

DISSERTAÇÕES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-
VERMELHO E PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR
+ IMAZAPIC) E CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO**

Fernando Machado dos Santos

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2006

ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-VERMELHO E
PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E
CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO

por

Fernando Machado dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2006

S237a	<p>Santos, Fernando Machado dos, 1980-</p> <p>Alternativas de controle químico do arroz-vermelho e persistência dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone na água e no solo / por Fernando Machado dos Santos; orientador Enio Marchesan. Santa Maria, 2006. 72 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2006.</p> <p>1. Agronomia 2. Clomazone 3. <i>Oryza sativa</i> 4. <i>Oryza</i> spp 5. Efeito residual 6. Imazethapyr+imazapic I. Marchesan, Enio, orient. II. Título</p> <p>CDU: 633.18.03</p>
-------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2006

Todos os direitos autorais reservados a Fernando Machado dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Roraima, Depto de Fitotecnia, prédio 44, sala 5335. Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900

Fone: (0xx55) 9943.7376; Endereço Eletrônico: fernandoagro18@hotmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-
VERMELHO E PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR
+ IMAZAPIC) E CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO**

elaborada por
Fernando Machado dos Santos

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Sérgio Luiz de Oliveira Machado, Dr.
(Presidente/Co-orientador)

José Alberto Noldin, Dr. (EPAGRI)

Luis Antonio de Avila, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 15 de setembro de 2006.

Com carinho, dedico esta Dissertação:

Ao meu pai, Antônio Vieira dos Santos (in memorian),
que despertou em mim o gosto pela agricultura;

À minha mãe, Fátima Nara Machado dos Santos, que
incentivou meus sonhos e deu condições para que eles se
realizassem;

Aos meus irmãos, Alexandre Machado dos Santos e
Antônio Vieira dos Santos Júnior, pela compreensão do
tempo não partilhado;

À minha noiva, Caroline Casali, e **ao pequeno**
Guilherme Casali, pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, pela vida;

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro;

À Universidade Federal de Santa Maria, por seis anos de formação educacional e pessoal;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade;

Ao Professor Enio Marchesan, por cinco anos de orientação acadêmica e ensinamentos que levarei comigo como lições de vida;

Aos Professores Luis Antonio de Avila e Sérgio Luiz de Oliveira Machado, pela dedicação na revisão e correção dos textos e orientação na condução dos experimentos;

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia, Edinalvo Rabaioli Camargo e Silvio Carlos Cazarotto Villa, pela amizade, troca de idéias e companheirismo nesses cinco anos de empreitada;

Aos estagiários e ex-estagiários do Setor de Agricultura da Universidade Federal de Santa Maria, em especial a Paulo Fabricio Sachet Massoni, Gustavo Mack Teló, Diego Rost Arosemena e Mara Grohs;

Aos meus sempre amigos, Gelson Difante, Tommi Segabinazzi e Victor Marzari;

Ao funcionário do Setor de Agricultura, Alex Giuliani, pela amizade e parceria nas incontáveis horas de trabalho a campo;

À minha noiva Caroline Casali, pela revisão dos trabalhos e incansável apoio;

E a todos aqueles que não foram lembrados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa Dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado em Agronomia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-VERMELHO E PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO

Autor: Fernando Machado dos Santos

Orientador: Enio Marchesan

Santa Maria, 15 de setembro de 2006.

A infestação de plantas daninhas, principalmente da espécie arroz-vermelho (*Oryza* spp.), é um fator limitante para o aumento da produtividade na lavoura orizícola gaúcha. Diante dessas infestações, o controle químico tem sido a ferramenta mais empregada pelos agricultores. Contudo, sua utilização pode originar resíduos de agroquímicos na água e no solo, ocasionando danos na cultura em rotação e contaminação ambiental. Diante disso, desenvolveram-se dois anos de experimentos com os objetivos de: 1) avaliar a eficiência de duas alternativas (Sistema Clearfield e utilização de Gamit (clomazone) e protetor de sementes) no controle do arroz-vermelho; 2) identificar e quantificar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina da água e no solo da lavoura de arroz-irrigado e 3) verificar o efeito dos herbicidas em culturas semeadas em sucessão. No primeiro ano de ensaio, na safra 2004/05, a cultivar IRGA 422 CL foi semeada em campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, para a avaliação do controle de arroz-vermelho em sete tratamentos contendo diferentes doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone. Colhido o arroz, a área foi dessecada e, nela, foram semeadas as culturas de azevém, no inverno de 2005, e de arroz não-tolerante à aplicação de (imazethapyr + imazapic) e clomazone, na safra 2005/06, visando à avaliação do efeito residual desses herbicidas aplicados na cultura de arroz tolerante sobre culturas suscetíveis. Os resultados das análises demonstram que a utilização do Sistema Clearfield é mais eficiente no controle do arroz-vermelho que a aplicação de clomazone com uso de protetor de sementes. A aplicação de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de (imazethapyr + imazapic) em pré-emergência, seguida da mesma dose em pós-emergência, apresentou controle de 100% da planta daninha, sem causar prejuízos ao estande de plantas e à produtividade de grãos da cultivar IRGA 422 CL. Além disso, o experimento evidenciou que a aplicação seqüencial de (imazethapyr + imazapic), dentre os tratamentos avaliados, persiste mais tempo na lâmina d'água da lavoura de arroz. Observou-se ainda a existência de residual no solo de (imazethapyr + imazapic) um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionaram redução na produtividade de grãos da cultivar não-tolerante IRGA 417. Quanto ao clomazone, as análises evidenciaram ausência de residual após um ano de sua aplicação nas doses de 3 e 6 L ha^{-1} . Para o azevém, não foram observados efeitos negativos do residual dos herbicidas no solo.

