no escuro, o comportamento foi semelhante, com menor atividade da SOD no controle, 1,5 e 24,0 μM , e a maior atividade foi observada quando utilizado a dose de 12,0 μM , igualando ao tratamento exposto à luz, indicando a presença de espécies reativas de oxigênio. Plantas de arroz transgênico resistentes aos inibidores da Protox, expostas à luz e ao herbicida oxyfluorfen, apresentaram um aumento expressivo na atividade das enzimas antioxidantes, especialmente em três isoformas da SOD, desempenhando um papel fundamental no mecanismo de defesa contra reações fotodinâmicas (LEE et al., 2004). Os resultados obtidos neste trabalho em relação a atividade da SOD em tratamentos sob regime de luz, corroboram com resultados de Cataneo et al. (2005), onde foi observado um incremento na atividade da SOD em plantas de soja sob estresse causado por oxyfluorfen, na ocasião também foi relatado um aumento de lipoperóxidos.

Nas células a enzima SOD constitui a primeira linha de defesa contra as EROs (ALSCHER et al., 2002). Ela atua na conversão do superóxido em peróxido de hidrogênio, sendo que o peróxido é então reduzido a água principalmente pelas enzimas APX e CAT (APEL; HIRT, 2004; HASSAN; ALLA, 2005). Para se obter um poderoso sistema de metabolização das EROs é necessário que quando ocorra um incremento na atividade da SOD, haja também um incremento na atividade das demais enzimas envolvidas no sistema antioxidante como as catalases e peroxidases (PIACENTINI et al., 2001), porém os resultados obtidos neste trabalho mostram que em alguns tratamentos onde a atividade da SOD foi elevada, nem sempre a atividade da CAT ou APX foi incrementada.

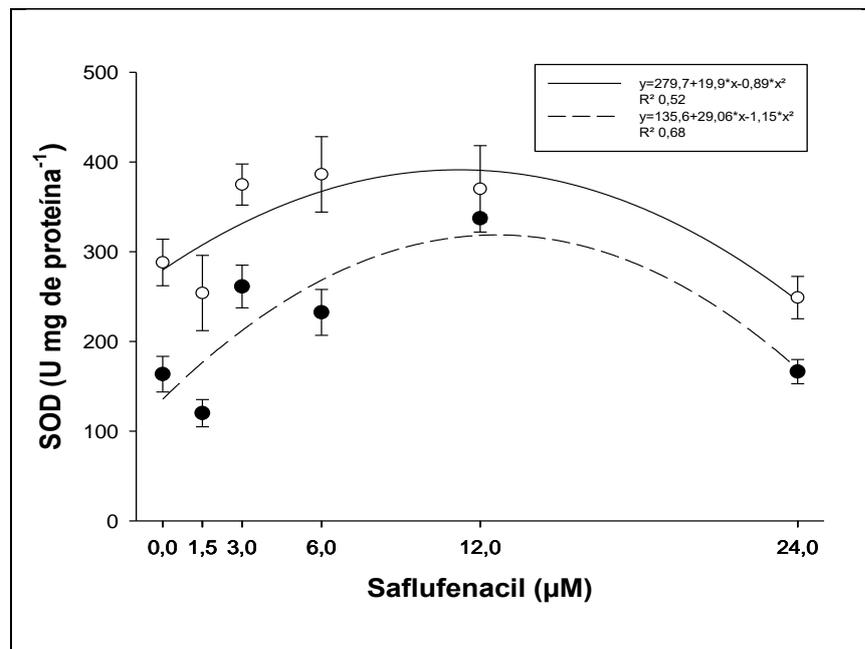


Figura 1. Atividade da enzima SOD em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○) submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.

Para a atividade da CAT comparando as doses nas duas condições de intensidade de luz, verificou-se que o controle na presença de luz apresentou maior atividade da enzima em relação ao controle mantido no escuro. Já na dose de 6,0 µM de saflufenacil a atividade da CAT foi maior na condição de escuro. Nos tratamentos mantidos sob intensidade de luz de 500 µmol m⁻² s⁻¹ a dose de 3,0 µM de saflufenacil causou maior atividade da CAT, sendo que com 12,0 e 24,0 µM a atividade da CAT foi muito inferior, menor até mesmo que o controle. Dentre as

doses comparadas no escuro, 3,0 e 6,0 μM apresentaram maior atividade, diferindo significativamente das demais doses sob a mesma condição (Figura 2). Resultados de redução severa da atividade da CAT também foram reportados por Geoffroy et al. (2002) quando aplicado oxyfluorfen com diuron, sugerindo que a inibição enzimática possa ter sido ocasionada pelo superprodução de EROs.

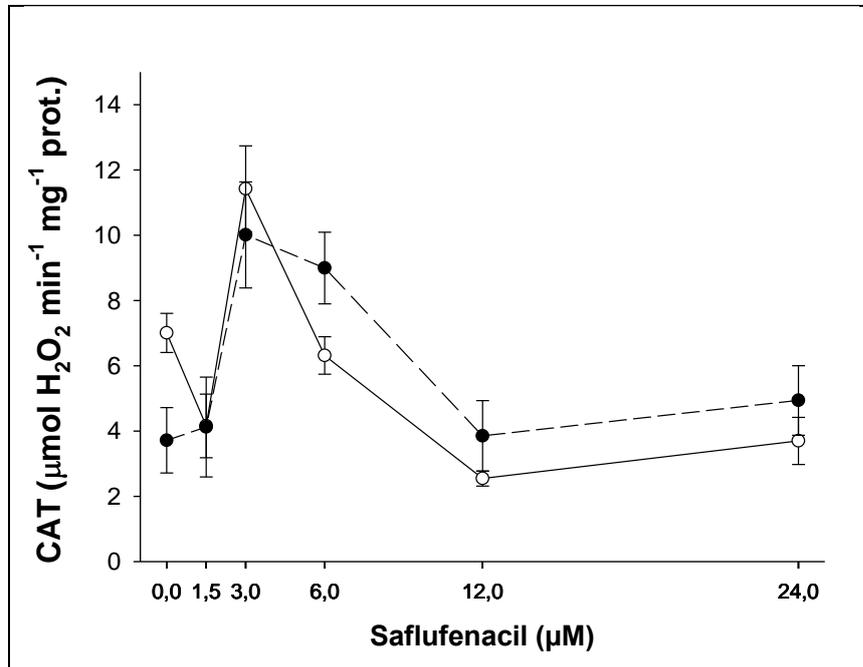


Figura 2. Atividade da enzima CAT em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.

