

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Interação de herbicidas empregados na cultura
do arroz irrigado para o controle de arroz
daninho e angiquinho**

Renan Souza Silva

Pelotas, 2017

RENAN SOUZA SILVA

**INTERAÇÃO DE HERBICIDAS EMPREGADOS NA
CULTURA DO ARROZ IRRIGADO PARA O
CONTROLE DE ARROZ DANINHO E ANGIQUINHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitossanidade (área de conhecimento: Herbologia).

Orientador: Luis Antonio de Avila, Ph.D.

Coorientadores: Edinalvo Rabaioli Camargo, Ph.D.

José Alberto Noldin, Ph.D.

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586i Silva, Renan Souza

Interação de herbicidas empregados na cultura do arroz irrigado para o controle de arroz daninho e angiquinho. / Renan Souza Silva ; Luis Antonio de Avila, orientador. — Pelotas, 2017.

98 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Arroz irrigado. 2. Controle químico. 3. Antagonismo. 4. Sinergismo . I. Avila, Luis Antonio de, orient. II. Título.

CDD : 633.18

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Banca Examinadora

Nelson Kruse, Dr.

André Andres, Ph.D.

Sidnei Deuner, Dr.

Luis Antonio de Avila (Orientador)

Aos meus pais, Odinei e Maristel;
Aos meus irmãos, Anderson
e Bruna Gabriela;
À minha namorada, Gabriela;
Aos familiares, amigos e professores.

OFEREÇO E DEDICO

“O propósito da educação é mostrar às pessoas como aprender por si mesmos.

O outro conceito de educação é doutrinação”

(Noam Chomsky)

Agradecimentos

À minha família, pelo apoio, carinho, compreensão, incentivo e por entender a minha ausência durante o período.

À minha namorada pelo auxílio, amor, carinho, paciência e incentivo em todos os momentos.

Ao professor Luis Antonio de Avila, pela amizade, ensinamentos, dedicação e orientação durante essa trajetória.

Aos professores José Alberto Noldin, pela concessão da oportunidade de estagiar na Epagri no final do meu período de mestrado, Edinalvo Rabaioli Camargo e Nelson Kruse pela colaboração nos trabalhos da dissertação.

Aos pós-doutorandos Sidnei Kuster Ranno, Julia Coswig Goldbeck e Rafael Munhoz Pedroso pelo auxílio na elaboração dos trabalhos.

Aos colegas de pós-graduação: Anderson da Rosa Feijó, Andrisa Balbinot, Dalvane Rockenbach, Fábio Schreiber, Fernanda Caratti, João Paulo Refatti, Joice Bonow, Lariza Benedetti, Leonard Piveta, Luiza Piccinini, Marcelo Zimmer, Marcos Belinazzo Tomazetti, Marcus Fipke, Marlon Bastiani, Matheus Machado Noguera, Maurício Files, Mauro Mesko, Raul Cordova, Vinícios Gehrke, Willian Lubian, pelo convívio, amizade, companheirismo e auxílio na execução dos trabalhos.

Aos estagiários e bolsistas: Bruno Vasconcelos, Cédrick Benetti, Egeu Dutra, Eduardo Nogueira, Felipe Brunetto, Jalisson Nunes, Joelmir Oliveira, Lohana Tavares, Lucas Rezende, Mateus Puhl, Rafael Becker, Rodrigo Pestana, Silvana Neves Pereira e Tiago Corazza pela amizade e auxílio na execução dos experimentos e todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito do trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

SILVA, Renan Souza. **Interação de herbicidas empregados na cultura do arroz irrigado para o controle de arroz daninho e angiquinho**. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

O arroz irrigado (*Oryza sativa*) é uma cultura que alimenta bilhões de pessoas no mundo inteiro, com produtividades que batem recordes a cada safra. Porém, as plantas daninhas ainda representam problemas para o arroz expressar seu potencial produtivo, com destaque para o arroz-daninho, da mesma espécie que a cultivada. Nos últimos anos, com o advento da tecnologia Clearfield® (CL), muitos produtores viram nessa tecnologia a solução dos problemas de controle do arroz-daninho. Contudo, a possibilidade de fluxo gênico do arroz CL para a espécie daninha trouxeram problemas para a tecnologia. Uma nova linhagem de arroz, que se utiliza de outro modo de ação de herbicidas (inibidores da ACCase), desta vez, está prestes a ser lançada no mercado e se oferece como uma nova ferramenta no processo de combate ao arroz-daninho. Aliada a essa ferramenta, existe a possibilidade de aumento no espectro de controle de plantas daninhas do arroz com associação a outros herbicidas. Para isso é necessário conhecer os efeitos dos produtos associados e a seletividade do arroz frente às associações, pois há possibilidade do surgimento de interações sinérgicas ou antagônicas na associação de latifolicidas com herbicidas desse mecanismo de ação. Embora não seja uma prática prevista em lei, a associação de herbicidas é mais uma alternativa para os orizicultores no manejo de plantas daninhas resistentes. Os objetivos deste estudo foram: efetuar uma revisão de literatura acerca do modo de ação dos herbicidas registrados para o arroz e os efeitos da interação ocasionados pela interação de herbicidas (Capítulo I); elucidar as interações decorrentes da associação entre quizalofop e haloxyfop com herbicidas registrados para o arroz (Capítulo II); e estudar os efeitos de duas linhagens de arroz (suscetível e resistente a inibidores da ACCase) sujeito à aplicação de herbicidas previamente antagônicos (Capítulo III). Os resultados obtidos indicam que houve redução da eficiência de controle do arroz com todas as doses avaliadas na maioria das associações de quizalofop e haloxyfop. Houve suposto antagonismo ou efeito aditivo nas associações de quizalofop com todos os produtos em todas as doses em *Aeschynomene denticulata*. Outros estudos devem ser realizados com o uso de curvas de dose resposta e montagem de isobogramas para a comprovação da suposição da interação. Os resultados evidenciam suposta interação antagônica entre o 2,4-D e o quizalofop e entre o quizalofop e o propanil nos três biótipos estudados.

Palavras-chave: Arroz irrigado, Controle químico, Antagonismo, Sinergismo

Abstract

SILVA, Renan Souza. **Interaction of herbicides used in irrigated rice cultivation for the control of weedy-rice and joint-vetch**

. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brazil.

Irrigated rice (*Oryza sativa*) is a crop that feeds billions of people worldwide, with record-breaking yields. However, weeds still represent problems for rice to express its productive potential, especially weedy-rice, of the same species as the cultivated one. Last years, with Clearfield® (CL) technology, many producers have taken a technology as a solution of the weedy-rice problems. However, the possibility of gene flow of CL rice to a weed brought problems with a technology. A new strain of rice, which uses another mode of action of herbicides (inhibitors of ACCase), this time, is about to be launched in the market and aims to be a new tool in the process of combating weedy-rice. Allied to this tool, there is a point of increase without control of weed control of the rice with the advent and a legalization of the association of herbicides in the country. For this it is necessary to know the effects of the associated products and a selectivity of the rice in front of the associations, since there is a possibility of synergistic or antagonistic interactions in the association of latifolicides with herbicides of this mechanism of action. Although not a legal practice, the association of herbicides is one more alternative for the rice producers in the fight against the problems with resistance of weeds. The objectives of this study were: to carry out a literature review about the mode of action of the herbicides registered for rice and the interaction effects caused by the interaction of herbicides (Chapter I); To elucidate the interactions resulting from the association between quizalofop and haloxyfop with herbicides registered for rice (Chapter II); And to study the effects on rice of two strains (susceptible and resistant to ACCase inhibitors) subject to the application of supposedly antagonistic herbicides (Chapter III). The results indicate that rice control efficiency was reduced with all doses evaluated in most associations of quizalofop and haloxyfop. There was supposed antagonism or additive effect on the associations of quizalofop with all products at all doses in *Aeschynomene denticulata*. Other studies should be performed using dose response curves and isobolograms assembly to prove the assumption of the interaction verified. The results evidenced the supposed antagonistic interaction between 2,4-D and quizalofop and between quizalofop and propanil in the three studied biotypes.

Keywords: Irrigated rice, Chemical control, Antagonism, Sinergism

Lista de Figuras

- Figura 1 - Estrutura química dos herbicidas registrados para o arroz 26
- Figura 2 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem de arroz SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, respectivamente, em percentagem, em reposta às diferentes doses de quizalofop, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.....59
- Figura 3 - Massa fresca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de quizalofop. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016..... 60
- Figura 4 - Massa seca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de quizalofop. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016..... 61
- Figura 5 - Avaliação visual de seletividade da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, em resposta às diferentes doses de 2,4-D, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016..... 62
- Figura 6 - Massa fresca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de 2,4-D. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016..... 63
- Figura 7 - Massa seca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de 2,4-D. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016..... 64
- Figura 8 - Avaliação visual de seletividade da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, em resposta às diferentes doses de propanil, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.....65

- Figura 9 - Massa fresca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de propanil. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.....66
- Figura 10 - Massa seca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de propanil. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.....67
- Figura 11 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) respectivamente, em percentagem, em resposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o 2,4-D, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g 2,4-D; quadrado vazio = ¼ g 2,4-D; triângulo cheio = ½ g 2,4-D. Itajaí, SC, 2016.....70
- Figura 12 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem de arroz SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) respectivamente, em percentagem, em resposta às diferentes doses de 2,4-D aplicado isoladamente e em associação com o quizalofop, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quizalofop; quadrado vazio = 18,75 g quizalofop; triângulo cheio = 37,5 g quizalofop. Itajaí, SC, 2016.71
- Figura 13 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o 2,4-D aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g 2,4-D; quadrado vazio = ¼ g 2,4-D; triângulo cheio = ½ g 2,4-D. Itajaí, SC, 2016.....74
- Figura 14 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de 2,4-D aplicado isoladamente e em associação com o quizalofop aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quizalofop; quadrado vazio = 18,75 g quizalofop; triângulo cheio = 37,5 g quizalofop. Itajaí, SC, 2016.....75
- Figura 15 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B), respectivamente, em percentagem, em resposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o propanil, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g Propanil; quadrado vazio = ¼ g Propanil; triângulo cheio = ½ g Propanil. Itajaí, SC, 2016.....78

- Figura 16 - Avaliação visual de controle da cultivar SCS 116 Satoru, em porcentagem, em reposta às diferentes doses de propanil aplicado isoladamente e em associação com o quizalofop, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quizalofop; quadrado vazio = 18,75 g quizalofop; triangulo cheio = 37,5 g quizalofop. Itajaí, SC, 2016.....79
- Figura 17 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B), em reposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o propanil aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g Propanil; quadrado vazio = $\frac{1}{4}$ g Propanil; triangulo cheio = $\frac{1}{2}$ g Propanil. Itajaí, SC, 2016.....81
- Figura 18 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B), em reposta às diferentes doses de propanil aplicado isoladamente e em associação com o quizalofop aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quizalofop; quadrado vazio = 18,75 g quizalofop; triangulo cheio = 37,5 g quizalofop. Itajaí, SC, 2016.....82

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Doses dos herbicidas aplicados no arroz SCS 118 Marques, Capão do Leão, RS, 2015.....	39
Tabela 2 - Avaliação da massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz com os herbicidas aplicados isoladamente, Capão do Leão, RS, 2015.....	42
Tabela 3 - Avaliação de controle aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz das misturas de quizalofop na dose cheia, Capão do Leão, RS, 2015.....	43
Tabela 4 - Avaliação de fitotoxicidade aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz das misturas de quizalofop na meia dose, Capão do Leão, RS, 2015.....	47
Tabela 5 - Avaliação de fitotoxicidade aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz das misturas de haloxyfop na dose cheia, Capão do Leão, RS, 2015.....	48
Tabela 6 - Avaliação de controle aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz das misturas de haloxyfop na meia dose, Capão do Leão, RS, 2015.....	49
Tabela 7 - Avaliação de controle aos 35 e 42 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do angiquinho com os herbicidas aplicados isoladamente, Capão do Leão, RS, 2015.....	51
Tabela 8 - Avaliação de controle aos 42 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do angiquinho das misturas de quizalofop e latifolicida na dose cheia, Capão do Leão, RS, 2015.....	51
Tabela 9 - Avaliação de controle aos 42 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz das misturas de quizalofop e latifolicida em meia dose, Capão do Leão, RS, 2015.....	56

Tabela 10 - Doses de quizalofop, 2,4-D e propanil aplicados no arroz no estudo I, Itajaí, SC, 2016.....	57
Tabela 11 - Curvas de dose-resposta do quizalofop em associação com o 2,4-D aplicados no arroz no estudo II, Itajaí, SC, 2016.....	58
Tabela 12 - Curvas de dose-resposta do quizalofop associado com o propanil aplicados no arroz no estudo III, Itajaí, SC, 2016.....	68
Tabela 13 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA submetida à mistura de quizalofop e 2,4-D, Itajaí, SC, 2016.....	69
Tabela 14 - Redução da massa da matéria seca da parte aérea relativa (%) da linhagem SC 964, submetida à mistura de quizalofop e 2,4-D aos 29 DAA, Itajaí, SC, 2016.....	69
Tabela 15 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA, submetida à aplicação da mistura de 2,4-D e quizalofop, Itajaí, SC, 2016.....	73
Tabela 16 - Redução da massa da matéria seca da parte aérea relativa (%) da linhagem SC 964, submetida à aplicação da mistura de 2,4-D e quizalofop, Itajaí, SC, 2016.....	73
Tabela 17 - Controle (%) da linhagem SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetida à mistura de 2,4-D e quizalofop, Itajaí, SC, 2016.....	76
Tabela 18 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA submetido à mistura de quizalofop e propanil com as doses de propanil fixas, Itajaí, SC, 2016.....	77
Tabela 19 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA submetido à aplicação da mistura de propanil e quizalofop com as doses de quizalofop fixas, Itajaí, SC, 2016.....	77
Tabela 20 - Controle (%) da cultivar SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetido à mistura de quizalofop e propanil com as doses de quizalofop fixas, Itajaí, SC, 2016.....	77
Tabela 21 - Controle (%) da cultivar SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetido à aplicação de propanil e quizalofop com as doses de propanil fixas, Itajaí, SC, 2016.....	80

Sumário

1	Introdução Geral.....	21
2	CAPÍTULO I – Revisão do modo de ação dos herbicidas registrados para o arroz no Brasil e os efeitos da interação ocasionados pela associação de herbicidas.....	23
2.1	Introdução.....	23
2.2	Herbicidas registrados para o arroz no Brasil.....	24
2.3	Resistência aos inibidores da ACCase.....	31
2.4	Tipos de interações entre herbicidas.....	32
2.5	Considerações finais.....	35
3	CAPÍTULO II – Efeito da associação de dois herbicidas inibidores da ACCase com os principais herbicidas registrados para o arroz no Brasil no controle de angiquinho e arroz-daninho.....	36
3.1	Introdução.....	36
3.2	Material e Métodos.....	38
3.3	Resultados e Discussão.....	41
3.4	Conclusões.....	52
4	CAPÍTULO III - Estudo dos efeitos em arroz de duas linhagens (suscetível e resistente a inibidores da ACCase) sujeito à aplicação	

	de herbicidas supostamente antagônicos	53
4.1	Introdução.....	53
4.2	Material e Métodos.....	54
4.3	Resultados e Discussão.....	58
4.4	Conclusões.....	83
5	Conclusões gerais.....	84
6	Referências.....	85
7	VITA.....	98

1 Introdução Geral

O arroz (*Oryza sativa* L.) teve o começo do seu cultivo há aproximadamente 10.000 anos (GRISP, 2013), sendo um dos alimentos mais importantes na alimentação humana, servindo como base alimentar para mais de três bilhões de pessoas (SOSBAI, 2016). Juntamente com o trigo e o milho, o arroz destaca-se como uma das três principais culturas alimentícias no mundo, os três alimentos juntos fornecem mais de 42% do total de calorias consumidas pela população mundial. Além disso, a produção de arroz é considerada como uma das mais importantes atividades econômicas do planeta (GRISP, 2013).

No ano de 2016 a produção mundial de arroz atingiu a marca de 748 milhões de toneladas de grãos em uma área aproximada de 163 milhões de ha, neste mesmo ano a produção de arroz no Brasil foi de cerca de 10 milhões de toneladas (CONAB, 2016). O Rio Grande do Sul é apontado como o maior produtor nacional, responsável por aproximadamente 70% do total produzido no país, com uma estimativa de produção de 8 milhões de toneladas para a safra 2016/2017 (IBGE, 2016).

A ocorrência de plantas daninhas no arroz irrigado destaca-se como sendo um dos principais fatores limitantes da produtividade desta cultura, principalmente quando as mesmas são adaptadas a sobreviverem em 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; MENEZES, et al. 2013) e o capim-arroz (*Echinochloa* spp.) (GALON et al. 2007; AGOSTINETTO et al. 2010).

Com relação aos métodos de controle de plantas daninhas na cultura do arroz, o controle químico é um dos mais utilizados, devido a algumas vantagens, dentre elas a maior praticidade, rapidez e eficiência (ERASMO; PINHEIRO; COSTA, 2004; ANDRES et al. 2008; PACANOSKI; GLATKOVA, 2009; SOSBAI, 2016).

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 com

tolerância aos herbicidas do grupo das imidazolinonas (Sistema Clearfield®), que possibilita o controle seletivo das plantas daninhas (MARCHESAN et al. 2011; SOUSA; BACARIN; PINTO, 2012; MENEZES et al. 2013; SOSBAI, 2016).

No Rio Grande do Sul são recomendados dois herbicidas para o sistema Clearfield®, o herbicida Only®, composto pela mistura formulada dos herbicidas imazethapyr + imazapic, nas concentrações de 75 e 25 g e.a. L⁻¹, respectivamente, e o herbicida Kifix®, que é composto pela mistura formulada dos herbicidas imazapyr + imazapic, nas concentrações de 525 e 175 g e.a. kg⁻¹, respectivamente (SOSBAI, 2016).

Embora os dois herbicidas recomendados apresentem eficiente controle sobre as principais daninhas do arroz irrigado, tanto dicotiledôneas (como *Aeschynomene denticulata*) como monocotiledôneas (como o arroz-daninho), a aplicação de outro herbicida em mistura no tanque pode ocasionar algumas vantagens, como o aumento do espectro de ação dos produtos, redução das doses recomendadas e do custo de aplicação (MACHADO et al. 2006). Não obstante, o uso contínuo do Sistema Clearfield®, pode acarretar na seleção 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). A associação entre herbicidas inibidores da acetil coenzima A e outros mecanismos de ação pode resultar em sinergismo ou antagonismo, proporcionando o controle eficaz de arroz-daninho, sem ocasionar danos à cultura do arroz Clearfield®. Em 2014, o arroz Provisia™ foi avaliado primeiramente para o uso potencial nos estados do meio sul para produção de arroz, sendo uma tecnologia resistente ao herbicida quizalofop (WEBSTER, 2015). Um outro fator que possibilita o aumento de populações de arroz-daninho resistentes é o fluxo gênico entre o mesmo e o arroz cultivado (SHIVRAIN, 2009).

Os objetivos deste estudo foram: efetuar uma revisão de literatura a cerca do modo de ação dos herbicidas registrados para o arroz e dos tipos de interação possíveis entre misturas de herbicidas (Capítulo I); elucidar as interações decorrentes da associação entre quizalofop e haloxyfop com herbicidas registrados para o arroz sobre *Oryza sativa* e *Aeschynomene denticulata* (Capítulo II); e estudar os efeitos em arroz de duas linhagens (suscetível e resistente a inibidores da ACCase) sujeito à aplicação de herbicidas previamente antagonísticos (Capítulo III).

2 CAPÍTULO I: Revisão do modo de ação dos herbicidas registrados para o arroz no Brasil e os efeitos da interação ocasionados pela associação de herbicidas.

2.1 Introdução

A associação ou mistura de herbicidas é a utilização simultânea de dois ou mais herbicidas aplicados sobre uma mesma cultura ou área. Pressupõe que os produtos misturados se comportem e obtenham ação de forma independente (ou seja, a presença de um produto não afeta a atividade do outro), entretanto esse é apenas uma das possíveis interações que ocorrem quando se combina dois ou mais produtos (DAMALAS, 2004).

A interação dos herbicidas pode ser classificada como aditiva, sinérgica ou antagônica, classificando-se como aditiva quando o efeito da associação se iguala à soma dos efeitos dos produtos aplicados de forma isolada, como sinérgica, quando o efeito da mistura é superior (em controle) à soma dos efeitos dos produtos aplicados isoladamente, e antagônica, quando a interação representa um efeito inferior à soma dos efeitos dos produtos aplicados de forma isolada (GRESSEL, 1990). Entretanto, muitas das associações realizadas a campo produzem apenas efeito aditivo, ocorrendo unicamente o aumento do espectro de controle de plantas daninhas. Tais associações não exploram todas as possíveis vantagens, tornando-se menos interessante do que a interação classificada como sinérgica (KRUSE, 2002). O efeito

sinérgico, embora benéfico se for observado no alvo, é justamente o motivo da prática de associação de herbicidas não ser prevista em lei no Brasil, se for levado em consideração o organismo não-alvo (BRASIL, 2002).

Quando dois ou mais ingredientes ativos são combinados, o efeito desejado é um aumento na eficácia, permitindo um maior controle sobre uma determinada espécie, o que não seria possível com uma aplicação de um único herbicida. Além disso, para a mistura, os herbicidas devem ser fisicamente e quimicamente compatíveis (não devem flocular ou reagir adversamente) (PALOU; RANZENBERGER; LARIOS, 2008).

A utilização de misturas é uma prática comumente utilizada por agricultores no controle de plantas daninhas, sendo uma prática de controle de resistência a herbicidas (DIGGLE; NEVE; SMITH, 2003), porém é realizada diversas vezes sem a recomendação adequada com relação aos produtos e doses utilizados. Ter conhecimento do efeito da associação dos herbicidas torna-se imprescindível, já que algumas misturas podem apresentar uma interação antagônica, acarretando em controle reduzido, aumentando custos com uma nova aplicação e reduzindo o potencial produtivo da cultura (MATZENBACHER et al., 2015). É importante também ressaltar que a aplicação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação na mesma estação de crescimento da planta pode ser mais efetiva na prevenção da evolução da resistência do que outras práticas de manejo como rotação de mecanismos de ação ao longo dos anos (DIGGLE; NEVE; SMITH, 2003).

Tendo em vista de que a associação entre herbicidas inibidores da acetil coenzima A carboxilase (como por exemplo, o quizalofop) com outros mecanismos de ação pode resultar em sinergismo ou antagonismo, proporcionando o controle eficaz de arroz-daninho, sem ocasionar danos à cultura do arroz, ou dificultar ainda mais o controle químico dessa planta daninha o objetivo desta revisão foi demonstrar importantes aspectos da associação de herbicidas e os possíveis efeitos resultantes da mesma a partir do estudo dos herbicidas registrados para o arroz.

2.2 Herbicidas registrados para o arroz no Brasil

Existem atualmente, três classes químicas de herbicidas que inibem a enzima ACCase, que são os ariloxifenoxipropionatos (como o quizalofop), as ciclohexanodionas e a fenilpirazolinona, sendo essa a mais recente classe herbicida, no qual se inclui o pinoxaden. O uso frequente e intenso dos inibidores da ACCase, tem selecionado para a resistência em algumas espécies gramíneas (HEAP, 2017),

desde o primeiro caso por Heap e Knight (1982).

O mecanismo de ação é a inibição da acetil CoA carboxilase e a sintomatologia é o cessamento do crescimento depois da aplicação, sendo tecidos jovens afetados primeiramente. Clorose nas folhas e necrose são desenvolvidas de 1 a 3 semanas depois da aplicação (SENSEMAN, 2007). Os herbicidas quizalofop e haloxyfop já foram relatados na literatura como menos eficazes no controle de *Sorghum halepense* por antagonismo na associação dos mesmos com latifolicidas (VIDRINE, 1989).

O quizalofop controla gramíneas anuais e perenes, sendo utilizado em pós-emergência em lavouras de soja e áreas não agrícolas. Um surfactante ou adjuvante é requerido para a máxima eficiência. A forma etil éster do quizalofop é rapidamente absorvido dentro das folhas, mas não tão rapidamente como outros herbicidas deste mecanismo de ação (SENSEMAN, 2007). Segundo Heap (2017), existem duas fórmulas registradas do quizalofop e comercializadas no mundo, o quizalofop-P-ethyl e o quizalofop-P-tefuryl (fig. 1). A diferença da estrutura química diferencia também a ausência ou presença de interação entre as associações. Vidrine, Reynolds e Blouin (1995) observaram a presença de antagonismo ocorreu na associação de quizalofop-P-ethyl com latifolicidas em *Sorghum halepense* e *Echinochloa* spp., porém o mesmo efeito não foi observado quando os latifolicidas foram associados com o quizalofop-P-tefuryl.

Uma vez dentro da célula, o quizalofop é rapidamente esterificado para quizalofop ácido, se dissociando no citoplasma que é relativamente alcalino, o ânion é preso no interior da célula, devido à sua incapacidade de atravessar a membrana plasmática, uma consequência da sua carga negativa e baixa lipofilicidade, se o quizalofop éster butílico é hidrolisado no exterior da célula, o meio relativamente ácido permite que uma proporção do ácido quizalofop torne-se protonado (não dissociado) a partir do qual, facilmente se difunde através da membrana e para dentro da célula. Ao entrar no citoplasma, o ácido se dissocia e mantém-se retido, não sendo capaz de retornar ao apoplasto da célula, assim, vai ocorrendo o acúmulo de quizalofop no simplasto, uma vez no interior da célula, o quizalofop transloca-se pela planta (principalmente pelo floema) e se acumula nas regiões meristemáticas da parte aérea e da raiz, embora a sua taxa de translocação seja lenta (SENSEMAN, 2007).