A atividade da enzima APX foi significativamente superior para o controle, 1,5; 3,0; 24,0 μM de saflufenacil dos tratamentos com $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de intensidade de luz em comparação com ausência de luz. Sendo que na presença de luz houve um aumento na atividade da APX nas doses de 3,0 e 6,0 μM de saflufenacil. No escuro houve uma maior atividade da APX nos tratamentos com saflufenacil nas doses de 3,0; 6,0; 12,0 e 24,0 μM (Figura 3). Buono et al. (2011), reportaram que o herbicida Fluorodifen, que também é inibidor da Prottox, na presença de luz, causou um aumento na atividade da enzima APX em plantas de trigo e azevém, porém a atividade da CAT não foi alterada. Os resultados mostram que houve uma maior atividade da APX em relação a CAT, este comportamento pode ser atribuído a uma característica da enzima APX, de possuir alta afinidade por peróxido de hidrogênio

(SOFO et al., 2015), inclusive essa afinidade é maior do que a afinidade da CAT por peróxido de hidrogênio (LANGARO et al., 2016).

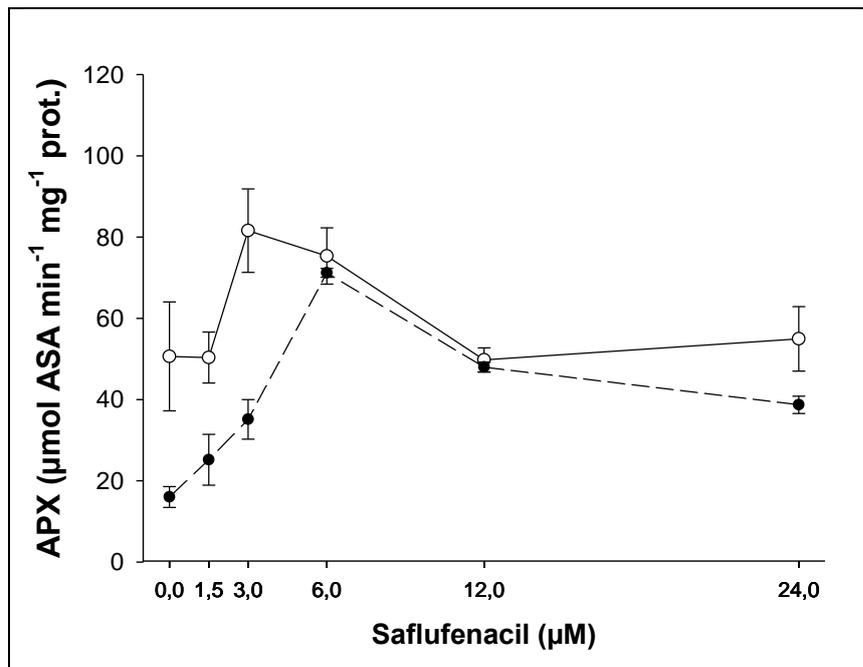


Figura 3. Atividade da enzima APX em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.

Os teores de peróxido de hidrogênio foram superiores nos tratamentos mantidos sob regime de intensidade de luz de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e nesta condição as doses foram significativas na produção de peróxido, sendo que todas as doses ocasionaram um aumento no teor de peróxido em relação ao controle, com os maiores valores nas doses de 3,0; 6,0 e 12,0 μM , estes resultados podem explicar o incremento constatado na atividade da enzima SOD. Na ausência de luz o comportamento foi semelhante, apesar dos teores de peróxido terem sido menores do que na presença de luz, todas as doses de saflufenacil mostraram um teor de peróxido de hidrogênio superior ao constatado na testemunha (Figura 4), porém a quantidade acumulada dessa EROs no escuro não foi suficiente para causar uma maior peroxidação lipídica e extravasamento de eletrólitos em comparação ao controle. O elevado teor de peróxido nos tratamentos que foram expostos à luz, possivelmente esteja relacionado com a baixa atividade e ineficiência apresentadas pela CAT e APX em metabolizar o peróxido de hidrogênio.

O aumento do teor de MDA está relacionado com a ocorrência de peroxidação lipídica (HASSAN; ALLA, 2005). Através dos resultados obtidos foi possível verificar que houve maior peroxidação lipídica nos tratamentos mantidos sob presença de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidade de luz em comparação com tratamentos no escuro. No entanto, comparando os tratamentos com presença de luz, a dose de $6,0 \mu\text{M}$ de saflufenacil apresentou nível de peroxidação lipídica superior as demais doses nesta condição. Já na condição de escuro as doses de $1,5$ e $6,0 \mu\text{M}$ proporcionaram uma menor peroxidação lipídica, diferindo do controle e do tratamento com $3,0 \mu\text{M}$ de saflufenacil (Figura 5).

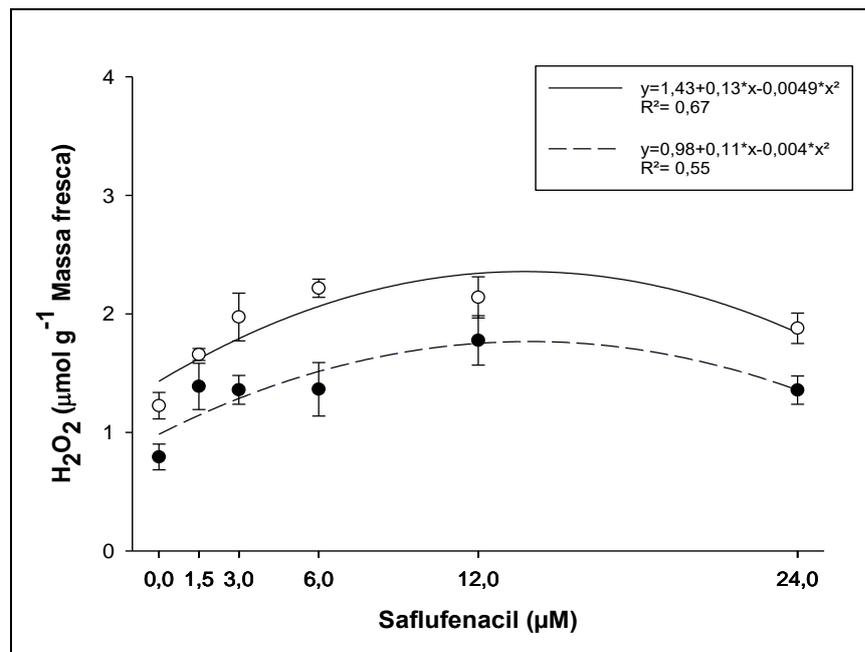


Figura 4. Teor de H_2O_2 em plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.

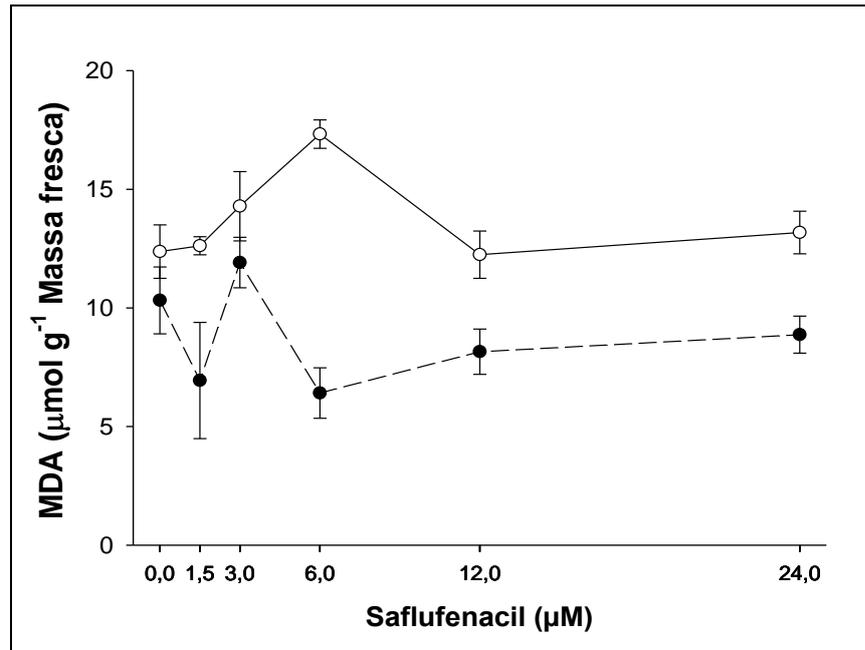


Figura 5. Conteúdo de MDA de plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.

A quantificação do extravasamento de eletrólitos tem sido bastante utilizada para avaliar a atividade de herbicidas que causam a destruição de membranas, incluindo os inibidores da Protox (LI et al., 2000; DAYAN; WATSON, 2011). Na determinação do extravasamento de eletrólitos pode-se observar que os maiores valores foram obtidos nos tratamentos com intensidade de luz de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, porém as doses de 1,5 e 3,0 μM de saflufenacil não diferiram da testemunha (6,9%), sendo ainda que os tratamentos com a dose de 1,5 μM não diferiram para o fator intensidade de luz, já nas doses de 6,0; 12,0 e 24 μM o extravasamento foi de 11,7, 11,6 e 9,9%, respectivamente. Na condição de escuro, as doses de saflufenacil não diferiram do tratamento controle (Figura 6).

Estes resultados de maior extravasamento de eletrólitos na presença de luz, são esperados para inibidores da protox. Os resultados obtidos neste experimento corroboram com resultados reportados por Dayan e Watson (2011), avaliando o extravasamento de eletrólitos causado por acifluorfen e sulfentrazone em cotilédones de *Cucumis sativus*, foi observado valores de extravasamento muito superiores em amostras expostas à luz em relação às amostras incubadas no escuro. Em estudos para avaliar os efeitos de oxyfluorfen em tecido foliar de arroz, Pham et al. (2015) observaram um aumento da condutividade elétrica, indicando

extravasamento celular depois de 15 horas de exposição à luz ($250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), após permanecer um período de 12 horas de incubação no escuro.

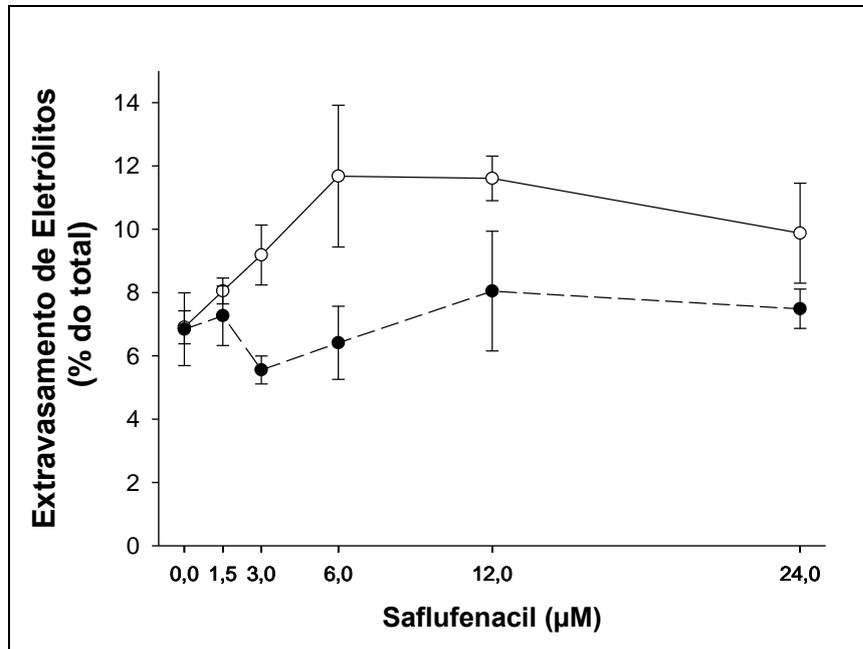


Figura 6. Extravasamento de eletrólitos em cotilédones de plântulas de soja incubadas no escuro (●) e na presença de luz (○), submetidas à aplicação de saflufenacil, durante o período de germinação. As linhas verticais em cada ponto indicam um intervalo de confiança de 95%.