Com relação à absorção, a forma éster metílico do haloxyfop é absorvido rapidamente pelas folhas e difunde-se ligeiramente através da membrana plasmática. O éster metílico do haloxyfop é desesterificado antes de entrar na célula, o que tende

a difundi-lo através da membrana plasmática como haloxyfop protonado (relativamente lipofílico), dentro da célula, o haloxyfop dissocia-se a ânion, prendendo o herbicida nas células do floema (SENSEMAN, 2007).

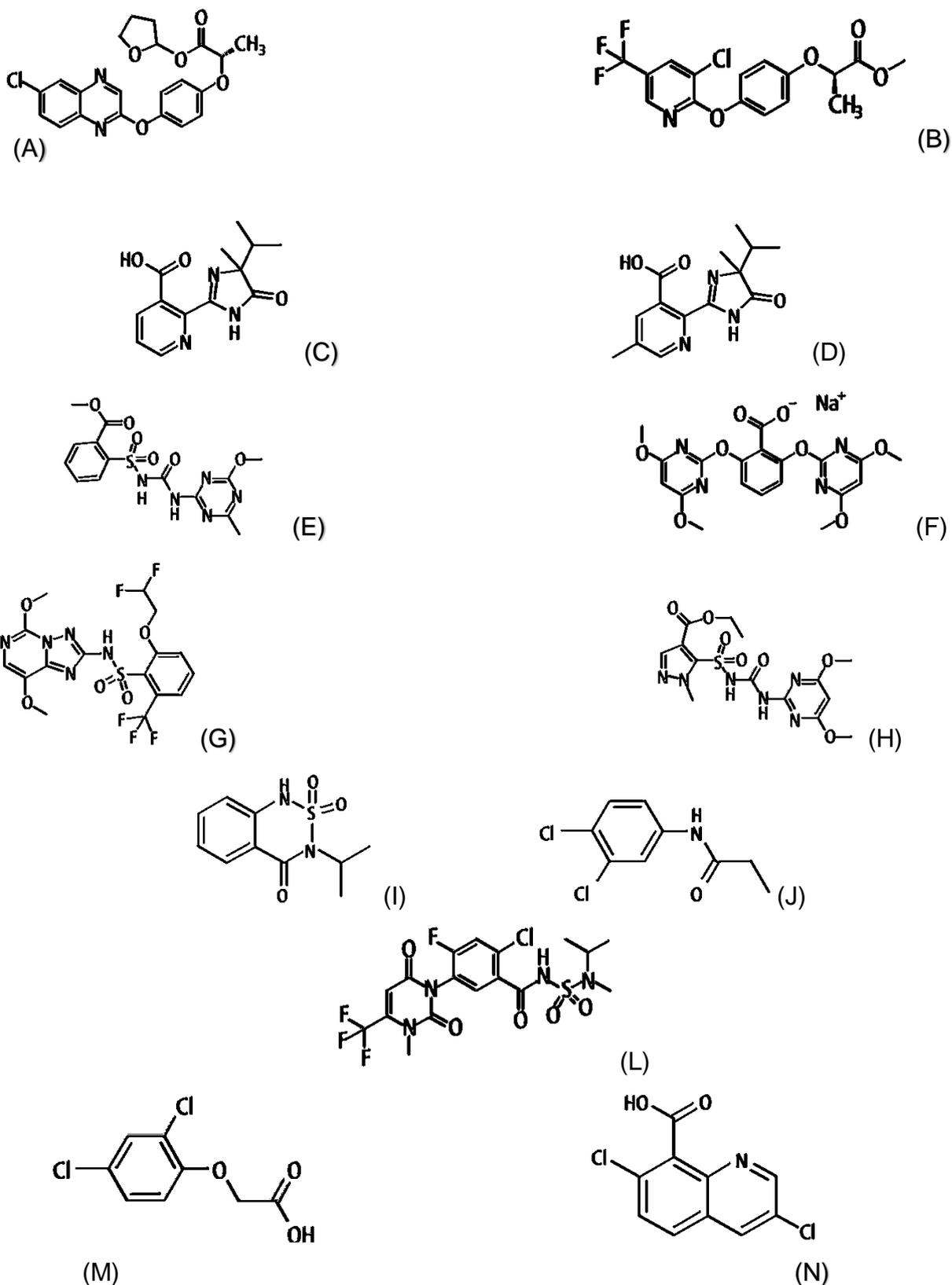


Figura 1 - Estrutura química dos herbicidas registrados para o arroz; do quizalofop-P-

tefuryl (A), haloxyfop-P-methyl (B), imazapyr (C), imazapic (D), metsulfurom-methyl (E), bispyribac-sodium (F), penoxsulam (G), pyrazosulfuron-ethyl (H), bentazon (I), propanil (J), saflufenacil (L), 2,4-D (M) e quinclorac (N). Fonte: HEAP, 2017.

Quanto à translocação, o haloxyfop é translocado principalmente nas células do floema. O herbicida acumula nas células das regiões meristemáticas, apresentando baixa translocação em algumas espécies e mais rápida em outras, como soja e sorgo, muito provavelmente devido às características morfofisiológicas das espécies (BUHLER; SWISHER; BURNSIDE, 1985). Quanto ao metabolismo em plantas, o éster metílico haloxyfop é rapidamente hidrolisado em plantas tolerantes e sensíveis ao ácido haloxyfop com ação herbicida (SENSEMAN, 2007). Segundo Heap (2017), existem duas fórmulas registradas do haloxyfop e comercializadas no mundo, o haloxyfop etotyl, haloxyfop-methyl e o haloxyfop-P-methyl (fig. 1).

O mecanismo de ação dos inibidores da ALS é a inibição da enzima acetolactato sintase. A enzima acetolactato sintase (ALS), é responsável pela formação da valina, leucina e isoleucina, que são aminoácidos de cadeia ramificada. (ZABALZA et al., 2004; DAMALAS; DHIMA; ELEFTHERORHORINOS, 2006). Com relação à sintomatologia, o crescimento de plantas sensíveis de inibidores da ALS como o imazapic é inibido dentro de algumas horas após a aplicação, mas os sintomas de lesão geralmente aparecem após 1-2 semanas ou mais. As regiões meristemáticas tornam-se cloróticas, o que é seguido por uma lenta clorose foliar geral e necrose (SENSEMAN, 2007). De forma geral, os herbicidas desse mecanismo de ação são caracterizados por apresentarem registro para aplicação tanto em pré como em pós-emergência (SOSBAI, 2016). Matzenbacher et al. (2015), observaram sinergismo na associação de e quinclorac com imazapyr + imazapic em *Echinochloa crus-galli*.

O imazapyr e o imazapic podem ser aplicados ao solo ou em pós-emergência. A absorção é normalmente rápida, podendo variar em relação às espécies de plantas. É absorvido pelas raízes e se move rapidamente tanto no xilema como no floema. Com relação ao metabolismo em plantas, a tolerância é devido à rápida metabolização, iniciada por hidroxilação do anel de imidazolinona. Quanto ao mecanismo de resistência em plantas daninhas, a alteração do local de ação é um dos mais comuns encontrados em aplicações desses produtos (SENSEMAN, 2007).

Quanto ao metabolismo do metsulfuron-methyl em plantas, o trigo e a cevada metabolizam rapidamente o produto por hidroxilação do anel benzeno no carbono 4,

seguida por conjugação da glicose no grupo hidroxil do anel (SENSEMAN, 2007). Trezzi et al., (2007), observaram a existência de antagonismo entre clodinafop-propargyl e os herbicidas metsulfuron-methyl e 2,4-D.

O bispyribac-sodium (fig. 1) com relação à sintomatologia, apresenta cessamento do crescimento, seguido por clorose, necrose e morte da planta. Quanto à absorção e translocação, o produto é absorvido pelas raízes e folhas e translocado principalmente pelo floema. O principal mecanismo de resistência em plantas daninhas a esse produto é a alteração do sítio de ação (SENSEMAN, 2007). Fischer et al. (2004) observaram que o thiobencarb nas doses de 4480 e 5333 g i.a. ha⁻¹ foi mais eficaz no controle de *Echinochloa phyllopogon* quando o mesmo foi associado ao bispyribac-sodium, inclusive nos biótipos resistentes a esse herbicida, sem causar injúrias ao arroz. Segundo Fischer et al. (2004), o bispyribac-sodium tem relativa flexibilidade quanto à dose utilizada e ao estágio de aplicação.

O herbicida penoxsulam (fig. 1) pertence ao grupo das triazolopirimidinas sulfonamidas, atuando na inibição da ALS (HEAP, 2017). Com relação à absorção e translocação, o penoxsulam é um herbicida sistêmico, móvel tanto no floema como no xilema, por onde é absorvido através de folhas, brotos e raízes (SENSEMAN, 2007). Matzenbacher et al. (2015) encontrou efeito aditivo na associação de penoxsulam com profoxydim ou cyhalofop-butyl no controle de *Echinochloa crus-galli*.

O pyrazosulfuron é um herbicida utilizado em pré e pós-emergência para o controle de plantas anuais folhas largas, anuais e perenes ciperáceas, utilizado na produção de arroz. É um produto não volátil, absorvido pelas raízes e ramos e translocado primordialmente pelo floema, sendo metabolizado primeiramente em metabólito O-demetilado de pyrazosulfuron-ethyl (SENSEMAN, 2007). Vários estudos têm indicado que o pyrazosulfuron-ethyl (fig. 1) tem baixa toxicidade. Semelhante a outros herbicidas do grupo das sulfoniluréias o produto é metabolizado por degradação microbiana (WANG; DU; BAI, 2013). Wu, Kim e Shin (1998) observaram efeito aditivo na associação de pyrazosulfuron-ethyl com cyhalofop em *Echinochloa crus-galli*.

O sítio-alvo dos herbicidas inibidores do fotossistema II é a membrana do cloroplasto, local onde ocorre a fase luminosa da fotossíntese, durante o transporte de elétrons, após o produto se acoplar ao composto Quinona_B (Q_B), e evitar que os mesmos sejam transportados até a plastoquinona, não havendo produção de ATP e NADPH₂. Quando a planta é resistente, há uma mutação na proteína Q_B, impedindo

o acoplamento do herbicida na mesma (CHRISTOFFOLETI, 1997). Com relação à sintomatologia, a clorose começa de 3 a 5 dias após a aplicação, seguido por uma desidratação foliar e necrose. Bronzeamento foliar pode ocorrer em cultivares tolerantes como a soja (SENSEMAN, 2007).

A absorção do bentazon (fig. 1) ocorre facilmente pelas folhas com o mínimo de translocação basípeta após a aplicação foliar. Um período de 4 horas sem chuva após a aplicação é necessário para a máxima eficácia, embora esse intervalo possa ser mais curto, com a utilização de adjuvantes. Plantas estabelecidas e crescidas em meio de cultura tratadas com solução nutriente de bentazon absorvem facilmente o herbicida pelas raízes e translocam o mesmo ao longo da planta. Com relação ao metabolismo em plantas, o produto é rapidamente metabolizado em espécies tolerantes, formando conjugados de glicose (SENSEMAN, 2007). Zhang et al. (2002), observaram que a tolerância ao bentazon por parte do arroz é controlada por um gene denominado *Bel*. Pan et al. (2006) e Zhang et al. (2007), isolaram o gene *Bel* que codifica a proteína P450, CYP81A6, o qual catalisa a hidroxilação de bentazon para detoxificação. Misturas de thifensulfuron com bentazon mostraram uma redução na fitotoxicidade de thifensulfuron em soja comparado com esse ingrediente ativo aplicado sozinho (HART; ROSKAMP, 1998; LYCAN; HART, 1999).

O propanil (fig. 1) além de atuar na inibição do fotossistema II, tem outros efeitos relatados, incluindo a inibição da síntese de antocianina, RNA e proteínas, bem como efeitos adversos sobre a membrana plasmática. Com relação à absorção e translocação, o produto é facilmente absorvido pela folha, sendo o movimento limitado no ponto de crescimento da folha. A eficácia máxima requer um período de 4 a 8 horas sem chuva, após a aplicação. Quanto ao metabolismo em plantas, o produto é rapidamente hidrolisado no arroz pela aril-acil amidase a 3,4-dicloroanilina. A tolerância do arroz e do trigo a esse produto é atribuída à maior atividade dessa enzima em comparação com o capim-arroz, que apresenta registros de casos de resistência a esse produto (SENSEMAN, 2007). Norsworthy et al. (2010) observaram que o propanil na dose de 4,48 kg ha⁻¹ em associação com herbicidas sistêmicos em *Sida spinosa*, *Polygonum pensylvanicum* e *Ipomoea wrightii* reduziu a atividade dos mesmos.

A protox se encontra na rota da síntese da clorofila e dos citocromos, e é também chamada de rota de síntese de porfirinas (por isso o nome protoporfirinogeno oxidase) ou de tetrapirroles. Os inibidores da protox atuam na reação de transformação do

protoporfirinogênio em protoporfirina, através da enzima citada anteriormente. Com a inibição da mesma, presente no cloroplasto, há acúmulo de protoporfirinogênio, fazendo com que o mesmo, em excesso, seja deslocado para o citoplasma, e em presença de oxigênio e de luz, há formação de radicais livres, o que resulta em peroxidação lipídica das membranas (HRAC, 2003).

Pertencente ao grupo químico pirimidinadiona, o saflufenacil tem como seu mecanismo de ação a inibição da protox. Este herbicida pode ser absorvido pelas raízes e folhas das plantas. Ao contrário de outros herbicidas inibidores da protox, que limitam a translocação no floema, o saflufenacil (fig. 1) tem translocação acrópeta e basípeta (GROSSMANN, et al., 2011). Saflufenacil é aplicado em doses relativamente baixas e tem baixos impactos ambientais, toxicológicos e ecotoxicológicos, apresentando efeito residual mínimo para as espécies cultivadas em sucessão, característica comum de herbicidas com baixo residual no solo (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010). É um herbicida recomendado para a dessecação de plantas daninhas antes da semeadura da cultura, devido ao seu amplo espectro de controle de espécies, especialmente dicotiledôneas. Algumas culturas apresentam seletividade em aplicação em pré-emergência de saflufenacil como a cevada, aveia e trigo, mas as mesmas doses em pós-emergência demonstraram seletividade apenas em aveia (SIKKEMA; SHROPSHIRE; SOLTANI, 2008). Em pré-emergência há seletividade para a cultura do milho, mas não em pós-emergência (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2009). Gilliard et al. (2015) observaram presença de sinergismo na combinação de saflufenacil com glifosato para o controle de *Conyza bonariensis*. O saflufenacil por apresentar características físico-químicas diferenciadas (pK_a de 4,41 e $\log K_{ow}$ de 2,6) tem caráter sistêmico (GILLIARD et al., 2015), o que pode explicar o suposto sinergismo com o quizalofop, facilitando a entrada do inibidor da ACCase. Em estudos de Grossmann et al. (2011) foi possível observar a translocação do saflufenacil em *Solanum nigrum*, já que o produto foi aplicado apenas em uma folha e causou a morte da planta.

Os mimetizadores da auxina, como o próprio nome indica, imitam os efeitos do ácido-3-indol-acético (IAA) e do ácido-indol-butírico (IAB), a principal auxina natural de grande parte das plantas. Por ter sua capacidade de controlar dicotiledôneas e ser seletiva a gramíneas, as auxinas sintéticas, são o grupo de herbicidas mais bem-sucedidos utilizados na área agrícola (GROSSMANN, 2003). Quanto à sintomatologia, em algumas folhas largas sensíveis, os sintomas podem incluir epinastia leve de

hastes e pecíolos, inchaço no caule (principalmente nos nós) e alongamento. Isso é seguido pela inibição do crescimento, com o aumento de pontos cloróticos, murcha e necrose. Em gramíneas sensíveis, a clorose começa na zona de alongamento das folhas que recentemente se expandiram, seguido por clorose foliar geral e necrose (SENSEMAN, 2007).

O 2,4-D (fig. 1) é um herbicida hormonal do grupo químico das auxinas sintéticas, muito eficiente no controle de plantas daninhas dicotiledôneas, com recomendação para a pós-emergência de várias culturas e plantas daninhas. As gramíneas contêm seletividade devido a mecanismos fisiológicos, provavelmente porque em dicotiledôneas a auxina sintética não tem metabolização tão acelerada quanto a auxina endógena, enquanto em monocotiledôneas podem rapidamente tornar inativas as auxinas sintéticas através da conjugação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O mecanismo de ação do quinclorac (fig. 1) não é completamente compreendido. Em folhas largas sensíveis ao herbicida, a ação parece ser semelhante à de uma auxina. Em gramíneas sensíveis, no entanto, o quinclorac pode inibir uma enzima associada com a biossíntese da celulose. Seu efeito sobre gramíneas também pode ser devido a aumentos da produção de etileno e cianeto (GROSSMANN; KWIATKOWSKI, 1993). Com relação à absorção, o produto é facilmente absorvido pelo coleóptilo de gramíneas emergentes e pelas raízes quando aplicado no solo. O movimento do produto através da membrana plasmática ocorre provavelmente pelo aprisionamento de íons como com outros herbicidas que são ácidos fracos. Quanto à translocação o herbicida é facilmente translocado pelo floema e xilema (SENSEMAN, 2007). Em estudos realizados por Norsworthy et al. (2010), o quinclorac foi o mais consistente produto para melhorar a eficiência de controle em associação com o 2,4-D em folhas largas na lavoura do arroz.

2.3 Resistência aos inibidores da ACCase

Existem mecanismos conhecidos por conferir mais de um tipo de resistência das plantas aos inibidores da ACCase, e podem ser classificadas como relacionadas ao local de ação ou a um mecanismo diferente (POWLES; YU, 2010). Dependendo da especificidade da mutação, herbicidas e doses de herbicidas, alelos de resistência à ACCase em espécies diploides de gramíneas têm sido encontrados sendo parcialmente dominantes ou dominantes sobre alelos do tipo selvagem

(CHRISTOFFERS; BERG, 2002; TAL; RUBIN, 2004; YU et al., 2007; SCARABEL et al., 2011).

Com relação à resistência do herbicida através de um mecanismo diferente, é causada por uma redução na taxa de translocação do herbicida, metabolização acentuada e sequestro do herbicida (POWLES; YU, 2010). Existem relatos de plantas daninhas que evoluíram com doses mais elevadas de herbicidas, através do metabolismo mediado pelo citocromo P450 como o *Lolium multiflorum* (COCKER; NORTHCROFT; COLEMAN, 2001), além disso, estudos indicaram que as GSTs são importantes na detoxificação da maioria das classes de herbicidas, incluindo os ariloxifenoxipropionatos, como o quizalofop e o haloxyfop (LETOUZÉ; GASQUEZ, 2003). Em estudos com *Echinochloa phyllopogon*, ocorreram diferenças nas taxas de absorção entre biótipos de 3 a 48 h após a aplicação de fenoxaprop e foi observada uma considerável correlação entre a taxa de metabolização do herbicida e a resistência das plantas (BAKKALI, et al. 2007).

Segundo Diggle, Neve e Smith (2003), o desenvolvimento da resistência a herbicidas em populações de plantas daninhas sobre uma seleção de herbicidas é um fenômeno evolucionário. O autor indica que herbicidas são agentes de seleção intensivos e onde a existe variabilidade genética em populações de plantas daninhas, a evolução da resistência ao herbicida pode ser rápida. Estudando modelos, o autor examinou o efeito padrão de herbicidas usados no desenvolvimento de resistência para dois herbicidas com diferentes mecanismos de ação em populações finitas e encontrou relação negativa entre o desenvolvimento de resistência e a combinação de herbicidas.

2.4 Tipos de interações entre herbicidas

Existem alguns exemplos de sinergismo, como na combinação de glifosato com inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase, como o saflufenacil (DALAZEN et al., 2015), sulfentrazone (STARKE; OLIVER, 1998) e fomesafen (SHAW; ARNOLD, 2002). Flint e Barret (1989) observaram que misturas de glifosato e 2,4-D foram mais efetivos no controle de *Convolvulus arvensis* em comparação com aplicações isoladas dos ingredientes ativos. Scott, Shaw e Ratliff (1998) encontraram efeito sinérgico em um produto da família das cloroacetamidas, denominado dimetenamida, em aplicação

em mistura com sethoxydim em *Sorghum halepense*. O uso de quinclorac em associação com 2,4-D promoveu um controle de mais de 80% de *Sida spinosa* e *Polygonum pensylvanicum* em estudos realizados por Norsworthy et al. (2010). Matzenbacher et al. (2015), notaram sinergismo na associação de propanil com thiobencarb, profoxydim com cyhalofop-butyl ou clomazone, e quinclorac com imazapyr + imazapic, bispyribac-sodium ou cyaholofop-butyl. O sinergismo também pode ocasionar efeitos em culturas, se tornando uma interação indesejada para o produtor, como no exemplo de mistura de ethametsulfuron com graminicidas como o haloxyfop, fluazifop e o quizalofop em *Brassica napus* e *Brassica rapa* (HARKER; BLACKSHAW; KIRKLAND, 1995). Simpson e Stoller, 1996, verificaram maior injúria em *Glycine max* após associações de thifensulfuron e imazethapyr, comparado com o efeito dos produtos isolados.

A avaliação de 479 interações de herbicidas envolvendo 76 diferentes espécies de plantas daninhas encontrou predomínio de antagonismo em monocotiledôneas e de sinergismo em dicotiledôneas (ZHANG; HAMILL; WEAVER, 1995). Misturas de haloxyfop e quizalofop com ethametsulfuron (inibidor da ALS) causaram perdas de rendimento de até 97 e 59% em canola, respectivamente, o que supõe incremento na injúria das plantas com a mistura (HARKER; BLACKSHAW; KIRKLAND, 1995). Abit et al. (2011) identificaram maior controle quando utilizaram mistura de quizalofop com latifolicidas do que o efeito do quizalofop sozinho.

Quando dois ou mais ingredientes ativos são combinados, o primeiro efeito é que haja um aumento na eficácia, permitindo um maior controle sobre uma determinada espécie, o que não seria possível com uma aplicação de um único herbicida. Além disso, para a mistura, os herbicidas devem ser fisicamente e quimicamente compatíveis (não devem flocular ou reagir adversamente) (PALOU; RANZENBERGER; LARIOS, 2008). Segundo Damalas (2004), as interações em misturas de herbicidas podem ocorrer durante ou depois da aplicação da mistura. O que significa que herbicidas devem interagir fisicamente ou quimicamente na calda da solução ou biologicamente na planta. Existem quatro tipos de mecanismos de interação herbicida: bioquímica, competitiva, fisiológica e química. A bioquímica ocorre quando um produto químico diminui a quantidade de herbicida que alcança o sítio de ação seja por redução na penetração, no transporte, aumento da inativação metabólica ou sequestro. A competitiva acontece quando a interação entre os herbicidas torna um produto uma barreira para a ligação do outro no sítio de ação. A fisiológica ocorre

quando dois herbicidas apresentam efeitos biológicos opostos. Por fim, na química, há uma reação entre os herbicidas que forma um complexo inativo ou que aumenta a taxa de metabolismo (GREEN, 1989).

Segundo Damalas (2004), o tipo e a amplitude das interações dependem primeiramente das propriedades dos herbicidas combinados (dentre elas o grupo químico, a absorção, a translocação, o mecanismo de ação e a rota metabólica). Zhang, Hamill e Weaver (1995) observaram através de estudos anteriores que o antagonismo ocorre com maior frequência do que o sinergismo nas misturas de herbicidas. Flint e Barret (1989) observaram com estudos no qual foi aplicado glifosato com 2,4-D e dicamba em *Sorghum halepense* que o ponto de entrada e a mobilidade de herbicidas combinados dentro da planta afetam significativamente o comportamento da mistura, já que se os produtos apresentam o mesmo ponto de entrada, há redução na eficácia. Culpepper et al. (1999) sugeriram que o efeito antagônico da mistura de bromoxynil e quizalofop-P pelo primeiro, seja devido à menor absorção do segundo pelas plantas de *Setaria glauca*.

A planta alvo também é um fator que influencia o tipo de interação entre os herbicidas associados. Sorensen, Meggit e Penner (1987) perceberam que em *Chenopodium album* e *Abutilon theophrasti* houve um incremento na eficácia de controle quando foi utilizada a mistura de acifluorfen e bentazon, enquanto que em *Datura stramonium* o efeito foi contrário. Wesley e Shaw (1992) observaram que a interação de imazaquin com fomesafen ou acifluorfen foi antagônica para *Xanthium strumarium* e sinérgica para *Sida spinosa*.

O estágio de crescimento também é um fator que afeta o tipo de interação entre herbicidas combinados, através da observação realizada por Liebl e Worsham (1987), que notaram redução na eficácia de aplicação em pós-emergência de chlorsulfuron e diclofop em *Lolium multiflorum* maior em estágio de três folhas completamente expandidas do que quando haviam duas folhas completamente expandidas. Damalas (2004) atribuem essa diferenciação, devido às diferenças nas estruturas anatômicas das folhas, já que as plantas mais jovens apresentam cutícula mais fina e menor habilidade para detoxificação de herbicidas.

Por fim, e não menos importante, o espectro de ação é um fator que também afeta a eficácia e influencia no tipo de interação resultante da mistura de herbicidas. Segundo Damalas (2004) a interação antagônica é a mais comum encontrada na literatura quando latifolicidas resultam em redução na eficácia dos graminicidas.