Neste trabalho verificou-se que tratamentos com saflufenacil mantidos no escuro, apresentaram um incremento significativo na atividade da SOD, CAT, da APX e teor do H_2O_2 em relação à testemunha mantida na mesma condição, porém isto não refletiu no aumento da peroxidação lipídica e no extravasamento de eletrólitos. Na literatura não foram encontrados resultados relacionando a ocorrência de alterações no metabolismo antioxidante em função da atividade de inibidores da Protox aplicados em tecidos vegetais incubados em condição de escuro. Apesar dos resultados apontarem para uma alteração no metabolismo antioxidante causada por saflufenacil no escuro, proporcionando um aumento no teor de peróxido, pode-se observar que o sistema foi capaz de metabolizar estas EROs, evitando assim a peroxidação lipídica, o que não foi observado com o tratamento de $6,0 \mu\text{M}$ na presença de luz.

4.4. Conclusões

A aplicação de saflufenacil induz um incremento na produção de EROs durante o processo de germinação de sementes de soja na presença e na ausência de luz, que atuam ativando o sistema antioxidante.

Na ausência de luz o sistema antioxidante é capaz de metabolizar as EROs acumuladas por saflufenacil, evitando a peroxidação lipídica das membranas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que se refere a utilização de saflufenacil em mistura com herbicidas do sistema de cultivo de arroz irrigado do sul do Brasil, os resultados deste trabalho são importantes, visto que não existem muitas publicações sobre o uso deste herbicida em mistura para aplicação no cultivo de arroz, nas condições do Brasil.

Os experimentos em condições de campo confirmaram que aplicação de saflufenacil nas doses utilizadas em mistura não causa perdas de produtividade do cultivar Puitá INTA CL e também não ocasiona redução na atividade de controle de imazapyr+imazapic sobre arroz daninho e capim-arroz. Os resultados obtidos também mostraram que somente uma aplicação em pós-emergência de imazapyr+imazapic, seja em mistura ou isolado, não proporciona controle total de arroz daninho, sendo que em condições de lavoura comercial deve-se considerar a aplicação em pré-emergência.

O estudo de interação das misturas entre saflufenacil e imazapyr+imazapic no controle de arroz daninho, confirmou que a utilização de saflufenacil não reduz o controle de arroz daninho, proporcionando na maioria das situações efeitos de aditividade. No entanto, se torna importante a realização de estudos para avaliar a absorção e translocação destes herbicidas nestas plantas daninhas.

Diante disso, saflufenacil pode ser mais uma ferramenta para uso nas lavouras de arroz-irrigado do Rio Grande do Sul, proporcionando aumento no espectro de controle de plantas daninhas de folhas largas, inclusive de espécies resistentes aos imidazolinonas.

Referente ao experimento para elucidar as alterações no sistema antioxidante de soja durante processo de germinação em função da aplicação de saflufenacil com ausência ou presença de luz, observou-se maior alteração no metabolismo antioxidante na presença de luz, resultado esperado para inibidores da Protox. Ainda que no escuro saflufenacil tenha induzido um incremento de alguns parâmetros

avaliados em relação a testemunha, não foram constatados danos significativos nas membranas celulares.

Com estes resultados, mais estudos relacionados a ação de saflufenacil em ambiente com bloqueio de luz se tornam necessários para tentar entender de que maneira ocorre a indução da atividade das enzimas do sistema antioxidante nesta condição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D. GALON, L.; SILVA, J.M.B.V.; TIRONI, S.P.; ANDRES, A. Interference and Economic Weed Threshold (Ewt) of Barnyardgrass on Rice as a Function of Crop Plant Arrangement. **Planta Daninha**, v. 28, p. 993–1003, 2010.

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em:<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 03 de junho de 2016.

AKOBUNDU, I.O.; SWEET, R.D.; DUKE, W.B. A Method of Evaluating Herbicide Combinations and Determining Herbicide Synergism. **Weed Science**, v. 23, n. 1, p. 20–25, 1975.

ALSCHER, R.G.; ERTURK, N.; HEATH, L.S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 372, p. 1331–1341, 2002.

ANDRES, A.; GOMES, A.S.; THEISEN, G.; PETRINI, J.A.; MARTINS, J.F.S. Manejo da água e de plantas daninhas em arroz irrigado. In: **Documentos 191 Novos Horizontes para a Sustentabilidade da Lavoura Orizícola do Rio Grande do Sul**. [s.l: s.n.]. p. 15–36. 2008.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 55, p. 373–399, 2004.

ASHIGH, J.; HALL, J.C. Bases for Interactions between Saflufenacil and Glyphosate in Plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 7335–7343, 2010.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, n. 104, p. 280–292, 1998.

AZMI, M.; AZLAN, S.; YIM, K.M.; GEORGE, T.V.; CHEW, S.E. Control of weedy rice in direct-seeded rice using the clearfield production system in Malaysia. **Pak. J. Weed Sci. Res.**, v. 18, p. 49–53, 2012.

BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014.

BRADFORD, M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical**

Biochemistry, v. 254, n. 72, p. 248–254, 1976.

BUONO, D. DEL; IOLI, G.; NASINI, L.; PROIETTI, P. A Comparative Study on the Interference of Two Herbicides in Wheat and Italian Ryegrass and on Their Antioxidant Activities and Detoxification Rates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 12109–12115, 2011.

BURGOS, N.R.; NORSWORTHY, J.C.K.; SCOTT, R. C.; SMITH, K.L. Red Rice (*Oryza sativa*) Status after 5 Years of Imidazolinone-Resistant Rice Technology in Arkansas. **Weed Technology**, v. 22, n. 1, p. 200–208, 2008.

CAMARGO, E. R.; SENSEMAN, S. A.; MCCAULEY, G. N.; BOWE, S.; HARDEN, J.; GUICE, J. B. Interaction between saflufenacil and imazethapyr in red rice (*Oryza ssp.*) and hemp sesbania (*Sesbania exaltata*) as affected by light intensity. **Pest Manag Sci**, v. 68, p. 1010–1018, 2012a.

CAMARGO, E.R.; SENSEMAN, S.A.; MCCAULEY, G.N.; GUICE, J.B. Rice (*Oryza sativa* L.) response and weed control from tank-mix applications of saflufenacil and imazethapyr. **Crop Protection**, v. 31, n. 1, p. 94–98, 2012b.

CATANEO, A.C.; CHAMMA, K.L.; FERREIRA, L.C.; DÉSTRO, G.F.G.; SOUSA, D.C.F. Atividade de Superóxido dismutase em plantas de soja (*Glycine max* L.) cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, n. 2, 2005.

CHATURVEDI, M.; DATTA, K.; NAIR, P.K.K. Pollen morphology of *Oryza* (Poaceae). **Grana**, v. 37, n. 2, p. 79–86, 1998.

CHAUHAN, B. S. Strategies to manage weedy rice in Asia. **Crop Protection**, v.48, p. 51–56, 2013.

CHAUHAN, B.S.; JOHNSON, D.E. Implications of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Echinochloa crus-galli* emergence for weed growth and crop yield loss in aerobic rice. **Field Crops Research**, v. 117, p. 177–182, 2010.

CHORBADJIAN, R.; KOGAN, M. Interaction between glyphosate and fluroxypyr improve mallow control. **Crop Protection**, v. 21, n. 8, p. 689–692, 2002.

COLBY, S.R. Calculating Synergistic and Antagonistic Responses of Herbicide Combinations. **Weed Science Society of America**, v. 15, n. 1, p. 20–22, 1967.

CONCENÇO, G. LOPES, N.F.; ANDRES, A.; MORAES, D.M.; SANTOS, M.Q.; RIEFFEL FILHO, J.A.; VILELLA, J.V. Controle de plantas daninhas em arroz irrigado em função de doses de herbicidas pré-emergentes e início da irrigação. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 303–309, 2006.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. **Crop Sci**, v. 40, p. 436–443, 2000.

CROUGHAN, T.P. Application of tissue culture techniques to the development of herbicide resistant rice. **La Agric.**, v. 3, p. 25–26, 1994.

DALAZEN, G.G. KRUSE, N.D.; MACHADO, S.L.O.; BALBINOT, A. Sinergismo na combinação de glifosato e saflufenacil para o controle de buva. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 2015, p. 249–256, 2015.

DAMALAS, C.A. Herbicide Tank Mixtures: Common Interactions. **International Journal of Agriculture e Biology**, v. 6, n. 1, p. 209–212, 2004.

DAMALAS, C.A.; DHIMA, K.V.; ELEFTHEROHORINOS, I.G. Bispyribac–Sodium Efficacy on Early Watergrass (*Echinochloa oryzoides*) and Late Watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) as Affected by Coapplication of Selected Rice Herbicides and Insecticides. **Weed Technology**, v. 22, n. 4, p. 622–627, 2008.

DAYAN, F.E.; DUKE, S.O. Protoporphyrinogen Oxidase-Inhibiting Herbicides. In: KRIEGER, R. (Ed.). **Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology**. 3. ed. New York: [s.n.], p. 1733–1751. 2010.

DAYAN, F.E.; WATSON, S.B. Plant cell membrane as a marker for light-dependent and light-independent herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 101, p. 182–190, 2011.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília. 353, 2013.

ERASMO, E.A.L.; PINHEIRO, L.L.A.; COSTA, N.V. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes em áreas de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 195–201, 2004.

EUBANK, T.W.; NANDULA, V.K.; REDDY, K.N.; POSTON, D.H.; SHAW, D.R. Saflufenacil efficacy on horseweed and its interaction with glyphosate. **Weed Biology and Management**, v. 13, p. 135–143, 2013.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS **Statistics Division**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse>>. Acesso em: 3 de junho de 2016.

FIKRET, Y.; MANAR, T.; ŞEBNEM, E.; ŞEBNEM, K.; ÖZLEM, U. SOD, CAT, GR and APX Enzyme Activities in Callus Tissues of Susceptible and Tolerant Eggplant Varieties under Salt Stress. **Research Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 11, p. 45–51, 2013.

FISH, J.C.; WEBSTER, E.P.; BLOUIN, D.C.; BOND, J.A. Imazethapyr Co-Application Interactions in Imidazolinone-Resistant Rice. **Weed Technology**, v. 29, n. 4, p. 689–696, 2015.

FISH, J.C.; WEBSTER, E.P.; BLOUIN, D.C.; BOND, J.A. Imazamox Plus Propanil Mixtures for Grass Weed Management in Imidazolinone-Resistant Rice. **Weed Technology**, v. 30, n. 1, p. 29–35, 2016.

FLINT, J.L.; CORNELIUS, P.L.; BARRETT, M. Analyzing Herbicide Interactions: A Statistical Treatment of Colby's Method. **Weed Technology**, v. 2, n. 3, p. 304–309, 1988.

FRIHAUF, J.C.; STAHLMAN, P.W.; GEIER, P.W.; PETERSON, D.E. Winter Annual Broadleaf Weeds and Winter Wheat Response to Postemergence Application of Two Saflufenacil Formulations. **Weed Science Society of America**, v. 24, n. 4, p. 416–424, 2010.

GALON, L.; AGOSTINETTO, D.; MORAES, P.V.D.; TIRONI, S.P.; DAL MAGRO, T. Estimativa das perdas de produtividade de grãos em cultivares de arroz (*Oryza*

sativa) pela interferência do capim-arroz (*Echinochloa* spp.). **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 697–707, 2005.

GEALY, D.R.; MITTEN, D.H.; RUTGER, J.N. Gene Flow Between Red Rice (*Oryza sativa*) and Herbicide-Resistant Rice (*O. sativa*): Implications for Weed Management. **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 627–645, 2003.

GEOFFROY, L.; TEISSEIRE, H.; COUDERCHET, M.; VERNET, G. Effect of oxyfluorfen and diuron alone and in mixture on antioxidative enzymes of *Scenedesmus obliquus*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 72, p. 178–185, 2002.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide Dismutases. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309–314, 1977.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology et Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909–930, 2010.