2.5 Considerações finais

Com o aumento de casos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas nos últimos anos, busca-se alternativas de manejo e a rotação de produtos, conjuntamente, a possibilidade de mistura dos mesmos torna-se uma ferramenta interessante para o problema.

As misturas de herbicidas são importantes ferramentas para o controle de plantas daninhas na agricultura. Entretanto, é imprescindível conhecer os fatores que afetam as interações e quais tipos de efeitos são obtidos a partir de associações de produtos. Em vista disso, o produtor deve adotar a melhor medida de controle, com base na espécie a ser controlada e os possíveis efeitos dos herbicidas utilizados. Através da pesquisa, o agricultor poderá prever a interação que será resultante da associação e o melhor resultado será conforme o caso trabalhado.

3 CAPÍTULO II: Efeito da associação de dois herbicidas inibidores da ACCase com os principais herbicidas registrados para o arroz no Brasil no controle de angiquinho e arroz-daninho.

3.1 Introdução

A demanda de estudos em relação aos efeitos sinérgicos ou antagonistas através da mistura de herbicidas tem crescido imensamente nas últimas duas décadas. Na área de agroquímicos, por exemplo, busca-se o sinergismo para reduzir a carga ambiental com produtos químicos. Na farmacologia, por sua vez, a busca pelo sinergismo é relativa e desejada em alguns exemplos particulares (RITZ; STREIBIG, 2014). Além disso as interações sinérgicas podem ser particularmente benéficas quando resultam em um controle mais efetivo das plantas daninhas (DAMALAS, 2004).

Estudos mostram os efeitos das interações entre herbicidas no controle de plantas daninhas, como no caso da associação de imazethapyr com clethodim, fluazifop, quizalofop ou sethoxydim, reduzindo a eficiência no controle de *Digitaria sanguinalis*, *Panicum dichotomiflorum* e *Bachiaria plantyphylla*, comparado com a aplicação do graminicida sozinho (MYERS; COBLE, 1992). Em aplicações na cultura do arroz, combinações de inibidores da ALS e da ACCase, com herbicidas de mecanismos de ação diferentes, como por exemplo fenoxaprop-P-ethyl (inibidor da ACCase) e carfentrazone (inibidor da protox), podem também resultar em antagonismo no controle em capim-arroz (ZHANG, et al., 2005). Minton, Kurtz e Shaw, 1989, observaram que a combinação de clodinafop-propargyl com inibidores da ALS reduziu a eficiência do controle de *Echinochloa crus-galli*, indicando um antagonismo aparente. Por exemplo o antagonismo em *Eleusine indica* ocasionado pela mistura de

bentazon e sethoxydim foi associado com a redução na absorção de sethoxydim pelo inibidor do FS II (RHODES; COBLE, 1984). Similarmente, a absorção e translocação de haloxyfop em *Sorghum bicolor* decresceu significativamente depois da aplicação de bentazon (CROON; KETCHERSID; MERKLE, 1989). Corkern et al. (1998), observaram redução no controle de *Sorghum halepense* em 20, 36 e 55% após a aplicação em mistura de bromoxynil com clethodim, fluazifop-P e quizalofop-P, respectivamente. Segundo Kim et al., (2006), o mecanismo de inibição da translocação do quizalofop-ethyl pelo bromoxynil tem como hipótese a rápida inibição da fotossíntese induzida pelo bromoxynil. De acordo com os autores, como resultado, a formação de produtos fotossintéticos é reduzida, como é a formação de ATP e NAPH, que provêm energia para diversos processos metabólicos. Os autores comentaram que esta inibição reduz o movimento pelo floema de fotoassimilados e componentes exógenos, como os herbicidas. Corckern et al. (1998) observaram perda de 17% no rendimento de algodão devido à redução no controle do *Sorghum halepense* quando os graminicidas foram misturados ao bromoxynil, com relação ao uso dos graminicidas isolados.

Alguns exemplos de antagonismo são a aplicação de pyriithiobac em misturas com fluazifop-P como forma de reduzir a eficiência desse ultimo herbicida no controle de *Digitaria sanguinalis* (FERREIRA; BURTON; COBLE, 1995). Baerg et al., (1996), observaram efeito antagônico na associação entre tribenurom e diclofop, reduzindo a eficiência desse no controle de *Avena fatua*. Minton, Kurtz e Shaw (1989), notaram que o acifluorfen foi antagônico quando misturado ao fenoxaprop e ao haloxyfop no controle de *Echinochloa crus-galli*. Matzenbacher et al. (2015) notaram efeito antagônico entre o quinclorac e o profoxydim. O efeito da interação negativa, por sua vez, visto sobre a cultura como o encontrado na associação de fenoxaprop com MCPA em trigo e cevada, com relação ao fenoxaprop sozinho em estudos de Deschamps, Hsiao e Quick (1990), pode ser considerado benéfico.

Matzenbacher et al. (2015) avalia que as associações de herbicidas identificadas como aditivas ou sinérgicas podem contribuir para o manejo de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado como forma de prevenção da evolução e do controle de capim-arroz resistente a herbicidas imidazolinonas. Com isso, torna-se uma prática importante avaliar também o rendimento de grãos. Estes estudos tiveram como objetivo elucidar o efeito de herbicidas latifolicidas na ação graminicida do quizalofop sobre o arroz cultivado como planta indicadora na simulação de arroz-daninho e

elucidar o efeito do quizalofop na atividade latifolicida de herbicidas sobre *Aeschynomene denticulata*.

3.2 Material e métodos

Foram realizados 5 experimentos, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitossanidade, no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no Capão do Leão (RS). No primeiro experimento o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com 15 tratamentos representados pelo uso de quizalofop (100 e 50 g i.a. ha⁻¹), haloxyfop (31,18 e 15,59 g i.a. ha⁻¹), doses cheia e meia dose, respectivamente, imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (241,8 g e.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) e propanil (3600 g i.a. ha⁻¹) em doses (tabela 1) conforme as bulas de produtos registrados no Brasil, isoladamente sobre o arroz cultivado utilizado como planta indicadora para simular o arroz-daninho.

O segundo experimento foi em DIC, com 17 tratamentos representados pelo uso de quizalofop (100 e 50 g i.a. ha⁻¹) em mistura com imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (241,8 g e.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) ou propanil (3600 g i.a. ha⁻¹) sobre o arroz cultivado utilizado como planta indicadora na simulação do arroz-daninho.

O terceiro experimento foi em DIC com 17 tratamentos compostos por haloxyfop (31,18 e 15,59 g i.a. ha⁻¹) em mistura com imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (670 g e.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) ou propanil (3600 g i.a. ha⁻¹) sobre o arroz cultivado utilizado como planta indicadora na simulação do arroz-daninho. Foi adicionado o óleo mineral Assist® a 1% para metsulfuron-methyl, bentazon e penoxsulam, e Dash® a 0,5% para imazapic + imazapyr e saflufenacil. O solo usado foi coletado no Centro Agropecuário da Palma (CAP), em área experimental da UFPel, peneirado e depositado nos vasos juntamente com substrato

de casa de arroz carbonizada (H. Decker®) na relação 2:1 (substrato:solo). Sementes de arroz da cultivar SCS 118 Marques oriundas da Epagri (SC) foram semeadas, totalizando 4 kg, obtendo-se após o desbaste, 6 plantas por vaso. A cultivar em questão é de ciclo tardio, com 144 dias de emergência até a completa maturação dos grãos, para as condições climáticas do local de origem, apresenta excelente arquitetura e perfilhamento, sendo resistente ao acamamento, com estatura média de 105 cm na fase da completa maturação (SOSBAI, 2016).

Tabela 1. Doses dos herbicidas aplicados no arroz SCS 118 Marques, Capão do Leão, 2015.

Herbicida	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Herbicida	Dose (g i.a. ha ⁻¹)
Quizalofop	100	Haloxyfop	15,59
Haloxyfop	31,18	Penoxsulam	36
*Imazapic + Imazapyr	24,5 + 73,5	*2,4-D	241,8
Metsulfuron-methyl	2,0	Bispyribac-sodium	50
Bentazon	720	Pyrazossulfuron-ethyl	20
Saflufenacil	70	Quinclorac	375
Quizalofop	50	Propanil	3600

* Dose em g e.a. ha⁻¹

Quando as plantas de arroz estavam com aproximadamente 3 folhas completamente expandidas, foram aplicados os tratamentos herbicidas. Na aplicação dos herbicidas utilizou-se pulverizador pressurizado a CO₂ munido de bicos tipo leque 11002, utilizando-se volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹. A aspersão foi efetuada em ausência de vento. As plantas de arroz foram mantidas com lâmina de água nos vasos logo após a aplicação, sendo a mesma repostada sempre que necessário.

As avaliações realizadas foram de controle do arroz em percentagem, aos 28 e 35 dias após a aplicação (DAA), seguindo a escala de 0 a 100, sendo o 0 a representação de ausência de sintomas e o 100, a de morte das plantas. A massa da matéria seca da parte aérea relativa (MMSPA) foi determinada após o corte das plantas na altura do solo aos 35 DAA, na qual o 100% foi atribuído aos valores obtidos no tratamento testemunha. Os resultados de avaliação visual foram utilizados na equação de Colby (1967) para o cálculo do valor esperado e do valor observado. Procedeu-se a análise

da variância pelo teste F e realizou-se a comparação de médias através do teste de Scott-Knott a 5% de significância para a comparação de médias.

Os resultados de avaliação visual foram utilizados no modelo pressuposto por Colby (1967) para o cálculo do valor esperado e do valor observado, conforme a equação abaixo:

$$E = 100 \left[\frac{(100 - X) \cdot (100 - Y)}{100} \right]$$

Onde E é a redução de crescimento esperada, indicando como percentagem de controle; X e Y representam a redução no crescimento como a percentagem de controle dos herbicidas aplicados de maneira isolada. Procedeu-se a análise da variância pelo teste F e realizou-se a comparação de médias através do teste de Tukey a 5% de significância para a comparação de médias.

O quarto experimento foi realizado com o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 6 tratamentos representados pelo uso de quizalofop (100 g i.a. ha⁻¹), imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 e 12,25 + 36,75 g i.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 e 1,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 e 360 g i.a. ha⁻¹) e saflufenacil (70 e 35 g i.a. ha⁻¹), doses cheia e meia dose, respectivamente, aplicados isoladamente sobre plantas de *Aeschynomene denticulata*.

O quinto experimento foi realizado com o delineamento experimental inteiramente casualizado com 12 tratamentos representados pela mistura de quizalofop (100 g i.a. ha⁻¹) com imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 e 12,25 + 36,75 g i.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 e 1,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 e 360 g i.a. ha⁻¹) e saflufenacil (70 e 35 g i.a. ha⁻¹) sobre plantas de *Aeschynomene denticulata*.

Foi adicionado o óleo mineral Assist[®] a 1% para o bentazon e metsulfuron-methyl e Dash[®] a 0,5% para imazapic + imazapyr e saflufenacil. O solo usado foi coletado no Centro Agropecuário da Palma (CAP), em área experimental da UFPel, peneirado e depositado nos vasos juntamente. Sementes de angiquinho do acesso 15 oriundas da Epagri (SC) foram semeadas, obtendo-se após o desbaste, 4 plantas por vaso. Quando as plantas de angiquinho estavam com aproximadamente 3 folhas completamente expandidas, foram aplicados os herbicidas. Na aplicação dos herbicidas utilizou-se pulverizador pressurizado a CO₂ munido de bicos tipo leque 11002, utilizando-se volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹. A aspersão foi efetuada em ausência de vento. As plantas de arroz foram mantidas sob boa disponibilidade

hídrica durante todo o período experimental, através da presença de lâmina de água nos vasos, sendo a mesma repostada sempre que necessário.

As avaliações realizadas foram de controle do angiquinho em porcentagem, aos 35 e 42 dias após a aplicação (DAA), seguindo a escala de 0 a 100, sendo o 0 a representação de ausência de sintomas e o 100, a de morte das plantas. A massa da matéria seca da parte aérea relativa (MMSPA) foi determinada após o corte das plantas na altura do solo aos 42 DAA, na qual o 100% foi atribuído aos valores obtidos no tratamento testemunha.

3.3 Resultados e discussão

Estudo I - Efeito dos herbicidas pós-emergentes registrados para arroz no Brasil sobre a atividade do quizalofop em *Oryza sativa*

Os resultados da tab. 2, indicam que nos tratamentos em que houve aplicação isolada de quizalofop (Targa®), obteve-se alto controle no arroz aos 35 dias após o tratamento (DAT), tanto em dose cheia como em meia dose. Além disso, a massa seca da parte aérea foi reduzida em mais de 80% com relação à testemunha (100%), o que indica a elevada suscetibilidade da cultivar a esse herbicida. Com relação ao haloxyfop, o valor do controle foi reduzido pela metade, já o da MSPA, obteve uma descrescimento de mais de 60% em relação ao tratamento controle. Observou-se que o imazapyr + imazapic também foi efetivo em causar fitotoxicidade nesse biótipo quando aplicado sem associação, causando uma redução de quase 55% da MSPA relativa. Com relação aos herbicidas bentazon, bispyribac-sodium, pyrazosulfuron-ethyl, quinclorac, propanil, saflufenacil e 2,4-D obteve-se alta tolerância da cultivar de arroz.

Tabela 2 - Avaliação da massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz com os herbicidas aplicados isoladamente, UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Dose (g i.a.ha ⁻¹)	MSPA relativa (%) *
Testemunha	0	100,00 a
Quizalofop (cheia)	100	16,63 d
Haloxyfop (cheia)	31,18	36,79 d
Imazapic +Imazapyr	24,5 + 73,5**	44,23 d
Metsulfuron-methyl	2,0	100,00 a
Bentazon	720	89,24 b
Saflufenacil	70	70,25 b
Quizalofop (meia)	50	42,47 d
Haloxyfop (meia)	15,59	56,56 c
Penoxsulam	36	100,00 a
2,4-D	241,8**	82,19 b
Bispyribac-sodium	50	84,34 b
Pyrazosulfuron-ethyl	20	100,00 a
Quinclorac	375	91,19 b
Propanil	3600	83,76 b
CV (%)		26,18

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

** Dose em g e.a. ha⁻¹.

Na tab. 3, pode-se verificar que os tratamentos em associação de quizalofop em dose cheia e metsulfuron-methyl foram eficientes no controle do arroz, porém não houve diferença significativa do controle com relação ao controle esperado. A associação de quizalofop com 2,4-D tem indicação de antagonismo, pois houve um controle menor do que o esperado de plantas de arroz. A principal teoria é de que o antagonismo pode ocorrer em função da redução da absorção (CULPEPPER; YORK; BROWNIE, 1999) ou da absorção e translocação dos graminicidas pelos latifolicidas (HOLSHOUSER; COBLE, 1990).

Tabela 3 - Avaliação de fitotoxicidade aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz das misturas de quizalofop na dose cheia, UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Fitotoxicidade (%)		MSPA (%) **	
	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.
Quizalofop + (Imazapic +Imazapyr)	100	80*	7,69	42,86* d
Quizalofop + Metsulfuron-methyl	98,47	100 ^{ns}	16,63	26,61* d
Quizalofop + Bentazon	98,41	96,6 ^{ns}	14,84	30,14* d
Quizalofop + Saflufenacil	98,84	66,6*	11,68	81,80* b
Quizalofop + Penoxsulam	98,84	21,6*	16,63	81,80* b
Quizalofop + 2,4-D	98,75	21,6*	13,67	63,60* c
Quizalofop + Quinclorac	98,33	73,3*	15,16	31,11* d
Quizalofop + Bispyribac-sodium	98,44	88,3 ^{ns}	14,03	21,92* d
Quizalofop + Propanil	98,58	48,3*	13,93	25,64* d
Quizalofop + Pyrazosulfuron-ethyl	98,33	80*	16,63	24,85* d
CV (%)				26,18

* Teste t ao nível de 5% de probabilidade entre o valor esperado e o observado.

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Esp. = Esperado; Obs. = Observado.

Quizalofop (100 e 50 g i.a. ha⁻¹), imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (241,8 g i.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) e propanil (3600 g i.a. ha⁻¹).

A tab. 3 demonstra uma maior MSPA relativa observada do que a esperada em todas as associações, indicando suposto antagonismo. Segundo Barnwell e Cobb (1994), o antagonismo em graminicidas deve-se a alguns fatores como incompatibilidade física na mistura em tanque, alterações na absorção, translocação e no metabolismo e na interferência com processos metabólicos específicos ou eventos celulares regulatórios. O'Sullivan, Friesen e Vanden Born (1977) observaram que antagonismo entre o diclofop-methyl e o MCPA era devido aos ingredientes ativos nas formulações ao invés de incompatibilidades em mistura de tanque. Além disso, é importante ressaltar que a formulação do 2,4-D utilizada na mistura com o quizalofop no screening era amina, o que segundo o autor pode causar maior antagonismo do

que a formulação éster, em estudo com MCPA sobre *Avena fatua*.

Blackshaw, et al. (2006) observaram que a formulação amina do 2,4-D foi altamente antagônica ao quizalofop-P e clethodim em trigo voluntário, porém quando a formulação do mimetizador da auxina era éster, a mistura apresentou pequeno risco de reduzir a eficácia com relação aos graminicidas isolados. Em outro estudo, Qureshi e Vanden Born (1979) confirmaram antagonismo com a formulação dimetilamina do MCPA com diclofop-methyl, havendo incompatibilidade física dos solventes do graminicida. Os autores observaram que a absorção do graminicida foi significativamente reduzida pela presença do MCPA (particularmente na formulação amina). Contudo, outros autores como Todd e Stobbe (1980), relataram em seus estudos que a absorção do diclofop-methyl não foi influenciada pela adição do 2,4-D na formulação amina em *Avena fatua*. Quresh e Vanden Born (1979) relataram ainda que a presença de MCPA reduziu a taxa de hidrólise do diclofop-methyl para diclofop ácido e acelerou a conversão do ácido em compostos inativos em *Avena fatua*. Taylor, Loader e Norris (1983) observaram que a adição de 2,4-D teve influência no aumento da taxa de detoxificação de diclofop-methyl. Com relação à translocação, o mesmo raciocínio serve para a associação entre quizalofop e propanil.

O efeito supostamente atangônico do propanil ao quizalofop pode ser explicado com base na redução da absorção e translocação do graminicida (SCHERDER; TALBERT; LOVELACE, 2005). Em estudos realizados por esses autores, o controle de *Echinochloa crus-galli* suscetível ao propanil foi menor quando o produto foi associado ao cyhalofop (49% de controle), em relação ao cyhalofop sozinho (67% de controle). O autor sugere que a redução no controle de gramíneas indica que a mistura desses produtos não deva ser recomendada. Outros autores demonstraram reduções no controle de gramíneas quando inibidores da ACCase foram associados com inibidores de fotossistema em *Digitaria sanguinalis* (CULPEPPER et al., 1998). Em estudos realizados por Kim et al. (2006), o bromoxynil (inibidor do FS II) não teve efeito na inibição da atividade da ACCase pelo quizalofop-ethyl, ou na absorção foliar do graminicida, mas interrompeu consideravelmente a translocação do inibidor da ACCase para as partes meristemáticas de plantas de milho.

O que se observa com relação ao controle na tab. 3, como no caso do quizalofop em associação com o penoxsulam, imazapic + Imazapyr e pyrazosulfuron-ethyl é a mesma aplicabilidade da possível interação antagônica entre o inibidor de ACCase com um inibidor de ALS como encontrado por Matzenbacher et al. (2015), onde na

maioria das avaliações, as misturas de fenoxaprop-P-ethyl (89 g ha⁻¹) com imazethapyr + imazapic (75 + 25 g ha⁻¹), imazapyr + imazapic (100 + 35 g ha⁻¹) e bispyribac-sodium (50 g ha⁻¹) causaram antagonismo, com redução significativa no controle (observado abaixo do esperado) de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores da ALS. Ainda no mesmo estudo, em biótipos sensíveis, imazapyr + imazapic associados com profoxydim, observou-se possível efeito antagônico, independentemente da dose avaliada. Barnes e Oliver (2004), indicaram que a redução na eficiência de controle dos herbicidas ariloxifenoxipropionatos, como o quizalofop (56 e 77 g ha⁻¹) quando aplicados em combinação com o inibidor da ALS, cloransulam (18 g ha⁻¹) em *Bachiarua decumbens*, apresentam translocação reduzidas.

Com relação aos latifolicidas, mais especificamente os inibidores da ALS, como sugestão ao seu estudo, Matzenbacher et al. (2015) avalia que a associação entre herbicidas inibidores da enzima pertencentes a diferentes grupos químicos é uma alternativa para controle de capim-arroz resistente a imidazolinonas, ou para a prevenção da evolução da resistência. No entanto, uma hipótese do trabalho é que misturas de herbicidas podem proporcionar variações nas respostas de controle de capim-arroz em comparação com o efeito dos produtos isolados. Nesse caso, foi quantificada uma frequência maior de antagonismo do que sinergismo no controle de capim-arroz, o que aumenta a problemática de controle químico. Segundo Trezzi, et al. (2007), os efeitos antagônicos ocorrem principalmente quando o graminicida é aplicado juntamente ou após os herbicidas latifolicidas. Blouin, Webster e Bond (2010), encontraram redução no controle de *Urochloa platyphylla*, sendo o mesmo resultado da associação do fenoxaprop com inibidores da ALS (bispyribac-sodium e o penoxsulam) indo ao encontro do que ocorreu com o quizalofop na tab. 3.

As tab. 4, 5 e 6, demonstram a possibilidade de interação antagônica entre quizalofop + 2,4-D, quizalofop e haloxyfop + propanil, haloxyfop + bispyribac-sodium, respectivamente, pois tanto o controle esperado é maior do que o observado, como a MSPA relativa não apresenta redução significativa, principalmente no caso entre o quizalofop + 2,4-D, em que não atingiu a 1% de redução. Blackshaw et al. (2006) observaram antagonismo de 2,4-D na formulação amina sobre o quizalofop em trigo voluntário em todos os casos estudados, sendo inclusive identificado na dose mais alta de quizalofop utilizada (36 g i.a. ha⁻¹).

Com relação ao suposto antagonismo observado na associação do propanil com o

haloxyfop, já que não houve redução de MSPA relativa abaixo da esperada, uma menor atividade herbicida, é esperada, tendo em vista de que o propanil é um herbicida de contato seletivo ao arroz e tem sido relatado por alguns autores como antagonista a outros herbicidas (SCHERDER; TALBERT; LOVELACE, 2005; WILLINGHAM et al., 2008).

Quanto à associação entre o haloxyfop na meia dose e o bispyribac-sodium, a redução na MSPA relativa foi maior do que nas outras duas combinações citadas anteriormente, porém é importante ressaltar a influência dos inibidores da ALS na interação antagônica com os ariloxifenoxipropionatos. Matzenbacher, et al. (2015), observou que o menor rendimento de grãos de *Echinochloa crus-galli* resistente aos imidazolinonas entre os tratamentos que receberam a aspersão de herbicidas foi observado no tratamento composto por fenoxaprop-P-ethyl ($89,7 \text{ g ha}^{-1}$) associado com bispyribac-sodium (50 g ha^{-1}), na qual foi observada uma resposta antagônica, não diferindo do tratamento testemunha. Porém, quando foram realizadas as misturas de penoxsulam ($31,2 \text{ g ha}^{-1}$) com profoxydim (85 g ha^{-1}) ou cyhalofop-butyl (315 g ha^{-1}), com bispyribac-sodium (24 g ha^{-1}), houve controle similar ao observado nos tratamentos em que os herbicidas foram aspergidos isoladamente, resultando em efeito aditivo.

Ainda com relação a este estudo, nas avaliações com 50% da dose dos herbicidas, as misturas de imazapyr + imazapic ($52,5 + 17,5 \text{ g ha}^{-1}$) com profoxydim (85 g ha^{-1}) ou cyhalofop-butyl (315 g ha^{-1}) resultaram na redução do controle de capim-arroz suscetível aos inibidores da ALS. No mesmo experimento, bispyribac-sodium (24 g ha^{-1}), quando combinado com profoxydim (85 g ha^{-1}), teve controle reduzido quando comparado ao efeito isolado de cada herbicida.

Tabela 4 - Avaliação de fitotoxicidade aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz em resposta às misturas de quizalofop na meia dose, UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Fitotoxicidade (%)		MSPA relativa (%)**	
	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.
Quizalofop + (Imazapic+Imazapyr)	100	96,6 ^{ns}	18,78	34,83* d
Quizalofop + Metsulfuron-methyl	96,94	75*	42,47	31,90* d
Quizalofop + Bentazon	96,83	63,3*	37,90	35,23* d
Quizalofop + Saflufenacil	97,67	51,6*	29,84	31,90* d
Quizalofop + Penoxsulam	97,67	58,3*	42,47	34,25* d
Quizalofop + 2,4-D	97,50	15*	34,91	99,02* a
Quizalofop + Quinclorac	96,66	60*	38,73	54,79* b
Quizalofop + Bispyribac- sodium	96,88	55*	35,82	44,23* d
Quizalofop + Propanil	97,16	48,3*	35,57	48,34* b
Quizalofop + Pyrazosulfuron - ethyl	96,66	43,3*	42,47	56,56* b
CV (%)				26,18

* Teste t ao nível de 5% de probabilidade (compara esperado e observado na linha).

** Médias com letras minúsculas diferentes, na coluna são diferentes de acordo com o Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Esp. = Esperado; Obs. = Observado.