GOMES, M.P.; GARCIA, Q.S. Reactive oxygen species and seed germination. **Biologia**, v. 68, n. 3, p. 351–357, 2013.

GOULART, I.C.G.R.; PACHECO, M.T.; NUNES, A.L.; MEROTTO JR, A. Identification of origin and analysis of population structure of field-selected imidazolinone-herbicide resistant red rice (*Oryza sativa*). **Euphytica**, v. 187, p. 437–447, 2012.

GOWING, D.P. Comments on Tests of Herbicide Mixtures. **Weeds**, v. 8, n. 3, p. 379–391, 1960.

GREEN, J.M.; OBRIGAWITCH, T.T.; LONG, J. D.; HUTCHISON, J.M. Metribuzin and Chlorimuron Mixtures for Preemergence Broadleaf Weed Control in Soybeans, *Glycine max*. **Weed Technology**, v. 2, n. 3, p. 355–363, 1988.

GRISP, Global Rice Science Partnership. **Rice Almanac**. 4. ed. 283p, 2013.

GROSSMANN, K.; NIGGEWEG, R.; CHRISTIANSEN, N.; LOOSER, R.; EHRHARDT, T. The Herbicide Saflufenacil (Kixor™) is a New Inhibitor of Protoporphyrinogen IX Oxidase Activity. **Weed Science**, v. 58, n. 1, p. 1–9, 2010.

GROSSMANN, K.; HUTZLER, J.; CASPAR, G.; KWIATKOWSKI, J.; BROMMER, C. L. Saflufenacil (Kixor™): Biokinetic Properties and Mechanism of Selectivity of a New Protoporphyrinogen IX Oxidase Inhibiting Herbicide. **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 290–298, 2011.

HASSAN, N.M.; ALLA, M.M.N. Oxidative stress in herbicide-treated broad bean and maize plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 27, n. 4, p. 429–438, 2005.

HEATH, R.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts .i. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, n. 1, p. 189–198, 1968.

HESS, F.D. Light-dependent herbicides : an overview Review. **Weed Science**, v. 48, n. 2, p. 160–170, 2000.

HWANG, I.T.; HONG, K.S.; CHOI, J.S.; KIM, H.R.; JEON, D.J.; CHO, K.Y. Protoporphyrinogen IX-oxidizing activities involved in the mode of action of a new

compound. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, p. 123–130, 2004.

IRGA, Instituto Rio Grandense do Arroz. **Safras - IRGA**. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>. Acesso em: 03 de junho de 2016.

JHALA, A.J.; RAMIREZ, A.H.M.; SINGH, M. Tank mixing saflufenacil, glufosinate, and indaziflam improved burndown and residual weed control. **Weed Technology**, v. 27, n. 2, p. 422–429, 2013.

KALOUMENOS, N.S.; CAPOTE, N.; AGUADO, A. ELEFTHEROHORINOS, I.G. Red rice (*Oryza sativa*) cross-resistance to imidazolinone herbicides used in resistant rice cultivars grown in northern Greece. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 105, n. 3, p. 177–183, 2013.

KAMMLER, K.J.; WALTERS, S.A.; YOUNG, B.G. Halosulfuron Tank Mixtures and Adjuvants for Weed Control in Pumpkin Production. **HORTSCIENCE**, v. 43, n. 6, p. 1823–1825, 2008.

KAMMLER, K.J.; WALTERS, S.A.; YOUNG, B.G. Effects of Adjuvants, Halosulfuron, and Grass Herbicides on Cucurbita spp. Injury and Grass Control. **Weed Technology**, v. 24, n. 2, p. 147–152, 2010.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 709–725, 2011.

KERCHEV, P.; SMET, B.; WASZCZAK, C.; MESSENS, J.; BREUSEGEM, F.V. Redox Strategies for Crop Improvement. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 23, n. 14, p. 1186–1205, 2015.

KIM, S.-I.; KIM, D.; TAI, T.H. Evaluation of Rice Seedling Tolerance to Constant and Intermittent Low Temperature Stress. v. 19, n. 4, p. 295–308, 2012.

KNEZEVIC, S.Z.; DATTA, A.; SCOTT, J.; CHARVAT, L.D. Adjuvants Influenced Saflufenacil Efficacy on Fall-Emerging Weeds. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 340–345, 2009.

KNEZEVIC, S. Z.; DATTA, A.; SCOTT, J.; CHARVAT, L. D. Application timing and adjuvant type affected saflufenacil efficacy on selected broadleaf weeds. **Crop Protection**, v. 29, n. 1, p. 94–99, 2010.

KRAEMER, A. F.; MARCHESAN, E.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; GROHS, M. Environmental Fate of Imidazolinone Herbicides – A Review. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 629–639, 2009.

KRUSE, N. D.; VIDAL, R. A.; BAUMAN, T. T.; TREZZI, M. M. Sinergismo potencial entre herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 569–575, 2001.

KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K. Joint action of amino acid biosynthesis-inhibiting herbicides. **Weed Research**, v. 44, n. 4, p. 313–322, 2004.

LANGARO, A. C.; AGOSTINETTO, D.; OLIVEIRA, C.; SILVA, J.D.G.; BRUNO, M.S. Biochemical and Physiological changes in rice plants due to the application of herbicides. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 277–289, 2016.

LEE, Y.; JUNG, S.; BACK, K. Expression of human protoporphyrinogen oxidase in

transgenic rice induces both a photodynamic response and oxyfluorfen resistance. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, p. 65–74, 2004.

LERMONTOVA, I.; GRIMM, B. Overexpression of Plastidic Protoporphyrinogen IX Oxidase Leads to Resistance to the Diphenyl-Ether Herbicide Acifluorfen. **Plant Physiology**, v. 122, p. 75–83, 2000.

LI, Z.; WALKER, R.H.; WEHTJE, G.; HANCOCK, H.G. Using Electrolyte Leakage to Detect Soybean (*Glycine max*) Cultivars Sensitive to Sulfentrazone. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 699–704, 2000.

LIEBL, R. A.; WALTER, H.; BOWE, S.J.; HOLT, T.J.; WESTBERG, D.E. BAS 800H: A new herbicide for preplant burndown and preemergence dicot weed control. **WSSA Abstract**, v. 48, p. 120, 2008.

LORETO, F.; VELIKOVA, V. Isoprene Produced by Leaves Protects the Photosynthetic Apparatus against Ozone Damage, Quenches Ozone Products, and Reduces Lipid Peroxidation of Cellular Membranes 1. **Plant Physiology**, v. 127, p. 1781–1787, 2001.

MACHADO, A. F. L.; CAMARGO, A.P.M.; FERREIRA, L.R.; SEDIYAMA, T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G. Misturas de herbicidas no manejo de plantas daninhas na cultura do feijão. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 107–114, 2006.

MAIA, J. M.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; MACÊDO, C. E.; PONTE, L. F. A.; SILVEIRA, J. A. G. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 342–349, 2012.

MARCHESAN, E.; MASSONI, P. F. S.; VILLA, S. C. C.; GROHS, M.; AVILA, L. A.; SARTORI, G. M. S.; BRUCK, R. F. Produtividade, fitotoxicidade e controle de arroz-vermelho na sucessão de cultivo de arroz irrigado no Sistema CLEARFIELD. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 17–24, 2011.

MATZENBACHER, F. O.; KALSING, A.; MENEZES, V.G.; Barcelos, J.A.N.; MEROTTO JR, A. Rapid diagnosis of resistance to imidazolinone herbicides in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and control of resistant biotypes with alternative herbicides. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 645–656, 2013.

MATZENBACHER, F. O.; VIDAL, R.A.; MEROTTO JR, A.; TREZZI, M.M. Environmental and physiological factors that affect the efficacy of herbicides that inhibit the enzyme protoporphyrinogen oxidase: a literature review. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 457–463, 2014.

MATZENBACHER, F. O.; KALSING, A.; DALAZEN, G.; MARKUS, C.; MEROTTO JR, A. Antagonism is the predominant effect of herbicide mixtures used for imidazolinone-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control. **Planta Daninha**, p. 587–597, 2015.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P.; KALSING, A.; GOULART, I.C.G.R. Red Rice (*Oryza sativa*) Resistant to the Herbicides Imidazolinones. **Planta Daninha**, v. 27, n. Especial, p. 1047–1052, 2009.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P.; KALSING, A.; FREITAS, T. F. S.; GROHS, D. S.; MATZENBACHER, F. O. Associação de glyphosate e imidazolinonas no controle

de arroz-vermelho em arroz Clearfield®. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2154–2159, 2013.

MENNAN, H.; KAYA-ALTOP, E. Molecular Techniques for Discrimination of Late Watergrass (*Echinochloa oryzicola*) and Early Watergrass (*Echinochloa oryzoides*) Species in Turkish Rice Production. **Weed Science**, v. 60, n. 4, p. 525–530, 2012.

MONTGOMERY, G. B.; BOND, J. A.; GOLDEN, B. R.; GORE, J.; EDWARDS, H. M.; EUBANK, T. W.; WALKER, T. W. Response of Commercial Rice Cultivars to Postemergence Applications of Saflufenacil. **Weed Technology**, v. 28, n. 4, p. 679–684, 2014.

MONTGOMERY, G. B.; BOND, J. A.; GOLDEN, B. R.; GORE, J.; EDWARDS, H. M.; EUBANK, T. W.; WALKER, T. W. Utilization of Saflufenacil in a Clearfield® Rice (*Oryza sativa*) System. **Weed Technology**, v. 29, n. 2, p. 255–262, 2015.

MOURA, D. S.; NOLDIN, J.A.; GALON, L.; SCHREIBER, F.; BASTIANI, M.O. Multiple resistance of *Sagittaria montevidensis* biotypes to acetolactate synthase and photosystem II inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 779–786, 2015.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867–880, 1981.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 31–43, 2006.

OERKE, E.; DEHNE, H. Safeguarding production — losses in major crops and the role of crop protection. **Crop Protection**, v. 23, p. 275–285, 2004.

OTTIS, B. V.; TALBERT, R. E. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) Control and Rice Density Effects on Rice Yield Components. **Weed Technology**, v. 21, n. 1, p. 110–118, 2007.

PACANOSKI, Z.; GLATKOVA, G. The Use of Herbicides for Weed Control in Direct Wet-Seeded Rice (*Oryza sativa* L.) in Rice Production Regions in the Republic of Macedonia. **Plant Protect. Sci.**, v. 45, n. 3, p. 113–118, 2009.

PELLERIN, K. J.; WEBSTER, E. P.; ZHANG, W.; BLOUIN, D. C. Potential Use of Imazethapyr Mixtures in Drill-Seeded Imidazolinone-Resistant Rice. **Weed Technology**, v. 18, n. 4, p. 1037–1042, 2004.

PHAM, N.; KIM, J.; JUNG, S. Differential Antioxidant Responses and Perturbed Porphyrin Biosynthesis after Exposure to Oxyfluorfen and Methyl Viologen in *Oryza sativa*. **Int. J. Mol. Sci**, v. 16, p. 16529–16544, 2015.

PIACENTINI, M. P.; FRATERNALE, D.; PIATTI, E.; RICCI, D.; VETRANO, F.; DACHA, M.; ACCORSI, A. Senescence delay and change of antioxidant enzyme levels in *Cucumis sativus* L. etiolated seedlings by ELF magnetic fields. **Plant Science**, v. 161, p. 45–53, 2001.

RAO, A. N.; JOHNSON, D. E.; SIVAPRASAD, B.; LADHA, J. K.; MORTIMER, A. M. Weed Management in Direct-Seeded Rice. **Advances in Agronomy**, v. 93, p. 153–255, 2007.

RECK, L. **Os herbicidas imazapir e imazapique causam alterações reversíveis**

na comunidade fitoplanctônica em lavoura de arroz. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Agroecologia). Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 65 p.

REZAEIEH, A. D.; AMINPANA, H.; SADEGHI, S. M. Competition between rice (*Oryza sativa* L.) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) as affected by methanol foliar application. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 879–890, 2015.