Quizalofop (100 e 50 g i.a. ha⁻¹), imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (241,8 g i.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) e propanil (3600 g i.a. ha⁻¹)

Tabela 5 - Avaliação de fitotoxicidade aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz em resposta às misturas de haloxyfop na dose cheia, UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Fitotoxicidade (%)		MSPA (%) **	
	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.
Haloxyfop + (Imazapic + Imazapyr)	100	46,6*	16,27	63,80* c
Haloxyfop +Metsulfuron- methyl	56,44	65 ^{ns}	36,79	53,03* c
Haloxyfop + Bentazon	54,82	30*	32,83	52,64* c
Haloxyfop + Saflufenacil	66,89	65 ^{ns}	25,84	59,10* c
Haloxyfop + Penoxsulam	66,89	65 ^{ns}	36,79	41,68* d
Haloxyfop + 2,4-D	64,47	43,3*	30,24	82,78* b
Haloxyfop + Quinclorac	52,40	48,3 ^{ns}	33,55	56,36* c
Haloxyfop + Bispyribac- sodium	55,63	31,6*	31,03	60,47* c
Haloxyfop + Propanil	59,63	31,6*	30,82	45,60* d
Haloxyfop + Pyrazosulfuron-ethyl	52,40	80*	36,79	43,44* d
CV (%)				26,18

* Teste t ao nível de 5% de probabilidade entre o valor esperado e o observado na linha.

** Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas são significativamente diferentes de acordo com o Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Esp. = Esperado; Obs. = Observado.

Haloxyfop (31,18 e 15,59 g i.a. ha⁻¹), imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (241,8 g i.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) e propanil (3600 g i.a. ha⁻¹)

Tabela 6 - Avaliação de controle aos 35 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz em resposta às misturas de haloxyfop (na meia dose), UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Controle (%)		MSPA relativa(%)**	
	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.
Haloxyfop + (Imazapic+Imazapyr)	100	78,3*	25,02	42,66* d
Haloxyfop + Metsulfuron-methyl	48,97	30*	56,56	64,19* c
Haloxyfop + Bentazon	47,08	16,6*	50,47	84,15* b
Haloxyfop + Saflufenacil	61,22	60 ^{ns}	39,73	34,05* d
Haloxyfop + Penoxsulam	61,22	25*	56,56	39,14* d
Haloxyfop + 2,4-D	58,38	5*	46,49	88,65* b
Haloxyfop + Quinclorac	44,24	5*	51,58	94,72* b
Haloxyfop + Bispyribac-sodium	48,02	8,3*	47,70	86,30* b
Haloxyfop + Propanil	52,71	0*	47,37	100* a
Haloxyfop + Pyrazosulfuron-ethyl	44,24	3,3*	56,56	78,47* b
CV (%)				26,18

* Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade entre o valor esperado e observado na linha.

** Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas são significativamente diferentes de acordo com o Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Esp. = Esperado; Obs. = Observado.

Haloxyfop (31,18 e 15,59 g i.a. ha⁻¹), imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 g e.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (70 g i.a. ha⁻¹), penoxsulam (36 g i.a. ha⁻¹), 2,4-D (241,8 g i.a. ha⁻¹), bispyribac-sodium (50 g i.a. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha⁻¹), quinclorac (375 g i.a. ha⁻¹) e propanil (3600 g i.a. ha⁻¹).

Estudo II – Efeito dos herbicidas pós-emergentes registrados para arroz no Brasil sobre a atividade do quizalofop em *Aeschynomene denticulata*

A tab. 7 demonstra elevado controle do angiquinho com o uso do saflufenacil (100%) nos 35 DAA. Os resultados não corroboram com o que foi identificado por Silva et al. (2015) com relação à eficiência do inibidor da protox para o controle da planta daninha.

As tab. 7 e 8 demonstram os efeitos dos herbicidas isolados e em associação, o que supostamente indica antagonismo entre todas as associações de quizalofop nas

duas doses utilizadas de acordo com os valores de MSPA (observado acima do esperado). Segundo Damalas (2004) interações em misturas de herbicidas frequentemente causam problemas significantes em controle de plantas daninhas.

Ainda segundo Damalas (2004), o sinergismo tem sido encontrado com maior frequência onde a mistura apresenta herbicidas do mesmo grupo químico e o antagonismo em associações de herbicidas de grupos químicos diferentes. Segundo o autor, isso ocorre pois se houver diferentes grupos químicos na associação, haverão diferentes estruturas químicas que por sua vez, atuarão com diferentes mecanismos de ação e em diferenciadas rotas metabólicas, o que aumenta a chance de que haja uma interação no sítio de ação por um processo fisiológico ou enzimático, ou ainda reagir quimicamente e formar um complexo inativo.

Segundo Matzenbacher et. al. (2015), a utilização de misturas é comumente realizada pelos produtores de arroz para controle de plantas daninhas, muitas vezes sem a recomendação adequada em relação aos herbicidas e doses a serem utilizados.

No entanto, o conhecimento técnico do efeito da associação dos herbicidas é imprescindível, uma vez que misturas de herbicidas que interagem antagonicamente podem ocasionar controle ineficiente, necessidade de reaplicação, aumento do custo de produção e redução do potencial produtivo da cultura. Os autores ainda sugerem que existem duas estratégias adotadas para se contornar os casos de antagonismo. A primeira seria a elevação das doses do graminicida para produzir o mesmo nível de controle da planta daninha que o da aplicação isolada do herbicida e a outra seria respeitar um intervalo mínimo entre as aplicações dos produtos, o que implicaria em custos extras com uma nova operação de aplicação. Sendo assim, a recomendação ou não de associação desses produtos deve ser realizada através de uma análise econômica.

Tabela 7 - Avaliação de controle aos 35 e 42 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do angiquinho com os herbicidas aplicados isoladamente, UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Controle (%)		MSPA (%) *
	35 DAA*	42 DAA*	
Testemunha	0 d	0 e	100 a
Quizalofop	0 d	0 e	100 a
Imazapic +Imazapyr	88,3 a	88,3 a	27,78 de
Metsulfuron-methyl	41,6 bc	41,6 cd	55,56 abcde
Bentazon	3,33 d	0 e	66,67 abcde
Saflufenacil	100 a	100 a	16,67 de
Imazapic +Imazapyr	83,3 a	81,6 a	33,33 cde
Metsulfuron-methyl	70 ab	71,6 ab	44,44 bcde
Bentazon	0 d	0 e	72,22 abcd
Saflufenacil	100 a	100 a	11,11 e
CV (%)	23,26	19,78	32,68

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

Quizalofop (100 g i.a. ha⁻¹), imazapic + imazapyr (24,5 + 73,5 e 12,25 + 36,75 g i.a. ha⁻¹), metsulfuron-methyl (2,0 e 1,0 g i.a. ha⁻¹), bentazon (720 e 360 g i.a. ha⁻¹) e saflufenacil (70 e 35 g i.a. ha⁻¹).

Tabela 8 - Avaliação de controle aos 42 DAA e massa seca da parte aérea (MSPA) do angiquinho das misturas de quizalofop e latifolicida na dose cheia e meia dose, UFPel, Capão do Leão, RS, 2015

Herbicida	Controle (%)		MSPA (%) **	
	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.
Quizalofop + (Imazapic +Imazapyr)	88,38	85*	27,78	33,33* cde
Quizalofop + Metsulfuron-methyl	41,6	0*	55,56	83,33* abc
Quizalofop + Bentazon	0	13,3*	66,67	66,67 ^{ns} abcde
Quizalofop + Saflufenacil	100	100 ^{ns}	16,67	22,22* de
Quizalofop + meia (Imazapic +Imazapyr)	81,6	43,3*	33,33	44,44* bcde
Quizalofop + meia Metsulfuron-methyl	71,6	28,3*	44,44	72,22* abcd
Quizalofop + meia Bentazon	0	0 ^{ns}	72,22	94,44* ab
Quizalofop + meia Saflufenacil	100	100 ^{ns}	11,11	16,67 de
CV (%)				32,68

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

*Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Esp = Esperado; Obs = Observado.

3.4 Conclusões

Há redução na eficiência do quizalofop no controle do arroz nas doses avaliadas entre as associações do inibidor da ACCase com os latifolicidas, com exceção das misturas de metsulfuron-methyl, bentazon e penoxsulam na meia dose do graminicida.

Para o herbicida haloxyfop há redução na eficiência de controle do arroz com todas as associações, com exceção das misturas com penoxsulam e saflufenacil na meia dose do graminicida.

Há redução na eficiência de controle do angiquinho ou efeito aditivo com todas as doses avaliadas entre as associações de quizalofop com os latifolicidas.

As demais associações apresentaram suposto efeito antagônico em apenas uma dose ou não apresentaram antagonismo.

4 CAPÍTULO III: Efeito da aplicação de herbicidas supostamente antagônicos sobre plantas de linhagens de arroz suscetíveis e resistentes a inibidores da enzima ACCase.

4.1 Introdução

As plantas daninhas representam um dos principais fatores que limitam a produtividade nos sistemas de cultivo adotados pelos agricultores nos dias de hoje. Como forma de reduzir as perdas o controle químico tornou-se método de manejo de plantas daninhas bastante utilizado, sendo atrativo para os produtores devido à eficiência, rapidez e baixo custo, comparado com os outros tipos de métodos utilizados no manejo de plantas daninhas de áreas extensas (AGOSTINETTO; VARGAS, 2014).

Dentre as principais plantas daninhas do arroz cultivado, o arroz-daninho é a que resulta em maiores prejuízos econômicos à cadeia produtiva do arroz irrigado na maior parte do Brasil e do mundo. A infestante representa um maior problema, pois apresenta diversos biótipos silvestres da própria espécie *Oryza sativa* L., limitando a eficácia de métodos de controle. Além disso, o arroz-daninho tem elevada interferência sobre a produtividade da cultura, além de ocasionar depreciação no produto colhido e resultar em aumento dos custos de produção (MEROTTO JR et al., 2014).

Após diversos anos em busca de alternativas para o controle do arroz-daninho sem que houvesse danos ao arroz cultivado, houve o desenvolvimento de genótipos com tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, através de uma mutação induzida (CROUGHAN, 1998). Entretanto, a ferramenta utilizada dificilmente alcança 100% do controle do arroz-daninho, o que permite o escape de plantas, e possibilita a elevação da resistência do mesmo aos herbicidas utilizados no sistema Clearfield® (MARCHESAN, 2011).

Bi et al. (2016), observaram que apenas uma mutação na posição 1781 fez com que o aminoácido isoleucina fosse substituído por leucina em um biótipo de

Alopecurus japonicus, conferindo resistência do mesmo ao fenoxaprop-P-ethyl. Kaundun e Windass (2006) e Kaundun (2010), também encontraram mutação na posição 1781 em *Alopecurus myosuroides*, *Lolium* spp., *Avena fatua* e *Setaria viridis*, e na posição 2078, respectivamente. Yu et al. (2013), estudou a mutação presente nas posições, 1781, 2078 e 2088 da enzima e identificou a mutação na posição 2078 como a mais comum em biótipos de *Avena fatua*. Existem mais de 10 substituições em aminoácidos conservados em sete sítios de ação que são conhecidas por conferir resistência aos inibidores da ACCase em várias espécies de plantas daninhas (POWLES; YU, 2010).

Com o surgimento de tecnologias resistentes a inibidores da ACCase, mais especificamente ao grupo químico dos ariloxifenoxipropionatos, há a possibilidade da realização de mistura de herbicidas em tanque com herbicidas de outros mecanismos de ação de forma a obter maior economia no controle de plantas daninhas (GAZZIERO, 2015), porém alguns herbicidas aplicados apresentam prejuízos ainda maiores para os produtores se for levado em consideração o efeito antagônico, como no caso do quizalofop com o 2,4-D (ABIT, 2011). Este trabalho objetivou verificar a existência de antagonismo entre quizalofop e 2,4-D ou propanil aplicados na cultura do arroz a partir de curvas dos herbicidas aplicados isoladamente.

4.2 Material e Métodos

Foram conduzidos 4 experimentos em casa de vegetação, sendo os dois primeiros, pilotos para a montagem das curvas de dose-resposta dos experimentos posteriores a partir de suposições de antagonismo obtidas através de um screening realizado onde plantas da cultivar SCS 118 Marques foram submetidas à aplicação da mistura de quizalofop e haloxyfop com os herbicidas registrados para a cultura do arroz para verificar presença de interação antagônica, sinérgica, ou aditiva.

Estudo I – Efeitos dos herbicidas 2,4-D, propanil e quizalofop isolados no arroz

O estudo I foi realizado em vasos com capacidade para 0,5 kg de solo em casa de vegetação, na Estação Experimental de Itajaí (EEI) em Santa Catarina, localizada na Epagri (SC). O delineamento experimental foi completamente casualizado, com 48 tratamentos cada, representados pelo uso de quizalofop, 2,4-D e propanil isolados, com as doses indicadas na tab. 9. Foi utilizado substrato (Plantmax®) e depositado

nos vasos. Sementes de arroz (*Oryza sativa*) da linhagem SC 964, tolerante ao quizalofop, e da cultivar SCS 116 Satoru, suscetível ao quizalofop foram semeadas até obter-se 4 plantas por vaso após o desbaste. A cultivar SCS 116 Satoru é de ciclo longo, com 144 dias da emergência até a maturação, para as condições de Itajaí (SC), com alto potencial produtivo, boa estatura, resistência ao acamamento, apresentando alta capacidade de perfilhamento e estabilidade. A mesma foi utilizada como planta indicadora para simular o arroz-daninho.

Quando as plantas de arroz estavam com aproximadamente 3 folhas completamente expandidas, foram aplicados os tratamentos herbicidas. Na aplicação dos herbicidas utilizou-se pulverizador pressurizado a CO₂, munido de bicos do tipo leque 11003, utilizando-se volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹. A aspersão foi efetuada em ausência de vento, com temperatura média de 25 °C e 55% de umidade relativa do ar. As plantas de arroz foram mantidas sob boa disponibilidade hídrica durante todo o período experimental, através de irrigação por aspersão realizada diariamente. A avaliação visual dos sintomas dos herbicidas do experimento I foi realizada aos 27 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA). Procedeu-se a avaliação visual dos sintomas dos herbicidas nas plantas através de escala de 0 a 100%, em que o 0 representou ausência de sintomas e 100% a morte das plantas. Aos 27 dias após a aplicação os herbicidas (DAA), efetuou-se o corte das plantas na altura do solo e determinou-se as massas fresca e seca da parte aérea. Procedeu-se à análise da variância dos dados pelo teste F e foi realizado o teste de Tukey a nível de 5% de significância para a comparação de médias.

Tabela 9 - Doses de quizalofop, 2,4-D e propanil aplicados no arroz no estudo I, Itajaí, SC, 2016

Curva Resposta	Dose/ha		
	Quizalofop (g i.a.)	2,4-D (g e.a.)	Propanil (g i.a.)
1	9,38	-	-
1	18,7	-	-
1	37,5	-	-
1	75	-	-
1	150	-	-
1	300	-	-
1	600	-	-
2	-	83,75	-
2	-	167	-
2	-	335	-
2	-	670	-
2	-	1340	-
2	-	2680	-
2	-	5360	-
3	-	-	350
3	-	-	700
3	-	-	1400
3	-	-	2800
3	-	-	5600
3	-	-	11200
3	-	-	22400

Estudos II e III – Efeito do 2,4-D e propanil sobre a atividade do quizalofop no arroz

Os estudos II e III foram realizados em vasos com capacidade para 0,5 kg de solo em casa de vegetação, na Estação Experimental de Itajaí (EEI) em Santa Catarina, localizada na Epagri (SC). O delineamento experimental foi completamente casualizado, com 39 tratamentos cada, representados pelo uso de quizalofop e 2,4-D isolados ou em mistura, com as doses indicadas na tab. 10, e quizalofop e propanil também isolados ou em mistura, com as doses indicadas na tab. 11. O solo usado foi coletado na Área Experimental da Epagri (SC), peneirado e depositado nos vasos. Sementes de arroz (*Oryza sativa*) da linhagem SC 964, tolerante ao quizalofop, e da cultivar SCS 116 Satoru, suscetível ao quizalofop foram semeadas para obter 4

plantas por vaso após o desbaste. Quando as plantas de arroz estavam com aproximadamente 3 folhas completamente expandidas, foram aplicados os tratamentos herbicidas. Na aplicação dos herbicidas utilizou-se pulverizador pressurizado a CO₂, munido de bicos do tipo leque 11003, utilizando-se volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹. A aspersão foi efetuada em ausência de vento, com temperatura média de 25 °C e 55% de umidade relativa do ar. As plantas de arroz foram mantidas sob boa disponibilidade hídrica durante todo o período experimental, através de irrigação por aspersão realizada diariamente. A avaliação visual dos sintomas dos herbicidas dos experimentos foi realizada aos 29 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), através de escala de 0 a 100%, em que o 0 representou ausência de sintomas e 100% a morte das plantas. Aos 29 dias após a aplicação os herbicidas (DAA), efetuou-se o corte das plantas na altura do solo e determinou-se a massa da matéria seca da parte aérea. Procedeu-se à análise da variância dos dados pelo teste F. Utilizou-se o modelo de Colby (1967) para obter o valor esperado, e realizou-se um teste t a 5% de significância para a comparação de médias.

Tabela 10 - Curvas de dose-resposta do quizalofop em associação com o 2,4-D aplicados no arroz no estudo II, Itajaí, SC, 2016

	Curva dose-reposta		
	CDR1	CDR2	CDR3
	2,4-D (g e. a. ha ⁻¹)		
	0,00	167,5	335
	0	0	0
	18,75	18,75	18,75
Quizalofop (g i.a. ha ⁻¹)	37,5	37,5	37,5
	75	75	75
	150	150	150
	300	300	300
	600	600	600
	CD4	CDR5	CDR6
	Quizalofop (g i.a. ha ⁻¹)		
	0	18,75	37,5
	670	670	670
2,4-D (g e.a. ha ⁻¹)	1340	1340	1340
	2010	2010	2010
	2680	2680	2680

Tabela 11 - Curvas de dose-resposta do quizalofop associado com o propanil aplicados no arroz no estudo III, Itajaí, SC, 2016

	Curva dose-reposta		
	CDR1	CDR2	CDR3
	Propanil (g i. a. ha ⁻¹)		
	0,00	700	1400
Quizalofop (g i.a. ha ⁻¹)	0	0	0
	18,75	18,75	18,75
	37,5	37,5	37,5
	75	75	75
	150	150	150
	300	300	300
	600	600	600
		CD4	CDR5
	Quizalofop (g i.a. ha ⁻¹)		
	0	18,75	37,5
Propanil (g i.a. ha ⁻¹)	2800	2800	2800
	5600	5600	5600
	11200	11200	11200
	22400	22400	22400

4.3 Resultados e discussão

Estudo I – Efeitos dos herbicidas 2,4-D, propanil e quizalofop isolados no arroz

As fig. 2, 3 e 4 (A) corroboram com a existência de resistência da linhagem SC 964 ao quizalofop, tendo em vista que, inclusive na dose mais elevada, de 600 g de ingrediente ativo, a massa seca da parte aérea do arroz não se diferencia da testemunha, o que indica que o arroz tolera até 8 vezes a dose de registro para a soja (75 g i. a. ha⁻¹) e que portanto, o gráfico não obteve o ajuste com relação à curva de dose resposta para essa variável.

Os resultados observados na linhagem SC 964 vão ao encontro do que alguns autores como Liu, et al. (2007), Hochberg, Sibony e Rubin (2009), Petit, et al. (2010), Yu, et al. (2007) Zhang e Powles (2006) encontraram ao estudarem mutações na enzima sujeita aos inibidores da ACCase. Alguns autores, como Délye, Matějček e Michel (2008), definem o nível de resistência evidenciando que cada caso de mutação confere um maior ou menor nível de resistência.

As fig. 2, 3 e 4 (B) demonstram a suscetibilidade da cultivar SCS 116 Satoru da Epagri ao quizalofop (produto não registrado para o arroz, mas registrado para a soja), sendo o arroz não seletivo (acima de 90% de fitotoxicidade e diferente

significativamente na MSPA da testemunha) em $\frac{1}{4}$ da dose de registro do ingrediente ativo para o controle de daninhas em soja. A cultivar, quando submetida à dose comercial de 75 g i.a.ha^{-1} ou doses maiores não foi seletiva ao herbicida e apresentou a sensibilidade da enzima ACCase de gramíneas aos ariloxifenoxipropionatos.

A acetil CoA homodimérica se encontra no citosol de quase todas as espécies vegetais, já a forma heteromérica, se apresenta nos cloroplastos das dicotiledôneas, as quais são relativamente insensíveis aos herbicidas inibidores desta enzima. Em contraste, a forma homodimérica encontrada em quase todas as espécies de gramíneas é sensível ao herbicida inibidor da ACCase, sendo assim, as gramíneas são geralmente controladas por herbicidas desse modo de ação (YU et al., 2013). Por não apresentar mutação na enzima ACCase que impeça a ligação do quizalofop, a cultivar SCS 116 Satoru apresenta maior sensibilidade aos efeitos dos inibidores dessa enzima, como o quizalofop.

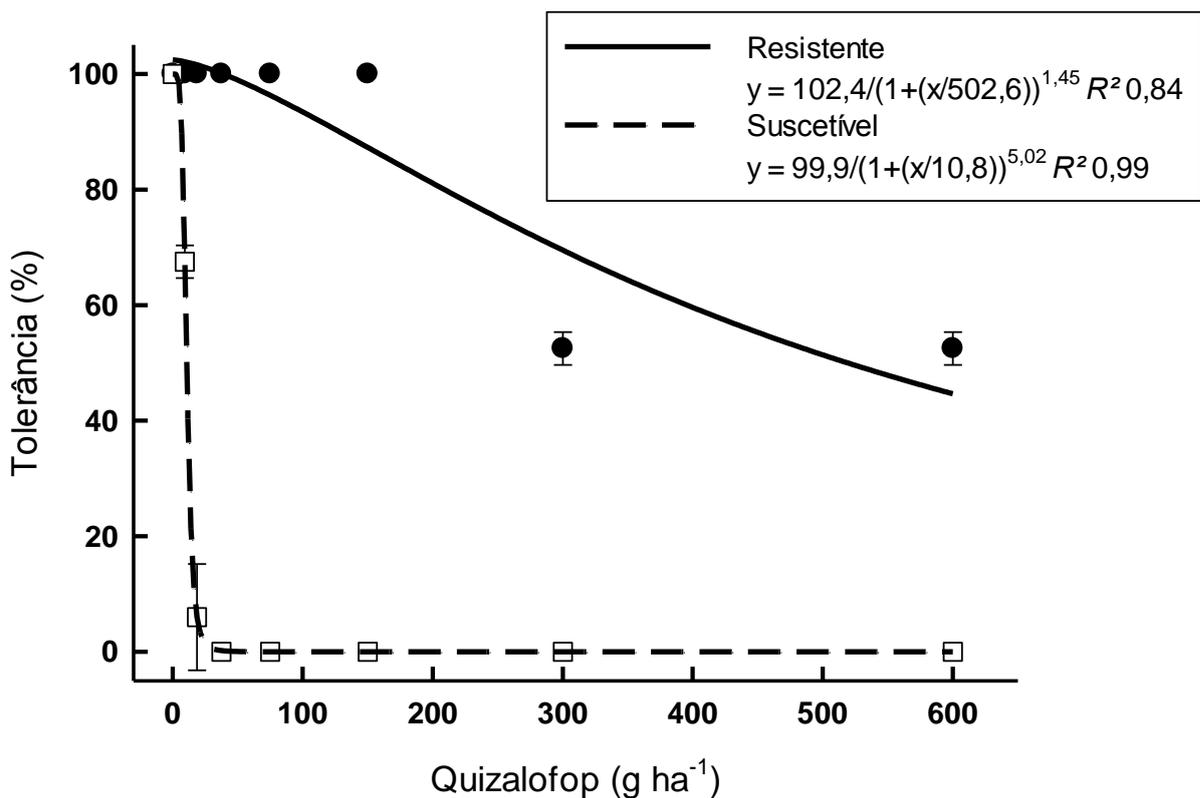


Figura 2 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem de arroz SC 964 e cultivar 116 Satoru, respectivamente, em percentagem, em resposta às diferentes doses de quizalofop, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

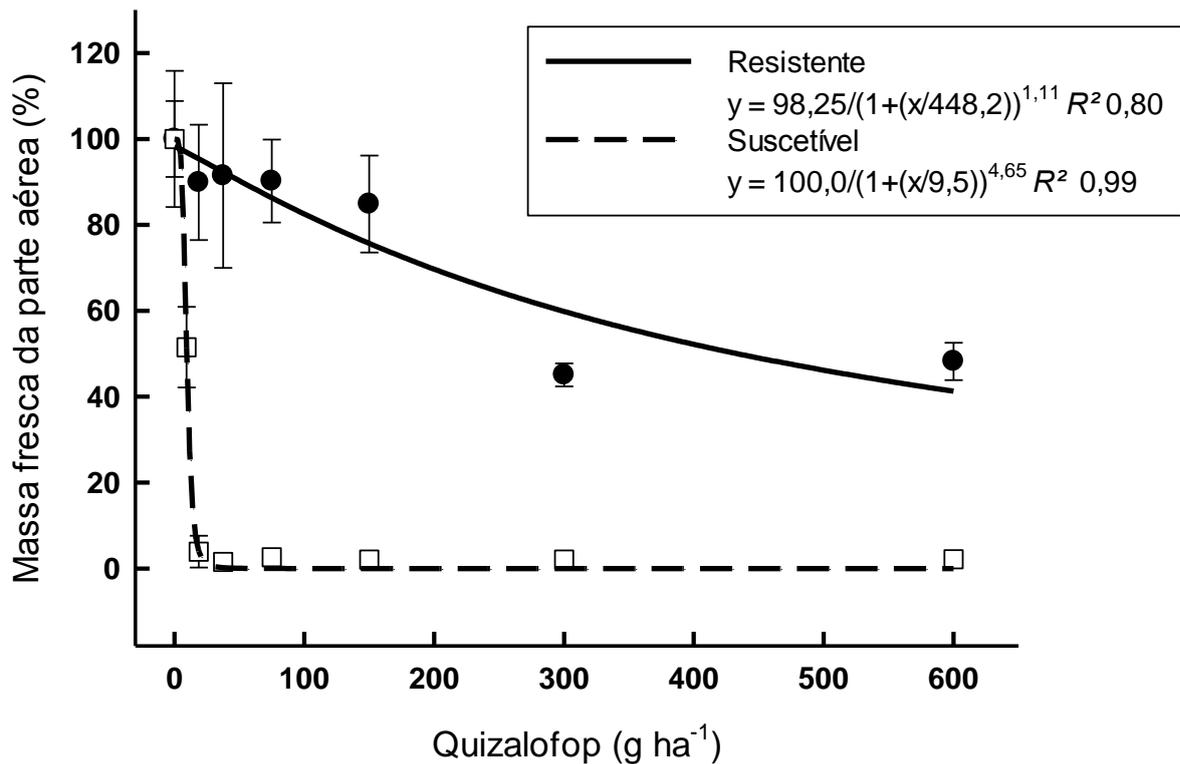


Figura 3 – Massa fresca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de quizalofop. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

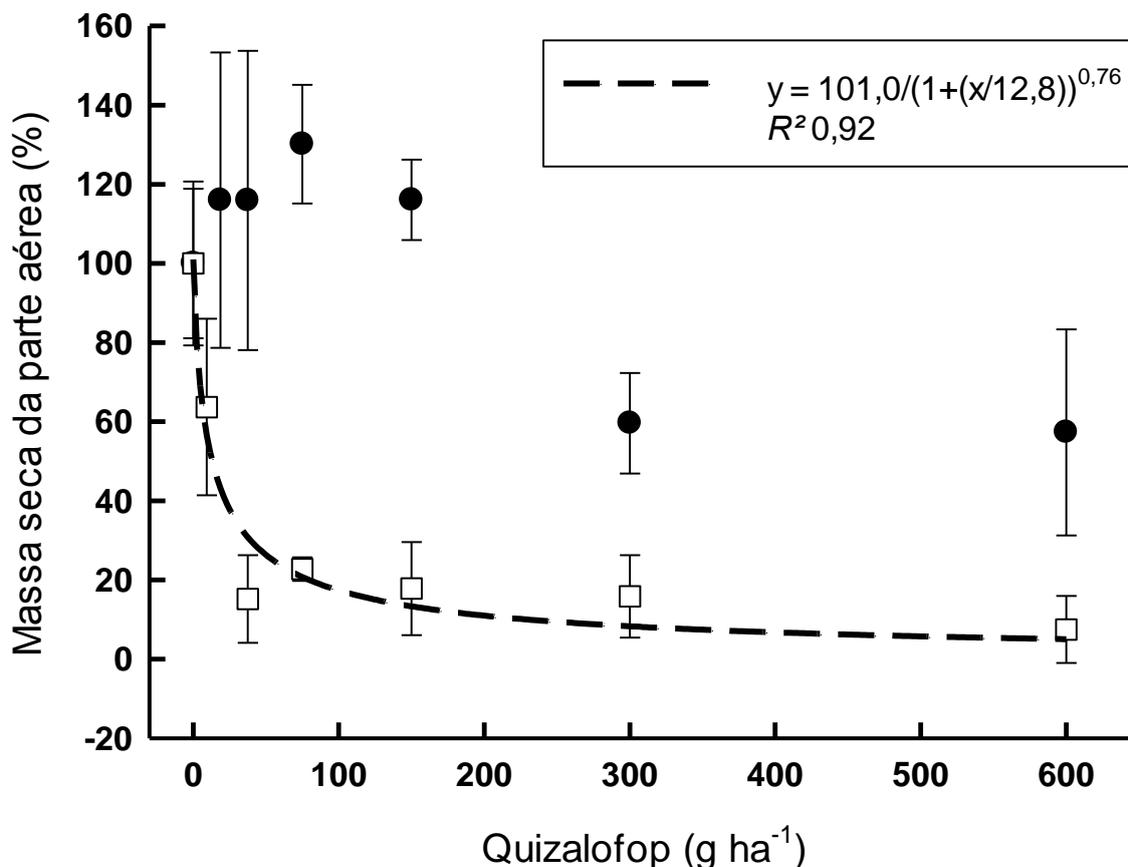


Figura 4 – Massa seca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em porcentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de quizalofop. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

Apesar do 2,4-D ser seletivo ao arroz, doses mais elevadas podem ocasionar fitotoxicidade, como é o caso exposto nas fig. 5, 6 e 7, demonstrando que a dose de 1340 g e.a.ha⁻¹, ou seja, duas vezes a dose de registro, já causa mais de 30% e 60% de fitotoxicidade à cultura, respectivamente, o que alguns autores já haviam observado, embora não haja diferença estatística nessa dose no valor de MSPA com relação à testemunha.

Noldin (2001), observou que na dose de 1200 g e.a.ha⁻¹ da formulação amina do ativo, as plantas que submetidas à aplicação, embora tenham apresentado recuperação no decorrer do ciclo e apenas sintomas leves de fitotoxicidade, reduziram os valores na produtividade do arroz nos tratamentos com o produto em aplicação tardia. Os danos mais severos de fitotoxicidade foram observados nos tratamentos com 2,4-D na formulação amina, nas doses de 800 e 1200 g ha⁻¹, apresentando injúria

média de 37 a 62%, respectivamente. Yamashita, Zonta e Machado (2008) observaram redução na produtividade do arroz quando o mesmo foi submetido à aplicação tardia de 2,4-D.

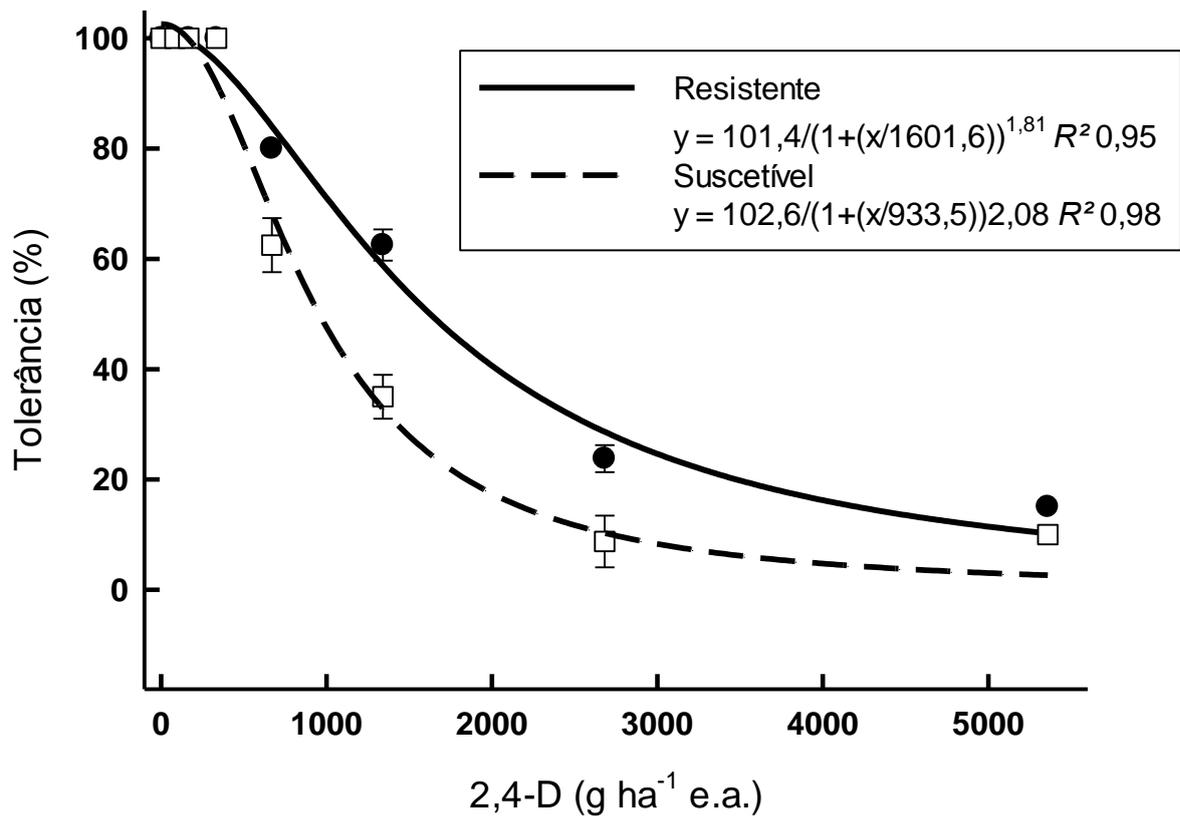


Figura 5 - Avaliação visual de fitotoxicidade da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em porcentagem, em resposta às diferentes doses de 2,4-D, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

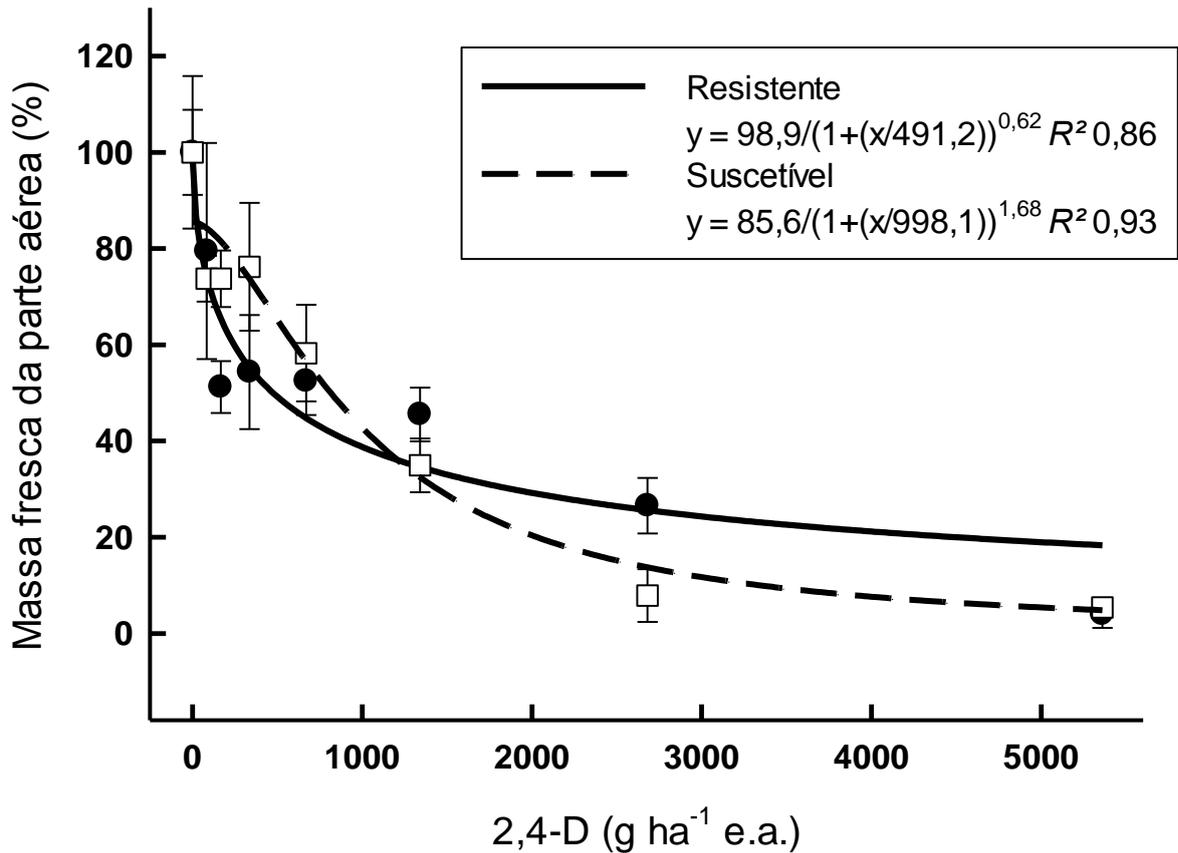


Figura 6 - Massa fresca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de 2,4-D. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

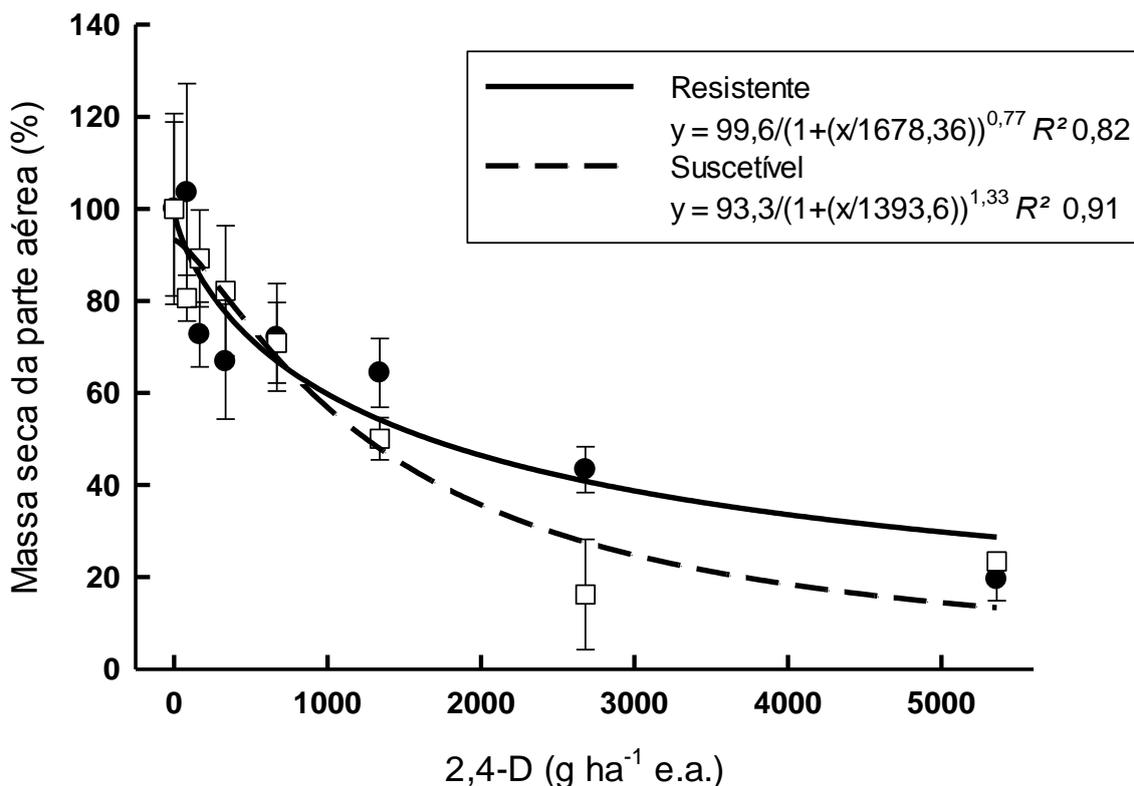


Figura 7 - Massa seca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em porcentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de 2,4-D. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

As fig. 8, 9 e 10, demonstram que não houve fitotoxicidade aparente em nenhuma das doses utilizadas do herbicida, ocorrendo uma soma de quadrado do resíduo igual a zero, já que os valores são todos nulos. O gráfico de curva de dose resposta não obteve ajuste em todas as variáveis analisadas. O processo de desintoxicação do herbicida é observado em arroz e citado por outros autores como Bowling e Hudgins (1966), Caseley e Leah (1996), Daou e Talbert (1999), como forma de ser seletivo ao propanil. A aril-acil amidase protege o arroz do propanil ao convertê-lo em produtos não-tóxicos por hidrólise em 3,4-dicloroanilina e ácido propiônico (FREAR; STILL, 1968, YIH; MCRAE; WILSON, 1968). Segundo Lopez e Martinez (2001), o primeiro passo no metabolismo do propanil em plantas de arroz é a hidroxilação do grupo propanoamida, e muitas dessas hidroxilações são mediadas por diversos citocromos mono-oxigenases P450. Carey, Hoagland e Talbert (1997) nos biótipos resistentes não há absorção ou translocação diferenciada do propanil, também não há modificação molecular no sítio de ação do herbicida nesses biótipos, indicando que o mecanismo de resistência dos mesmos é a degradação metabólica do produto.

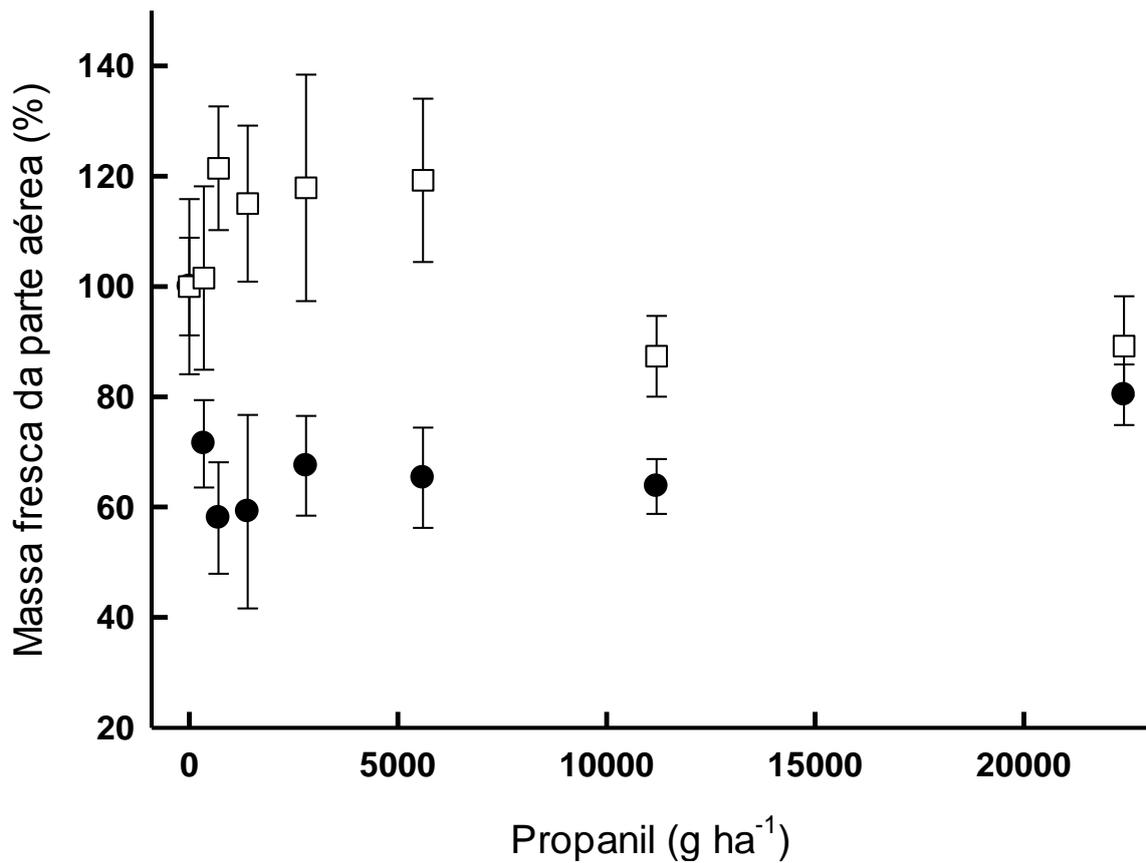


Figura 9 - Massa fresca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em porcentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses de propanil. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

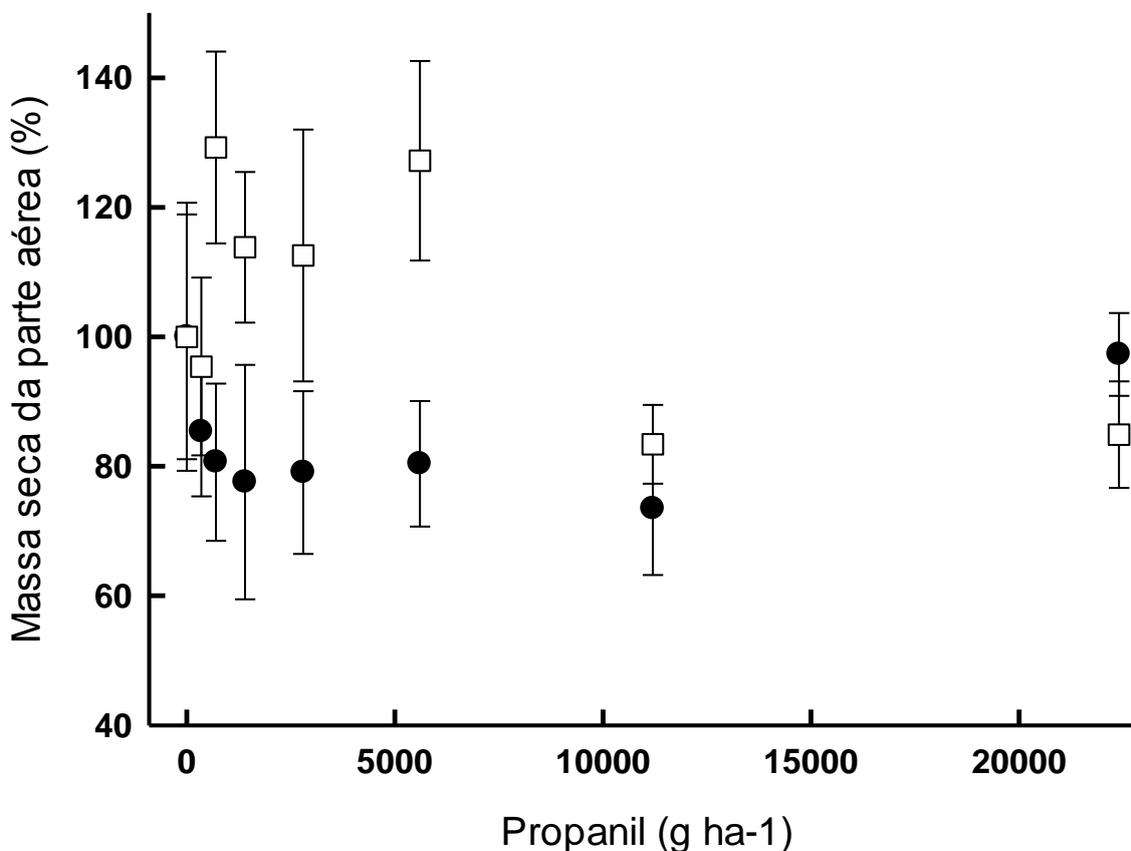


Figura 10 - Massa seca da parte aérea da linhagem de arroz irrigado SC 964 e cultivar SCS 116 Satoru, em porcentagem, aos 27 dias após a aplicação dos tratamentos, em resposta às diferentes doses do propanil. Círculo cheio = resistente; quadrado vazio = suscetível. Itajaí, SC, 2016.

Estudo II – Efeito do 2,4-D sobre a ação do quizalofop no arroz

Conforme a tab. 12, fig. 11 e 12, a fitotoxicidade aumenta conforme se aumenta as doses de quizalofop e 2,4-D, devido ao aumento do controle do quizalofop e do efeito do 2,4-D, mesmo aplicado abaixo da dose recomendada na tab. 12. Nas fig. 11 e 12 o efeito do quizalofop é alterado pois, a quantidade de quizalofop que é depositado na cutícula foliar, onde há maior quantidade de ceras (TAIZ; ZEIGER, 2013), tem como competição pela entrada na superfície das folhas a presença do mimetizador da auxina.

A questão dos dias após a aplicação é importante de ser entendida, pois a avaliação foi realizada 29 dias após a aplicação dos tratamentos, o que reduz os efeitos antagônicos do 2,4-D ao quizalofop. Barnes e Oliver (2004) observaram que 4

semanas após a aplicação dos tratamentos, o efeito antagônico do cloransulam na atividade do quizalofop em *Sorghum halepense* foi reduzido e o controle foi maior do que 85% quando o quizalofop foi aplicado isoladamente ou em mistura com o latifolicida. Além disso, os autores perceberam que o aumento da dose de quizalofop (154 g i.a. ha⁻¹) foi eficiente para superar o suposto antagonismo imposto pelo cloransulam sobre *Echinochloa crusgalli* o que pode ser percebido na figura 11, com a redução da tolerância da cultivar sensível ao gramínicida com o aumento das doses do mesmo.

Na tab. 13 não se observa um efeito semelhante ao efeito da tabela 14, pois, não há uma redução proporcional da massa da matéria seca da parte aérea relativa na linhagem com resistência ao quizalofop na primeira, conforme há aumento das doses do inibidor da ACCase e do hormonal. O efeito pode ser devido à plasticidade fenotípica do genótipo, tendo em vista de que o mesmo não é uma cultivar, mas sim uma linhagem que está sendo melhorada. A MMSPA observada maior do que a esperada pode indicar presença de antagonismo na aplicação da mistura. Barnes e Oliver (2004) notaram redução na eficiência de controle na avaliação da massa fresca da parte aérea em *Digitaria sanguinalis* quando o cloransulam foi misturado com quizalofop, havendo redução de mais de 45%.