RIAR, D. S.; NORSWORTHY, J. K. Use of Imazosulfuron in Herbicide Programs for Drill-Seeded Rice (*Oryza sativa*) in the Mid-South United States. **Weed Technology**, v. 25, n. 4, p. 548–555, 2011.

RITZ, C.; STREIBIG, J. C. From additivity to synergism - A modelling perspective. **Synergy**, v. 1, n. 1, p. 22–29, 2014.

ROSO, A. C.; MEROTTO JR, A.; DELATORRE, C.A.; MENEZES, V.G. Regional scale distribution of imidazolinone herbicide-resistant alleles in red rice (*Oryza sativa* L.) determined through SNP markers. **Field Crops Research**, v. 119, p. 175–182, 2010.

RUIZ-SANTAELLA, J. P.; BASTIDA, F.; FRANCO, A.R.; DE PRADO, R. Morphological and Molecular Characterization of Different *Echinochloa* spp. and *Oryza sativa* Populations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 4, p. 1166–1172, 2006.

SANTOS, F. M.; MARCHESAN, E.; MACHADO, S.L.O.; VILLA, S.C.C.; AVILA, L.A.; MASSONI, P.F.S. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 405–412, 2007.

SCARABEL, L.; CENGHIALTA, C.; MANUELLO, D.; SATTIN, M. Monitoring and Management of Imidazolinone-Resistant Red Rice (*Oryza sativa* L., var. *sylvatica*) in Clearfield Italian Paddy Rice. **Agronomy**, v. 2, n. 4, p. 371–383, 2012.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide Handbook**. 9. ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007.

SHAW, D. R.; ARNOLD, J. C. Weed Control from Herbicide Combinations with Glyphosate. **Weed Technology**, v. 16, n. 1, p. 1–6, 2002.

SHIVRAIN, V. K.; BURGOS, N. R.; SCOTT, R. C.; GBUR, E. E.; ESTORNINOS, L. E.; MCCLELLAND, M. R. Diversity of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) in Arkansas, U.S.A. in relation to weed management. **Crop Protection**, v. 29, n. 7, p. 721–730, 2010.

SIKKEMA, P. H.; SHROPSHIRE, C.; SOLTANI, N. Tolerance of spring barley (*Hordeum vulgare* L.), oats (*Avena sativa* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) to saflufenacil. **Crop Protection**, v. 27, p. 1495–1497, 2008.

SINGH, M.; MALIK, M.; RAMIREZ, A.H.M.; JHALA, A.J. Tank Mix of Saflufenacil with Glyphosate and Pendimethalin for Broad-spectrum Weed Control in Florida Citrus. **Hort Technology**, v. 21, n. 5, p. 606–615, 2011.

SOFO, A.; SCOPA, A.; NUZZACI, M.; VITTI, A. Ascorbate Peroxidase and Catalase Activities and Their Genetic Regulation in Plants Subjected to Drought and Salinity Stresses. **Int. J. Mol. Sci**, v. 16, p. 13561–13578, 2015.

- SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Response of Corn to Preemergence and Postemergence Applications of Saflufenacil. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 331–334, 2009.
- SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria. 2014. 192p.
- SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; PINTO, J. J. O. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 105–111, 2012.
- STREIBIG, J. C.; KUDSK, P.; JENSEN, J. E. A general joint action model for herbicide mixtures. **Pesticide Science**, v. 53, n. 1, p. 21–28, 1998.
- SUDIANTO, E.; BENG-KAH, S.; TING-XIANG, N.; SALDAIN, N. E.; SCOTT, R. C.; BURGOS, N. R. Clearfield® rice: Its development, success, and key challenges on a global perspective. **Crop Protection**, v. 49, p. 40–51, 2013.
- SÜREK, H.; BESER, N.; KAYA, R.; ÜNAN, R. Rice Breeding For Herbicide Resistance In Turkey. **Turkish Journal of Agricultural and Natural Science**, v. 1, n. Special, p. 1258–1263, 2014.
- TAMMES, P. M. L. Isoboles, a graphic representation of synergism in pesticides. **Neth. J. Plant Path.**, v. 70, p. 73–80, 1964.
- TAN, S.; EVANS, R. R.; DAHMER, M.L.; SINGH, B. K.; SHANER, D. L. Imidazolinone-tolerant crops : history, current status and future. **Pest Manag Sci**, v. 61, p. 246–257, 2005.
- TOTTMAN, D. R. The effects of a dicamba herbicide mixture on the grain yield components of winter wheat. **Weed Research**, v. 18, p. 335–339, 1978.
- TREZZI, M. M.; DIESEL, F.; KRUSE, N.D.; XAVIER, E.; PAZUCH, D.; PAGNONCELLI JR., F.; BATISTEL, S.C. Interactions of Saflufenacil with other herbicides promoters of oxidative stress to control Joyweed. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 319–326, 2016.
- TROLOVE, M. R.; RAHMAN, A.; HAGERTY, G. C.; JAMES, T. K. Efficacy and crop selectivity of saflufenacil alone and with partner herbicides for weed control in maize. **New Zealand Plant Protection**, v. 64, p. 133–141, 2011.
- UNLAND, R. D.; AL-KHATIB, K.; PETERSON, D. E. Interactions between Imazamox and Diphenylethers. **Weed Science**, v. 47, n. 4, p. 462–466, 1999.
- VILLA, S. C. C.; MARCHESAN, E.; MASSONI, P.F.S.; SANTOS, F.M.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; TELO, G.M. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 549–555, 2006.
- WALSH, K. D.; SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Weed Control in Soybean with Imazethapyr Applied Alone or in Tank Mix with Saflufenacil/Dimethenamid-P. **Weed Science**, v. 63, n. 1, p. 329–335, 2015.
- ZHANG, P. LIU, X.; TONG, H.; LU, Y.; LI, J. Association Mapping for Important Agronomic Traits in Core Collection of Rice (*Oryza sativa* L.) with SSR Markers. **Plos**

One, v. 9, n. 10, p. 1–16, 2014.

ZHANG, W. E. I.; WEBSTER, E. P.; BLOUIN, D. C.; LEON, C. T. Fenoxaprop Interactions for Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) Control in Rice. **Weed Technology**, v. 19, n. 2, p. 293–297, 2005.