Tabela 12 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA submetida à mistura de quizalofop e 2,4-D, Itajaí, SC, 2016

Dose Quizalofop + 2,4-D (g i.a./ha + g e.a./ha)	Fitotoxicidade - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob (t)*
18,75 + 167,5	0,00	5,00	0,0001
37,5 + 167,5	0,00	5,00	0,0001
75 + 167,5	0,00	7,50	0,0001
150 + 167,5	0,00	5,00	0,0001
300 + 167,5	47,50	11,25	0,0001
600 + 167,5	47,50	31,25	0,0001
18,75 + 335	0,00	20,00	0,0001
37,5 + 335	0,00	22,50	0,0001
75 + 335	0,00	21,25	0,0001
150 + 335	0,00	27,50	0,0001
300 + 335	47,50	36,25	0,0001
600 + 335	47,50	32,50	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

Tabela 13 - Redução da massa da matéria seca da parte aérea relativa (%) da linhagem SC 964, submetida à mistura de quizalofop e 2,4-D aos 29 DAA, Itajaí, SC, 2016

Dose Quizalofop + 2,4-D (g i.a./ha + g e.a./ha)	Redução de MSPA - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob (t)*
18,75 + 167,5	15,64	26,36	0,0001
37,5 + 167,5	15,68	0,00	0,0001
75 + 167,5	5,33	9,49	0,0001
150 + 167,5	15,57	0,00	0,0001
300 + 167,5	56,54	3,16	0,0001
600 + 167,5	58,32	23,00	0,0001
18,75 + 335	22,49	14,12	0,0001
37,5 + 335	22,52	17,64	0,0001
75 + 335	13,01	11,11	0,0001
150 + 335	22,42	10,35	0,0001
300 + 335	60,16	9,98	0,0001
600 + 335	61,70	18,26	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

Tabela 14 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA, submetida à aplicação da mistura de 2,4-D e quizalofop, Itajaí, SC, 2016

Dose 2,4-D + Quizalofop (g e.a./ha + g i.a./ha)	Fitotoxicidade - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
670 + 18,75	27,90	32,50	0,0001
1340 + 18,75	35,62	35,00	ns
2010 + 18,75	56,65	43,75	0,0001
2680 + 18,75	80,51	62,50	0,0001
670 + 37,5	27,90	27,50	ns
1340 + 37,5	35,62	43,75	0,0001
2010 + 37,5	56,65	43,75	0,0001
2680 + 37,5	80,51	53,75	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

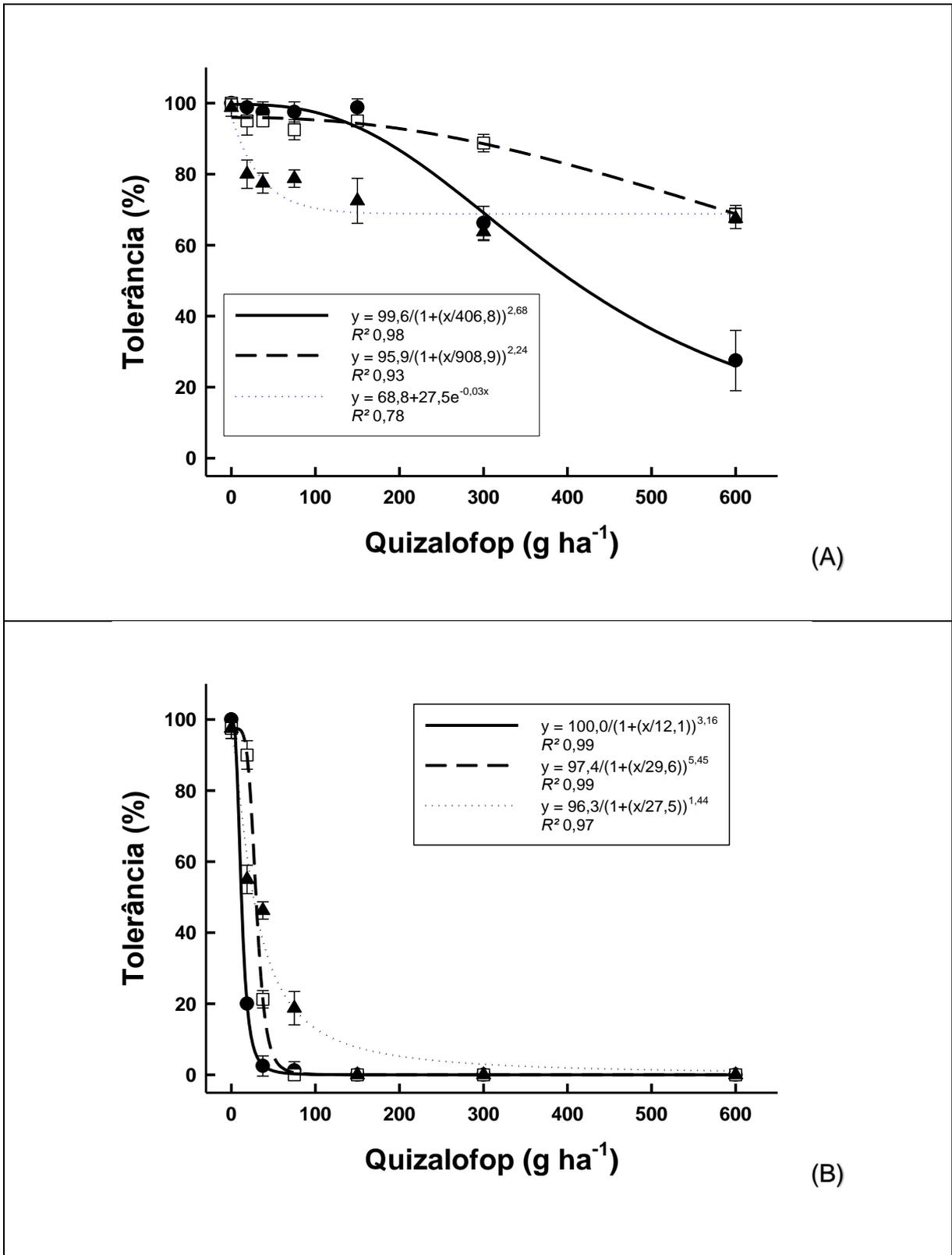


Figura 11 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) respectivamente, em percentagem, em resposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o 2,4-D, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g 2,4-D; quadrado vazio = ¼ g 2,4-D; triângulo cheio = ½ g 2,4-D. Itajaí, SC, 2016.

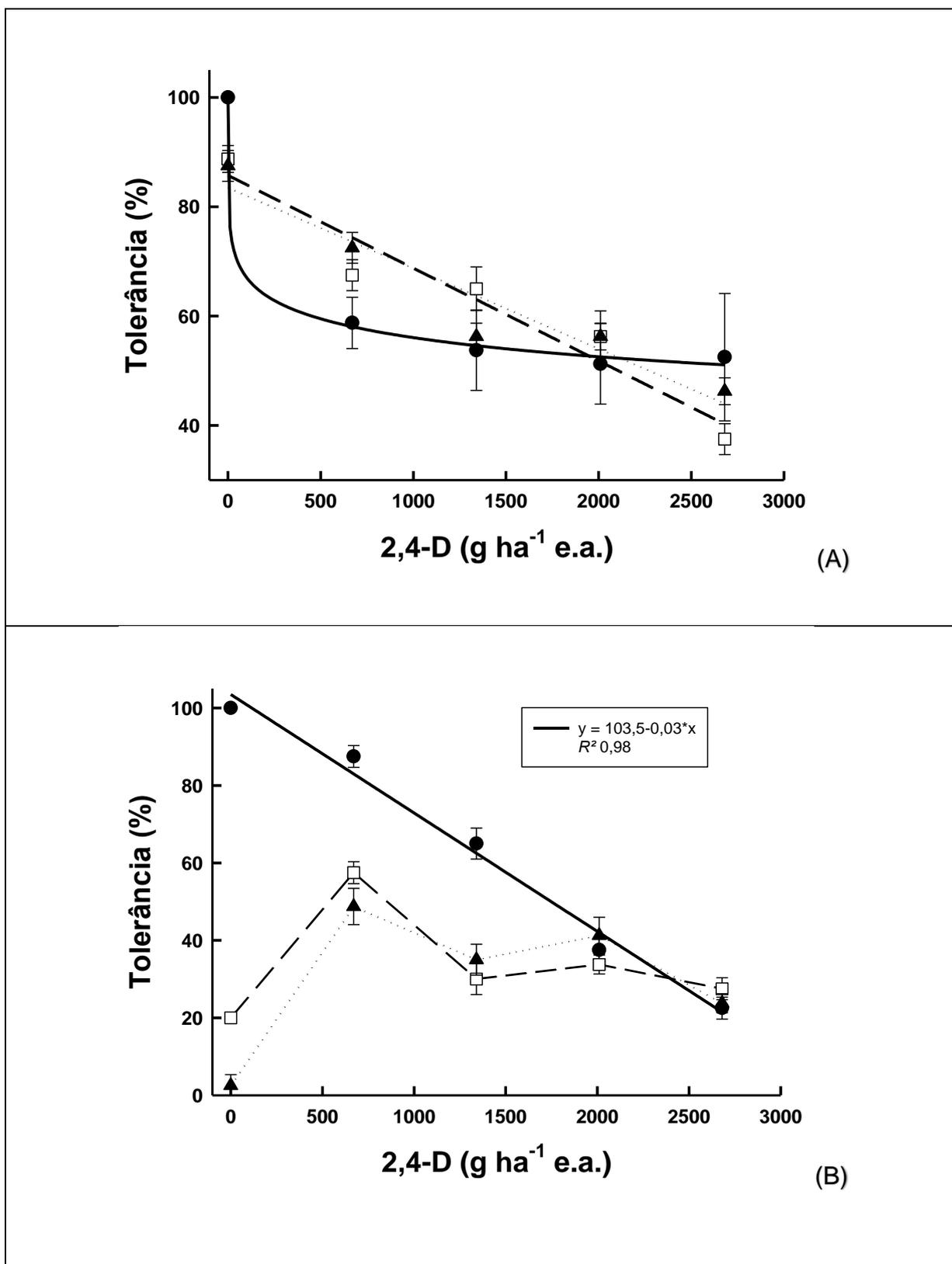


Figura 12 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem de arroz SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) respectivamente, em percentagem, em resposta às diferentes doses de 2,4-D aplicado isoladamente e em associação com o quizalofop, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quizalofop; quadrado vazio = 18,75 g quizalofop; triângulo cheio = 37,5 g quizalofop. Itajaí, SC, 2016.

As tab. 15 e 16, fig. 13 e 14 demonstram um suposto caso de interação antagônica, capaz de ir ao encontro com o que alguns autores como Barnes e Oliver (2004), Gerwick (1988), Minton, Kurtz e Shaw (1989), Vidrine, Reynolds, Blouin (1995), Olson e Nalewaja (1981) estudaram ao longo dos anos. Segundos esses autores, combinações de ariloxifenoxipropionatos com herbicidas usados para controlar daninhas de folhas largas, resultam tipicamente em reações antagônicas. Barnes e Oliver (2004) notaram redução de até 9 pontos percentuais no controle de *Sorghum halepense* quando o cloransulam foi combinado com o quizalofop duas semanas após a aplicação dos tratamentos.

Abit et al. (2011), observaram que em estudos realizados nas proximidades de Manhattan, com *Digitaria sanguinalis*, houve controle de 90% ou mais dessa espécie daninha em 2 semanas após a aplicação, exceto quando o quizalofop foi misturado com 2,4-D ou ,2,4-D e mesulfuron methyl com quizalofop, resultando em 11 a 19 e 12-16% de redução no controle do capim-amargoso, respectivamente, comparado ao quizalofop sozinho. Nas 4 semanas após a aplicação, o controle continua consistente em todos os tratamentos com herbicidas com pós emergentes, exceto quando o quizalofop foi combinado com o 2,4-D, o qual reduziu 6 a 7%. O quizalofop aplicado isoladamente e com todas as combinações controlaram *Setaria faberi*, 2 semanas após a aplicação. Entretanto, o controle menor foi observado quando o quizalofop foi associado com o 2,4-D, ou 2,4-D + metsulfuron methyl, embora esses resultados não sejam sempre significativamente diferentes dos observados com o quizalofop aplicado sozinho. Nas 4 semanas após a aplicação, a espécie teve controle similar ao nível de controle nas 2 semanas após a aplicação. No caso do estudo do controle da *Setaria viridis*, mais de 90% foi observado em todas as combinações, no entanto foi menor em tratamentos com 2,4-D.

Alguns autores como Blackshaw et al. (2006), Olson e Nalewaja (1981), Shimabukuro, Walsh e Hoerauf (1986), Barnwell e Cobb (1993) obsevaram resultados similares a esses com o uso de outros ariloxifenoxipropionatos aplicados em associação com mimetizadores da auxina. Segundo Abit et al. (2011), os resultados observados podem supor antagonismo de quizalofop com o 2,4-D, significando um decréscimo na conversão do quizalofop de quizalofop ethyl para a forma ácida, com a presença do mimetizador da auxina, decrescendo assim a translocação do inibidor da ACCase, o que por sua vez sugere que haja aumento na taxa de detoxificação, e no nível de síntese de ácidos graxos competidores.

Tabela 15 – Redução da massa da matéria seca da parte aérea relativa (%) da linhagem SC 964, submetida à aplicação da mistura de 2,4-D e quizalofop, Itajaí, SC, 2016

2,4-D + Quizalofop (g e.a./ha + g i.a./ha)	Redução de MSPA - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
670 + 18,75	7,21	0,00	0,0001
1340 + 18,75	27,51	8,16	0,0001
2010 + 18,75	72,45	25,60	0,0001
2680 + 18,75	82,60	54,30	0,0001
670 + 37,5	7,25	0,00	0,0001
1340 + 37,5	27,54	21,58	0,0001
2010 + 37,5	72,46	33,57	0,0001
2680 + 37,5	82,61	49,16	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

Tabela 16 - Controle (%) da linhagem SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetida à mistura de 2,4-D e quizalofop, Itajaí, SC, 2016.

2,4-D + Quizalofop (g e.a./ha + g i.a./ha)	Controle - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
670 + 18,75	95,74	42,50	0,0001
1340 + 18,75	96,99	70,00	0,0001
2010 + 18,75	99,02	66,25	0,0001
2680 + 18,75	98,58	72,50	0,0001
670 + 37,5	100	51,25	0,0001
1340 + 37,5	100	65,00	0,0001
2010 + 37,5	100	58,75	0,0001
2680 + 37,5	100	76,25	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

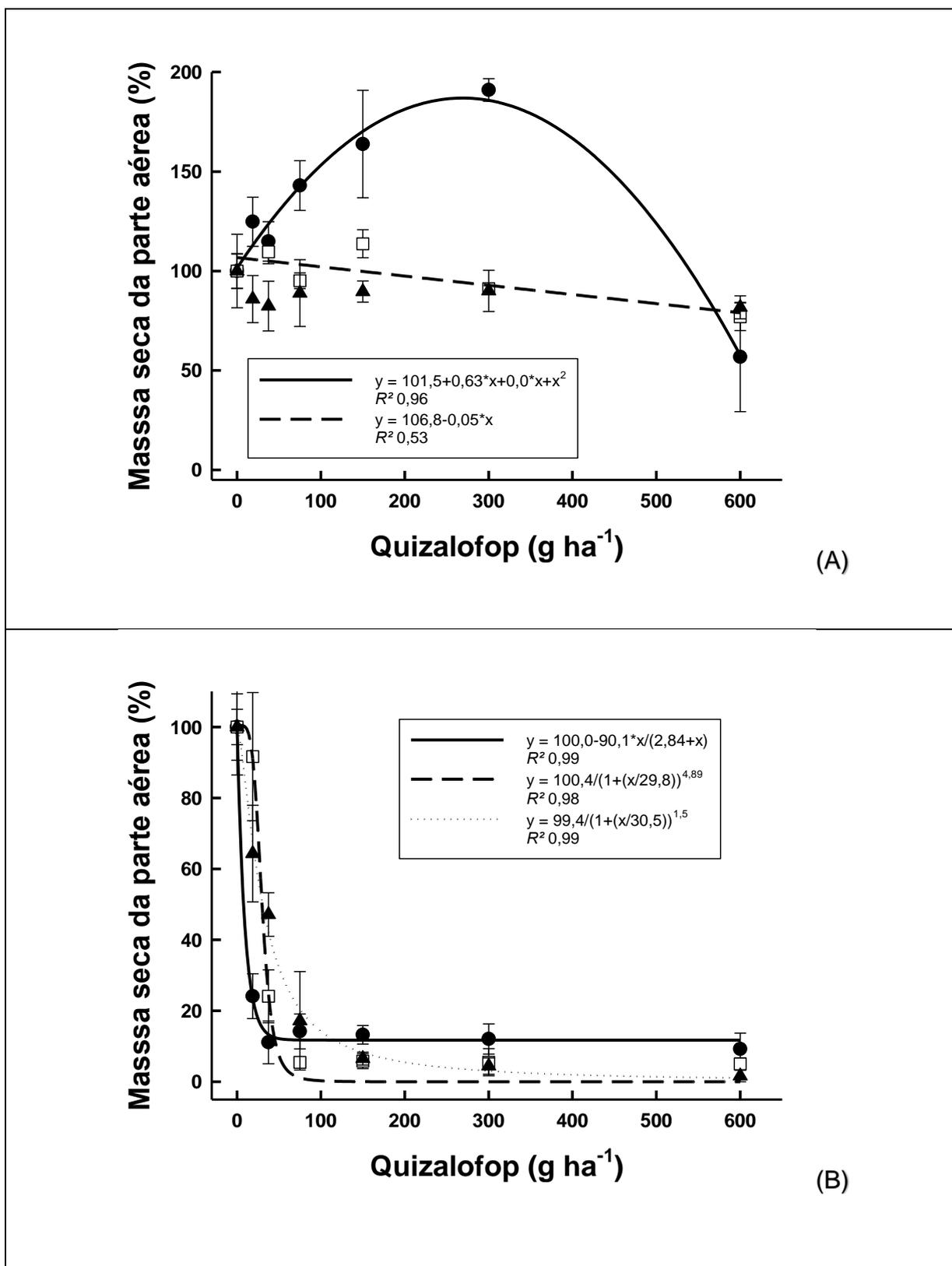


Figura 13 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B) aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos, em reposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o 2,4-D. Círculo cheio = 0 g 2,4-D; quadrado vazio = $\frac{1}{4}$ g 2,4-D; triângulo cheio = $\frac{1}{2}$ g 2,4-D. Itajaí, SC, 2016.

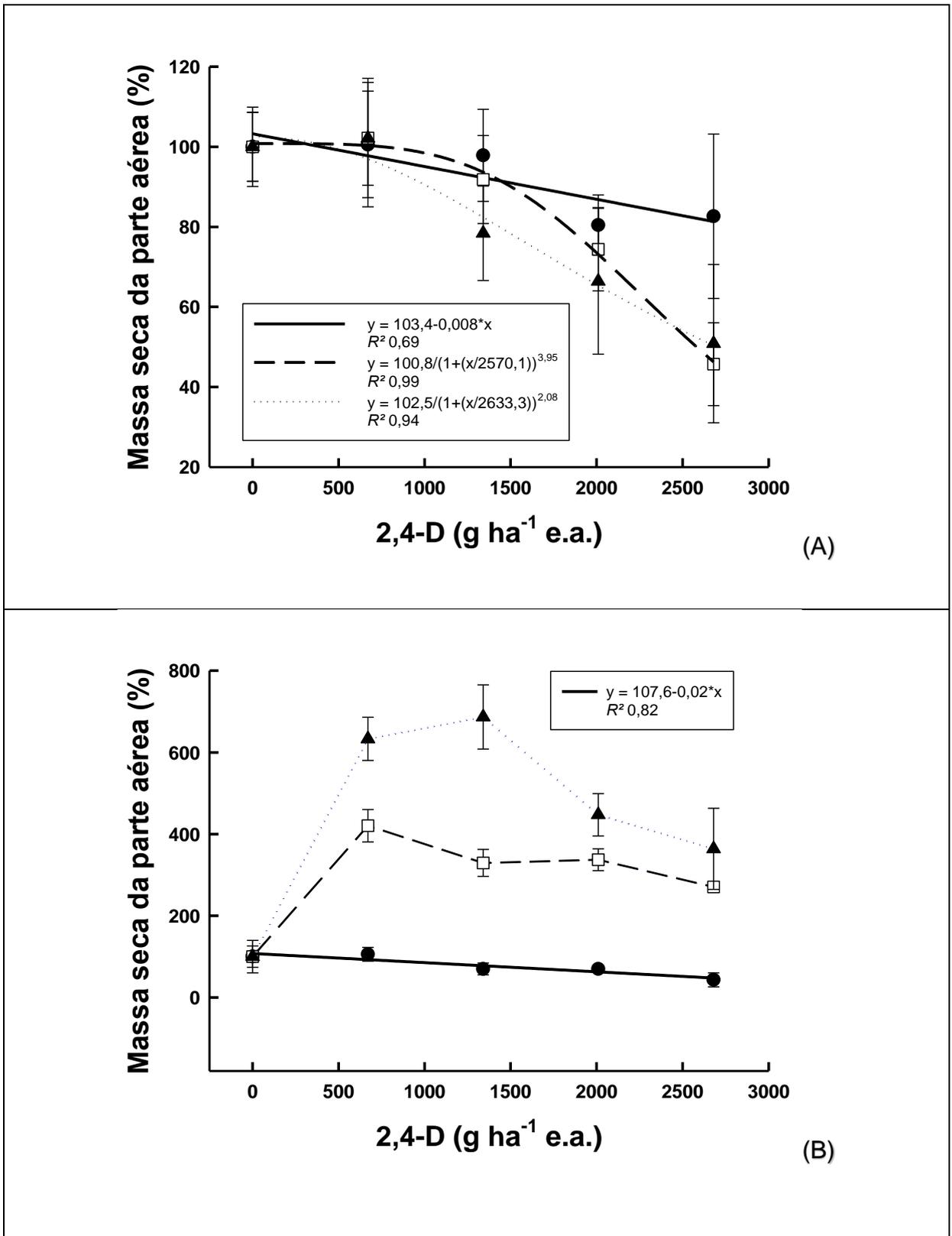


Figura 14 – Massa seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz SC 964 (A) e cultivar SCS 116 (B) aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos, em reposta às diferentes doses de 2,4-D isolado e em associação com o quifalofop. Círculo cheio = 0 g quifalofop; quadrado vazio = 18,75 g quifalofop; triangulo cheio = 37,5 g quifalofop. Itajaí, SC, 2016.

Estudo III – Efeito do propanil sobre a ação do quizalofop no arroz

As tab. 17 e 18 e fig. 16 demonstram reduzida fitotoxicidade em doses abaixo da recomendada de propanil, devido à capacidade do arroz em metabolizar esse herbicida por apresentar um número bastante elevado de arilacilamidases. Norsworthy et al. (2010), observaram que a injúria em arroz submetido à aplicação de propanil em mistura no tanque com 2,4-D foi menor do que 5% nas duas semanas que sucederam à pulverização. Os sintomas retratados foram a redução no perfilhamento, típicos de herbicidas hormonais. Entretanto, a injúria foi transitória e em 4 semanas após a aplicação o arroz se recuperou totalmente.

Os valores observados na tab. 18, suportam a explicação de que o arroz tem uma grande quantidade de enzimas que detoxificam o ingrediente ativo pulverizado, até mesmo em elevadas doses. Como observado anteriormente, o propanil é metabolizado no arroz por uma enzima denominada aril-acil amidase, o que resulta em 3,4-dicloroanilina e ácido propiônico, porém o que se observa nas tab. 19 e 20 e fig. 15 (B) não parece ser o efeito do propanil sobre a cultivar de arroz, e sim do quizalofop, tendo em vista de que a mesma é suscetível ao ingrediente ativo que controla gramíneas, ou seja, não há efeito aparente do inibidor do fotossistema II na injúria da cultura.

Tabela 17 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA submetido à mistura de quizalofop e propanil com as doses de propanil fixas, Itajaí, SC, 2016

Quizalofop + propanil (g i.a./ha + g i.a./ha)	Fitotoxicidade - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
18,75 + 700	0,00	5,00	0,0001
37,5 + 700	0,00	5,00	0,0001
75 + 700	0,00	7,50	0,0001
150 + 700	0,00	5,00	0,0001
300 + 700	47,5	11,25	0,0001
600 + 700	47,5	31,25	0,0001
18,75 + 1400	0,00	20,00	0,0001
37,5 + 1400	0,00	22,50	0,0001
75 + 1400	0,00	21,25	0,0001
150 + 1400	0,00	27,50	0,0001
300 + 1400	47,5	36,25	0,0001
600 + 1400	47,5	32,50	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

Tabela 18 - Fitotoxicidade (%) da linhagem SC 964 aos 29 DAA submetido à aplicação da mistura de propanil e quizalofop com as doses de quizalofop fixas, Itajaí, SC, 2016

Propanil + quizalofop (g i.a./ha + g i.a./ha)	Fitotoxicidade - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
2800 + 18,75	0	0	ns
5600 + 18,75	0	0	ns
11200 + 18,75	0	0	ns
22400 + 18,75	0	0	ns
2800 + 37,5	0	0	ns
5600 + 37,5	0	0	ns
11200 + 37,5	0	0	ns
22400 + 37,5	0	0	ns

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

Tabela 19 - Controle (%) da cultivar SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetido à mistura de quizalofop e propanil com as doses de quizalofop fixas, Itajaí, SC, 2016

Propanil + quizalofop (g i.a./ha + g i.a./ha)	Controle - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
2800 + 18,75	94,00	99,50	0,0001
5600 + 18,75	94,00	99,50	0,0001
11200 + 18,75	94,00	86,25	0,0001
22400 + 18,75	94,00	82,50	0,0001
2800 + 37,5	100,00	100,00	ns
5600 + 37,5	100,00	100,00	ns
11200 + 37,5	100,00	99,50	ns
22400 + 37,5	100,00	81,25	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

Tabela 20 - Controle (%) da cultivar SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetido à aplicação de propanil e quizalofop com as doses de propanil fixas, Itajaí, SC, 2016

Quizalofop + propanil (g i.a./ha + g i.a./ha)	Controle - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
18,75 + 700	94,00	98,75	0,0001
37,5 + 700	100,00	100,00	ns
75 + 700	100,00	100,00	ns
150 + 700	100,00	100,00	ns
300 + 700	100,00	100,00	ns
600 + 700	100,00	100,00	ns
18,75 + 1400	94,00	100,00	0,0001
37,5 + 1400	100,00	100,00	ns
75 + 1400	100,00	100,00	ns
150 + 1400	100,00	100,00	ns
300 + 1400	100,00	100,00	ns
600 + 1400	100,00	100,00	ns

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

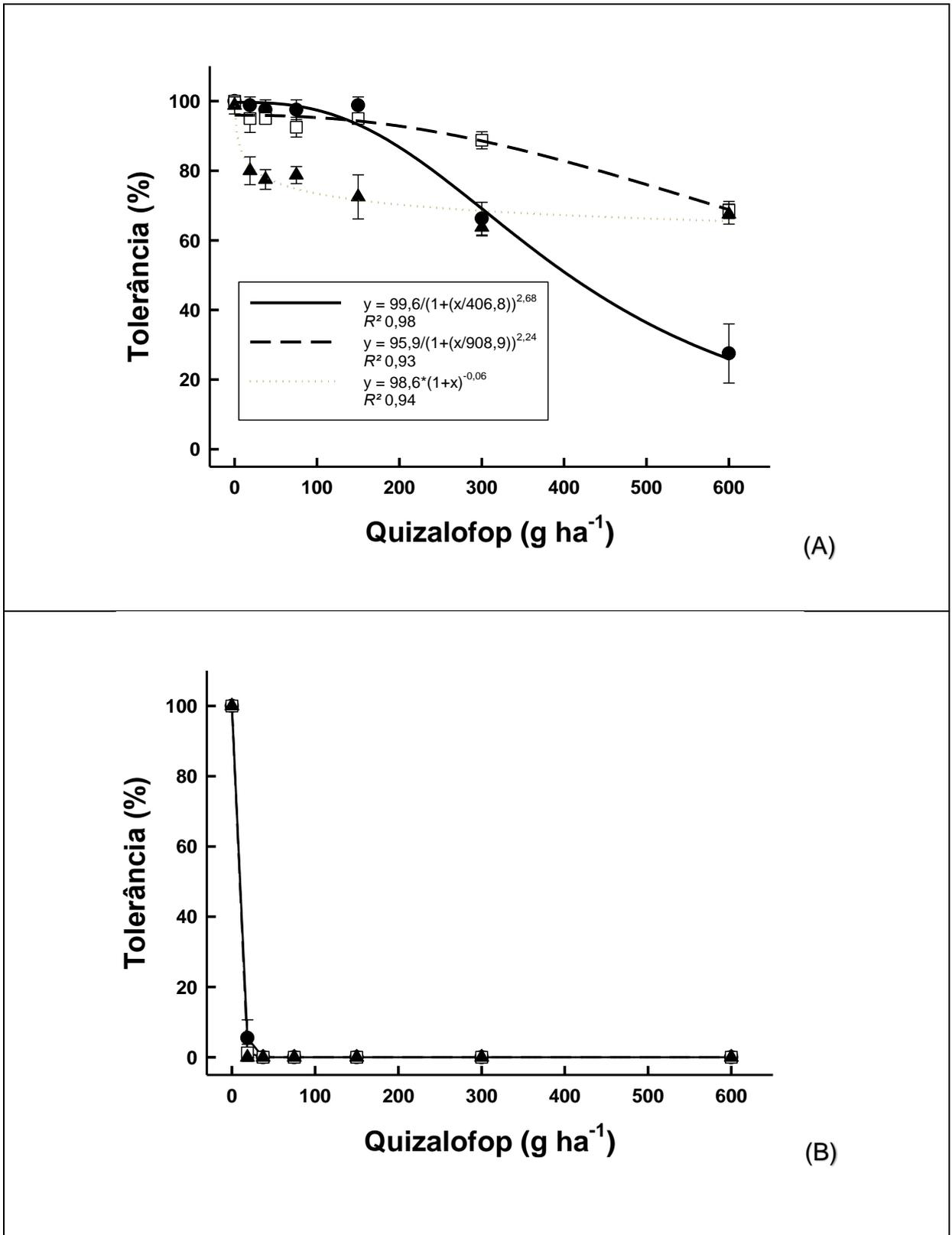


Figura 15 - Avaliação visual de seletividade e controle da linhagem SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B), respectivamente, em porcentagem, em reposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o propanil, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g Propanil; quadrado vazio = ¼ g Propanil; triangulo cheio = ½ g Propanil. Itajaí, SC, 2016.

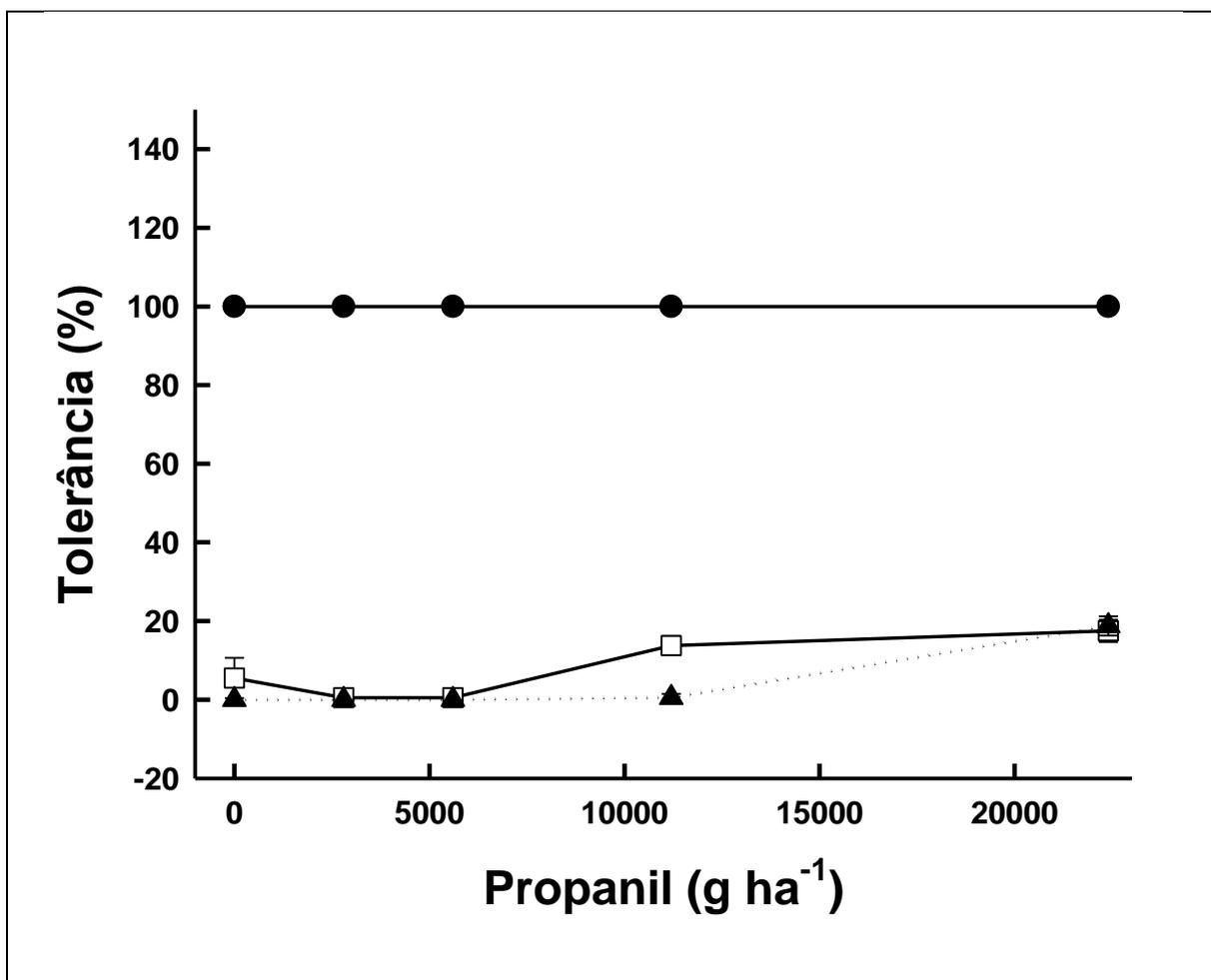


Figura 16 - Avaliação visual de controle da cultivar SCS 116 Satoru, em percentagem, em reposta às diferentes doses de propanil aplicado isoladamente e em associação com o quizalofop, aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quizalofop; quadrado vazio = 18,75 g quizalofop; triângulo cheio = 37,5 g quizalofop. Itajaí, SC, 2016.

A tab. 21 representa um indicativo de antagonismo na associação de quizalofop com o propanil em todas as doses. Na fig. 17, percebe-se que a tolerância tem um decréscimo menos acentuado quando o quizalofop é misturado ao propanil nas doses de $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$. A tolerância foi maior conforme o aumento da dose de propanil. Segundo Norsworthy et al. (2010), em um estudo com *Ipomoea wrightii*, a adição de propanil para controlar a espécie daninha em calda com alguns herbicidas sistêmicos reduz o

controle da mesma nas 4 semanas após a aplicação. O controle da planta daninha foi reduzido de 8 a 47%, quando o propanil foi associado ao halosulfuron, bentazon ou penoxsulam, comparado aos herbicidas aplicados isoladamente. Uma menor atividade herbicida, é esperada, tendo em vista de que o propanil é um herbicida de contato e tem sido relatado por alguns autores como antagonista a outros herbicidas (SCHERDER; TALBERT; LOVELACE, 2005; WILLINGHAM et al., 2008).

Ainda segundo o Willingham, et al. (2008), baixas doses de propanil, quando misturadas com esses herbicidas aliviam o efeito da interação antagônica. Na tab. 21 e fig. 18 (B) pode ser observado que doses mais elevadas doses do inibidor do fotossistema II afetam significativamente o quizalofop no controle do arroz, havendo uma diferença do valor esperado para o valor observado de até 90% da massa da matéria seca da parte aérea.

Tabela 21 – Redução da massa da matéria seca da parte aérea (%) da cultivar SCS 116 Satoru aos 29 DAA submetido à aplicação de quizalofop e propanil com as doses de quizalofop fixas, Itajaí, SC, 2016

Propanil + quizalofop (g i.a./ha + g i.a./ha)	Redução de MSPA - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
2800 + 18,75	87,79	0,00	0,0001
5600 + 18,75	86,20	1,13	0,0001
11200 + 18,75	90,96	0,00	0,0001
22400 + 18,75	90,79	0,00	0,0001
2800 + 37,5	82,91	0,00	0,0001
5600 + 37,5	80,69	0,00	0,0001
11200 + 37,5	87,34	0,00	0,0001
22400 + 37,5	87,11	0,00	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

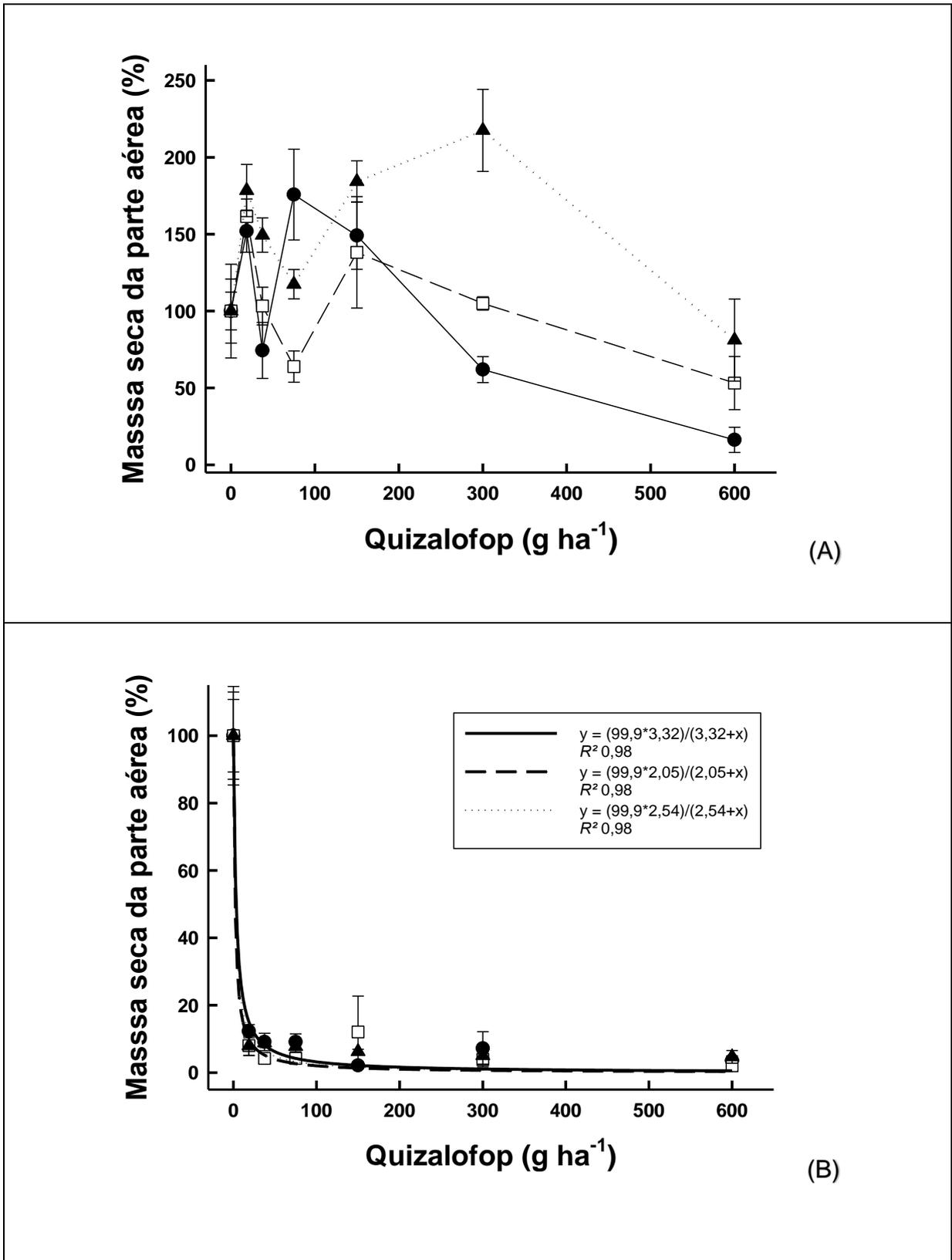


Figura 17 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B), em resposta às diferentes doses de quizalofop aplicado isoladamente e em associação com o propanil aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g Propanil; quadrado vazio = $\frac{1}{4}$ g Propanil; triângulo cheio = $\frac{1}{2}$ g Propanil. Itajaí, SC, 2016.

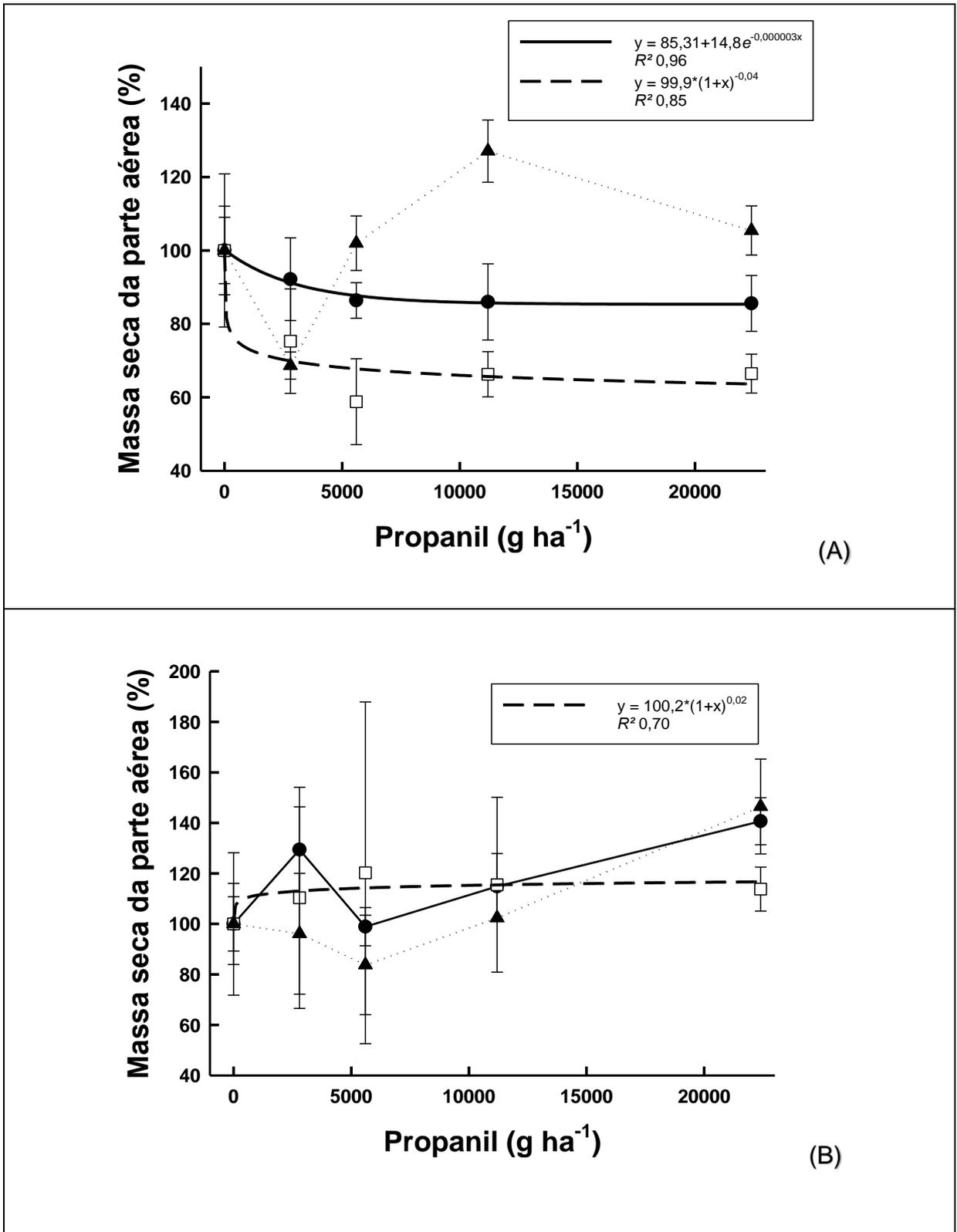


Figura 18 - Massa da matéria seca da parte aérea por planta da linhagem de arroz irrigado SC 964 (A) e cultivar SCS 116 Satoru (B), em resposta às diferentes doses de propanil aplicado isoladamente e em associação com o quinclorop aos 29 dias após a aplicação dos tratamentos. Círculo cheio = 0 g quinclorop; quadrado vazio = 18,75 g quinclorop; triângulo cheio = 37,5 g quinclorop. Itajaí, SC, 2016.

4.4 Conclusões

Há redução na eficiência de controle e seletividade do quizalofop quando o mesmo foi associado com o 2,4-D e o quizalofop em arroz na maioria das doses utilizadas.

Há redução na eficiência de controle e seletividade do quizalofop quando o mesmo foi associado com o propanil em arroz com a mesma frequência.

5 Conclusões gerais

Na eminência do lançamento de um cultivar de arroz resistente a inibidores de ACCase, visando o controle de arroz-vermelho, há a possibilidade de existir um efeito antagônico na associação de latifolicidas com herbicidas desse mecanismo de ação, neste caso, do grupo químico dos ariloxifenoxipropionatos, mais especificamente, o herbicida quizalofop.

A ampla maioria das associações realizadas demonstraram uma suposta interação antagônica dos inibidores da ACCase com os latifolicidas. A ACCase é uma importante enzima que catalisa processos vitais para as plantas e se tratando disso, qualquer rota que dependa da mesma precisa do seu funcionamento pleno para ser desencadeada. O arroz apresenta essa enzima da forma sensível aos herbicidas que inibem a mesma, sendo assim, um alvo constante de graminicidas com atuação nesse mecanismo de ação.

Por se tratar da mesma espécie do arroz cultivado, o arroz-daninho também apresenta sensibilidade aos inibidores da ACCase, se tornando outro alvo desses produtos. Existem estudos cada vez mais voltados para o cultivo de plantas com tecnologias cujos inibidores dessa enzima sejam menos eficientes na inibição da ação das enzimas-alvo, principalmente utilizando o quizalofop, como herbicida, para que os sistemas de manejo não dependam apenas de uma ferramenta para o manejo integrado de plantas daninhas da lavoura.

Há suposto antagonismo entre o 2,4-D e o quizalofop em diversas doses, porém não foi possível realizar a mesma observação entre o propanil e o quizalofop. É importante ressaltar que demais estudos devem ser realizados para a continuidade do estudo de forma a comprovar a interação antagônica observada na associação.

6 Referências

- ABIT, M. J. M.; AL-KHATIB, K.; OLSON, B. L.; STAHLMAN, P. W.; GEIER, P. W.; THOMPSON, C. R.; CURRIE, R. S.; SCHLEGEL, A. J.; HOLMAN, J. D.; HUDSON, K. A.; SHOUP, D. E.; MOECHNING, M. J.; GRICHAR, J.; BEAN, B. W. Efficacy of postemergence herbicides tankmixes in aryloxyphenoxypropionate-resistant grain sorghum. **Crop Protection**, v. 30, n. 12, p. 1623-1628, 2011.
- 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: GOMES, A. S. **Embrapa Clima Temperado. Documento, 191. Novos horizontes para a sustentabilidade da lavoura orizícola do Rio Grande do Sul**. 1ª. ed. Pelotas: [s.n.], Cap. 1, p. 15-36, 2008.
- AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; SILVA, J. M. B. V.; TIRONI, S. P.; ANDRES, A. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, p. 993-1003, 2010.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**, 1ª. ed. Pelotas: [s.n.], Cap. 1, p. 9-32, 2014.
- BAERG, R. J.; GRONWALD, J. W.; EBERLEIN, C. V.; STUCKER, R. E. Antagonism of diclofop control of wild oat (*Avena fatua*) by tribenuron. **Weed Science**, v.44, n. 3, p. 461-468, 1996.
- BAKKALI, Y.; RUIZ-SANTAELLA, J. P.; OSUNA, M. D.; WAGNER, J.; FISCHER, A. J.; DE PRADO, R. Late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*): mechanisms involved in the resistance to fenoxaprop-p-ethyl. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 55, n. 10, p. 4052-4058, 2007.
- BARNES, J. W.; OLIVER, L.R. Cloransulam antagonizes annual grass control with aryloxyphenoxypropionate graminicides but not cyclohexanediones. **Weed Technology**, v. 18, n. 3, p. 763-772, 2004.
- BARNWELL, P.; COBB, A. H. An Investigation of Aryloxyphenoxypropionate Antagonism of Auxin-Type Herbicide Action on Proton-Efflux. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 47, n. 2, p. 87-97, 1993.
- BARNWELL, P.; COBB, A. H. Graminicide antagonism by broadleaf weed herbicides. **Pesticide Science**, v. 41, p. 77-85, 1994.
- BI, W.; LIU, W.; GUO, W.; LI, L.; YUAN, G.; DU, L.; WANG, J. Molecular basis of multiple resistance to ACCase- and ALS-inhibiting herbicides in *Alopecurus japonicus* from China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 126, p. 22-27, 2016.
- BLACKSHAW, R. E.; HARKER, K. N.; CLAYTON, G. W.; O'DONOVAN, J. T. Broadleaf herbicide effects on clethodim and quizalofop-P efficacy on volunteer wheat (*Triticum aestivum*). **Weed Technology**, v. 20, n. 1, p. 221-226. 2006.

BLOUIN, D. C.; WEBSTER, E. P.; BOND, J. A. On a Method of Analysis for Synergistic and Antagonistic Joint-Action Effects with Fenoxaprop Mixtures in Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 24, n. 4, p. 583-589, 2010.

BOWLING, C. C.; HUDGINS, H. R. The effect of insecticides on the selectivity of propanil on rice. **Weed Science Society of America**. v. 14, n. 1, 1966.

BRASIL. Decreto-Lei nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm>. Acesso em: 16 fev. 2017.

BUHLER, D. D.; SWISHER, B. A.; BURNSIDE, O. C. Behavior of ¹⁴C-Haloxyfop-Methyl in Intact Plants and Cell Cultures. **Weed Science**, v. 33, n. 3, 1985.

CAREY, V. F.; HOAGLAND, R. E.; TALBERT, R. E. Resistance mechanism of propanil-resistant barnyardgrass: II. In-vivo metabolismo of the propanil molecule. **Pesticide Science**, v. 49, p. 333-338, 1997.

CASELEY, J. C.; LEAH, J. M. Combating propanil resistance in *Echinochloa colona* with synergists that inhibit acylamidase and oxygenases. **Second International Weed Control Congress**, Copenhagen, 1996.

CHRISTOFFERS, M. J.; BERG, M. L. Messersmith CG. An isoleucine to leucine mutation in acetyl-CoA carboxylase confers herbicide resistance in wild oat. **Genome**, v. 45, p. 1049–1056, 2002.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. In: I SIMPÓSIO SOBRE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS. **Anais...** Dourados – MS, EMBRAPA, 1997, p. 75-94.

COCKER, K. M.; NORTHCROFT, D. S.; COLEMAN, J. O. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides and isoproturon in UK populations of *Lolium multiflorum*: mechanisms of resistance and implications for control. **Pesticide Management Science**. v. 57, n. 7, p. 587-597, 2001.

COLBY, S. R. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicides combinations. **Weeds**. v. 15, p. 20-22, 1967.

CORKERN, C. B.; REYNOLDS, D. B.; VIDRINE, P. R.; GRIFFIN, J. L.; JORDAN, D. L. Bromoxynil antagonizes johnsongrass (*Sorghum halepense*) control with graminicides. **Weed Technology**. v. 12, p. 205-208, 1998.

CROON, K. A.; KETCHERSID, M. L.; MERKLE, M. G. Effect of bentazon, imazaquin, and chorimuron on the absorption and translocation of the methyl ester of haloxyfop. **Weed Science**, v. 37, n. 5, p. 645-650, 1989.

CROUGHAN, T. P. Application of tissue culture techniques to the development of herbicide resistance rice. **Louisiana Agriculture**, v. 37, n. 1, p. 25-26, 1998.

- CULPEPPER, A. S.; YORK, A. C.; BROWNIE, C. Influence of Bromoxynil on Annual Grass Control by Graminicides. **Weed Science**, v. 47, n. 1, p. 123-128, 1999.
- CULPEPPER, A. S.; YORK, A. C.; JENNINGS, K. M.; BATTS, R. B. Interaction of bromoxynil and postemergence graminicides on large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). **Weed Technology**, v. 12, n. 3, p. 554-559, 1998.
- CULPEPPER, A. S.; YORK, A. C.; JORDAN, D. L.; CORBIN, F. T.; SHELDON, Y. S. Basis for antagonismo in mixtures of bromoxynil plus quizalofop-P applied to yellow foxtail (*Setaria glauca*). **Weed Technology**, v. 13, n. 3, p. 515-519, 1999.
- DALAZEN, 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 de Goiânia**, v. 45, n. 2, p. 249-256, 2015.
- DAMALAS, C. A. Herbicide tank mixtures: common interaction. **International Journal of Agriculture & Biology**, Greece, v. 6, n. 1, p. 209-212, 2004.
- DAMALAS, C. A.; DHIMA, K. V.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Control of early watergrass (*Echinochloa oryzoides*) and late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) with cyhalofop, clefoxydim, and penoxsulam applied alone and in mixture with broadleaf herbicides. **Weed Technology**, v. 20, n. 4, p. 992-998, 2006.
- DAOU, H.; TALBERT, R. E. Control of Propanil-ResistantB arnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Rice (*Oryza sativa*) with Carbaryl/Propanil Mixtures. **Weed Science Society of America**. v. 13, n. 1, 1999.
- DÉLYE, C.; MATÉJICEK, A.; MICHEL, S. Cross-resistance pattern to ACCase-inhibiting herbicide conferred by mutant ACCase isoforms in *Alopecurus myosuroides* Huds. (black-grass) re-examined at the recommended herbicide field rate. **Pesticide Management Science**, v. 64, p. 1179–1186, 2008.
- DESCHAMPS, R. J. A.; HSIAO, A. I.; QUICK, W. A. Antagonistic effect of MCPA on fenoxaprop activity. **Weed Science**, v. 38, n.1, 1990.
- DIGGLE, A. J.; NEVE, P. B.; SMITH, F. P. Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. **Weed Research**, v. 43, n. 5, p. 371-382, 2003.
- 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**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 195-201, 2004.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT, 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Rice/images/RMM/RMM-Dec16_H.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2017.
- FERREIRA, K. L.; BURTON, J. D.; COBLE, H. D. Physiological basis for antagonism

of fluazifop-P by DPX-PE350. **Weed Science**, v. 43, n. 2, p. 184-191, 1995.

FISCHER, A. J.; CHEETHAM, D. P.; VIDOTTO, F. DE PRADO, R. Enhanced effect of thiobencarb on bispyribac-sodium control of *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. in California rice (*Oryza sativa* L.). **Weed Biology Management**, v. 4, p. 206-212, 2004.

FLINT, J. L.; BARRET, M. Effects of glyphosate combinations with 2,4-D or Dicamba on field bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed Science**, v. 37, n. 1, p. 12-18, 1989.

FREAR, D. S.; STILL, G. G. The metabolism of 3,4-dichloropropionanilide in plants. Partial purification and properties of an aryl acylamidase from rice. **Phytochemistry**, v. 7, p. 913-920, 1968.

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**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 697-707, 2007.

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

GERWICK, C.B. Potential mechanism for bentazon antagonism with haloxyfop. **Weed Science**, v.36, p.286-280, 1988.

GREEN, J. M. Herbicide antagonism at the whole plant level. **Weed Technology**, v. 3, n. 2, p. 217-226, 1989.

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

GRISP, GLOBAL RICE SCIENCE PARTNERSHIP. **Rice almanac**. 4^a. ed. Los Baños: International Rice Research Institute, 2013, 283 p.

GROSSMANN, K.; HUTZLER, J.; CASPAR, G.; KWIATKOWSKI, J.; BROMMER, C. L. Saflufenacil (KixorTM): biokinetic properties and mechanism of selectivity of a new protoporphyrinogen IX oxidase inhibiting herbicide. **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 290-298, 2011.

GROSSMANN, K. KWIATKOWSKI, J. Selective Induction of Ethylene and Cyanide Biosynthesis Appears to be Involved in the Selectivity of the Herbicide Quinclorac between Rice and Barnyardgrass. **Journal of Plant Physiology**, v. 142, p. 457-466, 1993.

GROSSMANN, K. Mediation of Herbicide Effects by Hormone Interactions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 22, n. 1, p. 109-122, 2003.

HARKER, K. N.; BLACKSHAW, R. E.; KIRKLAND, K. J. Ethametsulfuron interactions with grass herbicides on canola (*Brassica napus*, *B. rapa*). **Weed Technology**, v. 9,

n. 1, p. 91-98, 1995.

HART, S. E.; ROSKAMP, G. K. Soybean (*Glycine max*) response to thifensulfuron and bentazon combinations. **Weed Technology**, v. 12, n. 1, p. 179-184, 1998.

HEAP, I. International survey of resistant weeds. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

HEAP, J., R. Knight. A population of ryegrass tolerant to the herbicide diclofop-methyl. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* v. 48, p. 156-157. 1982.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – HRAC. Mecanismos de ação dos herbicidas e sua relação com a resistência de plantas daninhas a herbicidas, 2003. Disponível em: <<http://www.hrac-br.com.br>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

HOLSHOUSER, D. L.; COBLE, H. D. Compatibility of sethoxydim with five postemergence broadleaf herbicides. **Weed Technology**, v. 4, n. 1, p. 128-133, 1990.

HOCHBERG, O.; SIBONY, M.; RUBIN, B. The response of ACCase-resistant *Phalaris paradoxa* populations involves two different target site mutations. **Weed Research**, v. 49, p. 37–46, 2009.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

KAUNDUN, S. S. An aspartate to glycine change in the carboxyl transferase domain of acetyl CoA carboxylase and non-target-site mechanism(s) confer resistance to ACCase inhibitor herbicides in a *Lolium multiflorum* population. **Pesticide Management Science**, v. 66, p. 1249–1256, 2010.

KAUNDUN, S. S.; WINDASS, J. D. Derived cleaved amplified polymorphic sequence, a simple method to detect a key point mutation conferring acetyl CoA carboxylase inhibitor herbicide resistance in grass weeds. **Weed Science**, v. 46, p. 34–39, 2006.

KIM, J. S.; WON, T. J.; LEE, B. H.; YU, J. H.; LEE, C. W. Physiological basis for antagonismo induced by mixtures of quizalofop-ethyl and bromoxynil in maize (*Zea mays*). **Weed Research**, v. 46, n. 3, p. 236-242, 2006.

KRUSE, N. **Análise da associação de metribuzin e clomazone como modelo para o estudo do sinergismo entre herbicidas**. 2002. 148 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LETOUZÉ, A.; GASQUEZ, J. Enhanced activity of several herbicide-degrading enzymes: a suggested mechanism responsible for multiple resistance in blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). **EDP Sciences**, v. 23, p. 601-608, 2003.

LIEBL, R.; WORSHAM, A. D. Effect of chlorsulfuron on diclofop phytotoxicity to Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). **Weed Science**, v. 35, n. 3, p. 383-387, 1987.

LIU, W. J.; HARRISON, D. K.; CHALUPSKA, D.; GORNICKI, P.; O'DONELL, C. C.; ADKINS, S. W.; HASELKORN, R.; WILLIAMS, R. R. Single-site mutations in the carboxyltransferase domain of plastid acetyl-CoA carboxylase confer resistance to grass-specific herbicides. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 104, n. 9, p. 3627–3632, 2007.

LYCAN, D. W.; HART, S. E. Physiological response of soybean (*Glycine max*) and two weed species to thifensulfuron and bentazon combinations. **Weed Science**, v. 47, n. 2, p. 143-148, 1999.

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**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 107-114, 2006.

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**, Santa Maria, 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**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 645-656, 2013.

MATZENBACHER, F. O.; KALSING, A.; DALAZEN, G.; MARKUS, C.; MEROTTO JR, A. Antagonismo é o efeito predominante em misturas de herbicidas aplicados em pós-emergência para o controle de plantas daninhas em arroz. 2015, Pelotas. **Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO**, Pelotas: SOSBAI, 2015.

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**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p. 2154-2159, 2013.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R. Arroz-vermelho (*Oryza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. **Planta Daninha**, v. 27, p. 1047-1052, 2009.

MEROTTO JR, A.; GOULART, I. C. G. R.; ROSO, A. C.; KALSING, A.; NUNES, A.; MARKUS, C. Resistência a herbicidas imidazolinonas em arroz vermelho. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**, 1ª. ed. Pelotas: [s.n.], Cap. 19, p. 280-293, 2014.

MINTON, B. W.; KURTZ, M. E.; SHAW, D. R. Barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) control with grass and broadleaf weed herbicide combinations. **Weed Science**, v. 37, p. 223-227, 1989.

MYERS, P. F.; COBLE, H. D. Antagonism of graminicide activity on annual grass

species by Imazethapyr. **Weed Technology**, v. 6, n. 2, p. 333-338, 1992.

NOLDIN, J. A. Eficácia e seletividade do herbicida 2,4-D aplicado em diferentes doses, épocas e formulações em arroz irrigado. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 2, n. 3, p. 107-112, 2001.

NORSWORTHY, J. K.; BANGRWA, S. K.; SCOTT, R. C.; STILL, J.; GRIFFITH, G. M. Use of propanil and quinclorac tank mixtures for broadleaf weed control on rice (*Oryza sativa*) levees. **Crop Protection**, v. 29, p. 255-259, 2010.

OLSON, W. A.; NALEJAWA, J. D. Antagonistic effects on MCPA on wild oat (*Avena fatua*) control with diclofop. **Weed Science**, v. 29, p. 566-571, 1981.

O'SULLIVAN, P. A.; FRIESEN, H. A.; VANDEN BORN, W. H. Influence of herbicides for broad-leaved weeds and adjuvants with dichlorfop methyl on wild oat control. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 57, p. 117-125, 1977.

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 Science**, v. 45, n. 3, p. 113-118, 2009.

PALOU, A. T.; RANZENBERGER, A. C.; LARIOS, C. Z. Management of Herbicide-Resistant Weed Populations. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**, Roma, 2008.

PAN, G. ZHANG, X.; LIU, K.; ZHANG, J.; WU, X.; ZHU, J.; TU, J. Mapbased cloning of a novel rice cytochrome P450 gene CYP81A6 that confers resistance to two different classes of herbicides. **Plant Molecular Biology**, v. 61, p. 933–943, 2006.

PETIT, C.; BAY, G.; PERNIN, F.; DÉLYE, C. Prevalence of cross or multiple resistance to the acetyl-*co*enzyme A carboxylase inhibitors fenoxaprop, clodinafop and pinoxaden in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in France. **Pesticide Management Science**, v. 66, n. 2, p. 168–77, 2010.

POWLES, S. B.; YU Q.; Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annu Rev Plant Biol.** v. 61, p.317–347, 2010.

QURESHI, F. A.; VANDEN BORN, W. H. Split applications and tank mix combinations of diclofop-methyl and MCPA for weed control in barley. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 59, p. 87-92, 1979.

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

RHODES, G. N. Jr.; COBLE, H. D. Influence of bentazon on absorption and translocation of sethoxydim in goosegrass (*Eleusine indica*). **Weed Science**, v. 32, n. 5, p. 436-441, 1984.

SCARABEL, L.; PANOZZO, S.; VAROTTO, S.; SATTIN, M. Allelic variation of the ACCase gene and response to ACCase-inhibiting herbicides in pinoxaden-resistant

Lolium spp. **Pesticide Management Science**, v. 67, n. 8, p. 932–941, 2011.

SCOTT, R. C.; SHAW, D. R.; RATLIFF, R. L. Effect of SAN 582 on sethoxydim efficacy in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 46, n. 1, p. 2-7, 1998.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide Handbook**. 9.ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

SCHERDER, E.F., TALBERT, R.E., LOVELACE, M.L. Antagonism of cyhalofop grass activity by halosulfuron, triclopyr, and propanil. **Weed Technology**, v. 19, p. 934–941, 2005

SHAW, D. R.; ARNOLD, J. C. Weed control from herbicide combinations with glyphosate. **Weed Technology**, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2002.

STARKE, R. J.; OLIVER, L. R. Interaction of glyphosate with chlorimuron, fomesafen, imazetaphyr, and sulfentrazone. **Weed Science**, v. 46, n. 6, p. 652-660, 1998.

SHIMABUKURO, R. H.; WALSH, W. C.; HOERAUF, R. A. Reciprocal antagonism between the herbicides, diclofop-methyl and 2,4-D, in corn and soybean tissue culture. **Plant Physiology**, v. 80, n. 3, p. 612-617, 1986.

SHIVRAIN, V. K.; BURGOS, N. R.; SALES, M. A.; MAUROMOUSTAKOS, A.; GEALY, D. R.; SMITH, K. L.; BLACK, H. L.; JIA, M. Factors affecting the outcrossing rate between Clearfield™ rice and red rice (*Oryza sativa*). **Weed Science**. v. 57, n. 4, p. 394-403, 2009.

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, n. 12, p. 1495-1497, 2008.

SIMPSON, D. M.; STOLLER, E. W. Physiological mechanisms in the synergism between thifensulfuron and imazethapyr in sulfonylurea-tolerant soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 44, n. 2, p. 209-214, 1996.

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.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Sensitivity of leguminous crops to saflufenacil. **Weed Technology**. v.24, n. 2, p. 143-146, 2010.

SORENSEN, V. M.; MEGGIT, W. F.; PENNER, D. The interaction of acifluorfen and bentazon in herbicidal combinations. **Weed Science**, v. 35, n. 4, p. 449-456, 1987.

SOSBAI, SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: Pallotti, 2016. 199 p.

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**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 105-111, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAL, A.; RUBIN, B. Molecular characterization and inheritance of resistance to ACCase-inhibiting herbicides in *Lolium rigidum*. **Pest Management Science**, v. 60, p. 1013–1018, 2004.

TAYLOR, H. F.; LOADER, M. P. C.; NORRIS, S. J. Compatible and antagonistic mixtures of diclofop-methyl and flumetpachlor-methyl with herbicides used to control broad-leaved weeds. **Weed Research**, v. 24, p. 185-190, 1983.

TREZZI, M. M.; MATTEI, D.; VIDAL, R. A.; KRUSE, N. D.; GUSTMAN, M. S.; VIOLA, R.; MACHADO, A.; SILVA, H. L. Antagonismo das associações de clodinafop-propargyl com metsulfuron-methyl e 2,4-D no controle de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 839-847, 2007.

TODD, B. G.; STOBBE, E. H. The basis of the antagonistic effect of 2,4-D on diclofop-methyl toxicity to wild oat (*Avena fatua*). **Weed Science**, v. 28, n. 4, p. 371-377, 1980.

VIDRINE, P. R. Johnson (*Sorghum halepense*) control in soybeans (*Glycine max*) with postemergence herbicides. **Weed Technology**, v. 3, n. 3, p.445-458, 1989.

VIDRINE, P. R.; REYNOLDS, D. B.; BLOUIN, D. C. Grass control in soybean (*Glycine max*) with graminicides applied alone and in mixtures. **Weed Technology**, v. 9, p. 68-72, 1995.

VILLA, S.C.C.; MARCHEZAN, 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**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 549-555, 2006.

WANG, Y.; DU, L.; BAI, L. Photochemical Degradation of Pyrazosulfuron-Ethyl in Aqueous Solution. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, n. 1, p. 26-31, 2013.

WEBSTER, E.P, et al. Provisia rice: A future option in rice. Proc. South. **Weed Science Society**, v. 68, 2015.

WESLEY, M T.; SHAW, D. R. Interactions of diphenylether herbicides with chlorimuron and imazaquin. **Weed Technology**, v. 6, n. 2, p. 345-351, 1992.

WILLINGHAM, S.D.; SENSEMAN, S. A.; MCCAULEY, G. N.; CHANDLER, J. M. Effect of temperature and propanil on penoxsulam efficacy, absorption, and translocation in alligatorweed (*Alternanthera philoxeroides*). **Weed Science**. v. 56, p. 780–784, 2008.

- WU, M. G.; KIM, K. U.; SHIN, D. H. Studies on effect and its mechanism of herbicide mixture of cyhalofop-butyl, pyribenzoxim and pyrazosulfuron-ethyl – II. Effect of herbicide mixture on the activity of ALS, content of free amino acids and fatty acids. **Korean Journal of Science**, v. 18, n. 3, p. 197-204, 1998.
- YAMASHITA, O. M.; ZONTA, F.; MACHADO, R. A. Influência de doses e de épocas de aplicação de 2,4-D nos componentes da produtividade de arroz. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 39-45, 2008.
- YIH, R. Y.; MCRAE, D. H.; WILSON, H. F. Mechanism of Selective Action of 3',4'-Dichloropropionanilide. **Plant Physiology**, v. 43, p. 1291-1296, 1968.
- YU, Q.; COLLAVO, A.; ZHENG, M. Q.; OWEN, M.; SATTIN, M.; POWLES, S. B. Diversity of acetylcoenzyme A carboxylase mutations in resistant *Lolium* populations: evaluation using clethodim. **Plant Physiology**, v.145, p. 547–555, 2007.
- YU, Q.; AHMAD-HAMDANI, M. S.; HAN, H.; CHRISTOFFERS, M. J.; POWLES, S. B. Herbicide resistance-endowing ACCase gene mutations in hexaploid wild oat (*Avena fatua*): insights into resistance evolution in a hexaploid species. **Heredity**, v. 110, p. 220-231, 2013.
- ZABALZA, A.; OSCARAY, L.; GASTON, S.; ROYUELA, M. Carbohydrate accumulation in leaves of plants treated with the herbicide chlorsulfuron or imazehapyr is due to a decrease in sink strength. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 25, p. 7601-7606, 2004.
- ZHANG, J. H.; HAMILL, A. S.; WEAVER, S. E. Antagonism and synergism between herbicides – trends from previous studies. **Weed Technology**, v. 9, n. 1, p. 86-90, 1995.
- ZHANG, J.; XU, Y.; WU, X.; ZHU, L. A bentazon and sulfonyleurea sensitive mutant: breeding, genetics and potential application in seed production of hybrid rice. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 105, n. 1, p. 16–22, 2002.
- ZHANG, L.; LU, Q.; CHEN, H.; PAN, G.; XIAO, S.; DAI, Y.; LI, Q.; ZHANG, J.; WU, X.; WU, J. Identification of a cytochrome P450 hydroxylase, CYP81A6, as the candidate for the bentazon and sulfonyleurea herbicide resistance gene, Bel, in rice. **Molecular Breeding**, v. 19, n. 1, p. 59–68, 2007.
- ZHANG, W.; 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.
- ZHANG, X. Q.; POWLES, S. B. The molecular bases for resistance to acetyl coenzyme A carboxylase (ACCase) inhibiting herbicides in two target-based resistant biotypes of annual ryegrass (*Lolium rigidum*). **Planta**, v. 223, p. 550–57, 2006.

ANEXOS

ANEXO A – Redução da massa da matéria seca relativa (%) da cultivar SCS 116 Satoru submetido ao quizalofop + 2,4-D com as doses de 2,4-D fixas

Quizalofop + 2,4-D (g i.a./ha + g e.a./ha)	Redução de MSPA - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob (t)*
18,75 + 167,5	90,32	8,34	0,0001
37,5 + 167,5	86,45	75,90	0,0001
75 + 167,5	79,71	95,90	0,0001
150 + 167,5	84,11	95,11	0,0001
300 + 167,5	85,85	94,48	0,0001
600 + 167,5	93,32	94,96	ns
18,75 + 335	91,08	35,67	0,0001
37,5 + 335	87,51	52,86	0,0001
75 + 335	81,30	82,81	ns
150 + 335	85,36	93,45	0,0001
300 + 335	86,96	95,58	0,0001
600 + 335	93,85	98,36	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

ANEXO B – Redução da massa da matéria seca relativa (%) da cultivar SCS 116 Satoru submetido a 2,4-D + quizalofop com as doses de 2,4-D fixas

Quizalofop + 2,4-D (g i.a./ha + g e.a./ha)	Redução de MSPA - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob (t)*
18,75 + 167,5	90,32	8,34	0,0001
37,5 + 167,5	86,45	75,90	0,0001
75 + 167,5	79,71	95,90	0,0001
150 + 167,5	84,11	95,11	0,0001
300 + 167,5	85,85	94,48	0,0001
600 + 167,5	93,32	94,96	0,0001
18,75 + 335	91,08	35,67	0,0001
37,5 + 335	87,51	52,86	0,0001
75 + 335	81,30	82,81	0,0001
150 + 335	85,36	93,45	0,0001
300 + 335	86,96	95,58	0,0001
600 + 335	93,85	98,36	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

ANEXO C - Redução da massa da matéria seca da parte aérea (%) da linhagem SC 964 submetida à mistura de quizalofop + propanil aos 29 DAA com as doses de propanil fixas

Quizalofop + propanil (g i.a./ha + g i.a./ha)	Redução de MSPA - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
18,75 + 700	6,46	0	0,0001
37,5 + 700	6,51	0	0,0001
75 + 700	0,00	36,16	0,0001
150 + 700	6,39	0	0,0001
300 + 700	51,92	0	0,0001
600 + 700	53,79	46,83	0,0001
18,75 + 1400	10,04	0	0,0001
37,5 + 1400	10,09	0	0,0001
75 + 1400	0,00	0	ns
150 + 1400	9,97	0	0,0001
300 + 1400	53,79	0	0,0001
600 + 1400	55,56	18,87	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

ANEXO D – Redução da massa da matéria seca da parte aérea (%) da linhagem SC 964 submetida à mistura de propanil + quizalofop aos 29 DAA com as doses de quizalofop fixas

Propanil + quizalofop (g i.a./ha + g i.a./ha)	Redução de MSPA - Resistente		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
2800 + 18,75	8,33	24,70	0,0001
5600 + 18,75	6,76	41,18	0,0001
11200 + 18,75	14,82	33,72	0,0001
22400 + 18,75	0,00	33,53	0,0001
2800 + 37,5	8,37	31,53	0,0001
5600 + 37,5	6,80	0,00	0,0001
11200 + 37,5	14,86	0,00	0,0001
22400 + 37,5	0,00	0,00	ns

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

ANEXO E – Redução da massa da matéria seca da parte aérea (%) da cultivar SCS 116 Satoru submetida à mistura de quizalofop + propanil aos 29 DAA com as doses de propanil fixas

Quizalofop + propanil (g i.a./ha + g i.a./ha)	Redução de MSPA - Suscetível		
	Esperada(%)	Observada(%)	Prob t*
18,75 + 700	85,98	91,99	0,0001
37,5 + 700	80,37	95,76	0,0001
75 + 700	70,61	95,76	0,0001
150 + 700	76,99	87,91	0,0001
300 + 700	79,50	96,07	0,0001
600 + 700	90,33	97,95	0,0001
18,75 + 1400	87,65	92,05	0,0001
37,5 + 1400	82,71	91,15	0,0001
75 + 1400	74,11	92,23	0,0001
150 + 1400	79,73	93,74	0,0001
300 + 1400	81,95	94,94	0,0001
600 + 1400	91,48	95,30	0,0001

* Teste t, com significância na probabilidade indicada; ns: não significativo.

7 VITA

Renan Souza Silva é filho de Odinei Pinto Silva e Maristel Leite Souza Silva, nascido em 28 de agosto de 1991, no município de Jaguarão, Rio Grande do Sul. No ano de 2010 ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), onde recebeu o título de Engenheiro Agrônomo em 2015. Durante a graduação foi bolsista de monitoria da disciplina e bolsista de iniciação científica da UFPel. Em 2015, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, em Capão do Leão/RS.