Palavras-chave: clomazone; efeito residual; (imazethapyr + imazapic); *Oryza sativa*; *Oryza* spp.

ABSTRACT

M.S. Dissertation in Agronomy
Agronomy Graduate Program
Universidade Federal de Santa Maria

**CHEMICAL RED RICE CONTROL AND PERSISTENCE OF (IMAZETHAPYR +
IMAZAPIC) AND CLOMAZONE IN SOIL AND WATER**

Author: Fernando Machado dos Santos
Adviser: Enio Marchesan
Santa Maria September 15, 2006.

Weed infestation, mainly with red rice (*Oryza* spp.), is the most important factor limiting yield increase in paddy rice in Rio Grande do Sul state. Chemical red rice control is the most used tool in this area. But, its use can originate herbicide residue in water and soil that can cause carry-over to rotational crops and environmental contamination. To assess these possible problems it was carry a two year experiment with the objective of: 1) to evaluate the efficiency of two alternatives (Clearfield system and the use of clomazone with seed protector) on red rice control; and 2) to evaluate imazethapyr and clomazone field persistence in water and soil and 3) evaluate the herbicides carry over to non-tolerant crop. In the first year (2004/05) 'IRGA 422 CL' rice cultivar was drill seeded in the experimental area located in Santa Maria, RS, Brazil, to evaluate red rice control by seven treatments including rates and timing of (imazethapyr + imazapic) and clomazone application. After rice harvest, burndown herbicide was applied, and it was planted rieggrass in winter 2005, and non-tolerant rice was seeded in 2005/06 growing season, aiming to evaluate the carry over effects of herbicides. The results showed that the Clearfield system is more efficient in red rice control than clomazone. The application of 0,7 L ha⁻¹ (imazethapyr + imazapic) PRE followed by the same rate at POS, promoted 100% red rice control, without reducing rice grain yield (cultivar IRGA 422 CL). The experiment showed also that, between the evaluated treatments, the split application of (imazethapyr + imazapic), was the most persistent in rice paddy water. It was observed carryover effects of (imazethapyr + imazapic) in the non-tolerant rice, causing yield reduction in IRGA 417 variety seeded one year after herbicide application. Clomazone did not have carryover effects one year after the application. Ryegrass did not showed injury to the herbicide residues in soil.

Key-words: clomazone; carryover; (imazethapyr + imazapic); *Oryza sativa*; *Oryza* spp.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: Fitotoxicidade dos tratamentos para o controle de arroz-vermelho sobre a cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria, RS. 2005. 23
- FIGURA 2: A: Presença dos herbicidas imazethapyr e clomazone no solo e período de detecção desses herbicidas na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. B: Período de detecção do herbicida imazethapyr na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. C: Período de detecção do herbicida clomazone na água de irrigação do arroz. Santa Maria, RS. 2005. 36

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1: Controle do arroz-vermelho na colheita (CAV), estande de plantas (EP), colmos por planta em dias após a emergência (DAE), estatura de planta na colheita (EPC), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE), produtividade de grãos (PG) e grãos inteiros (GI), em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only (imazethapyr + imazapic), utilizado na cultivar IRGA 422 CL, e à aplicação de doses altas do herbicida Gamit (clomazone) em sementes tratadas com Pemit[®]. Santa Maria-RS, 2005..... 21
- TABELA 2: Temperaturas mínimas, máximas e médias, insolação e precipitação pluvial, por decêndio, ocorridas durante o período de detecção dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e Gamit (clomazone) na lâmina d'água do experimento. Santa Maria, RS. 2006..... 32
- TABELA 3: Concentração dos herbicidas imazethapyr e clomazone na água de irrigação do arroz, período de detecção (PD), constante da taxa de dissipação (k) e meia-vida dos herbicidas na água ($t_{1/2}$). Santa Maria, RS. 2006. 34
- TABELA 4: Temperaturas mínimas, máximas e médias, precipitação pluvial e insolação, por decêndio, ocorridas durante o período de avaliação do residual no solo dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e Gamit (clomazone) na cultura do azevém e do arroz. Santa Maria, RS. 2006..... 46
- TABELA 5: Fitotoxicidade no arroz em dias após a emergência (DAE), estande de plantas (EP), colmos por planta em DAE, infestação por arroz-vermelho (IAV), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) e produtividade de grãos (PG), em resposta a residual no solo de doses e épocas de aplicação do herbicida Only (imazethapyr + imazapic), utilizado na cultivar IRGA 417, e residual no solo aplicação de doses altas do herbicida Gamit (clomazone) em sementes tratadas com Pemit[®]. Santa Maria-RS, 2006..... 48

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
INTRODUÇÃO	2
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2. CONTROLE QUÍMICO DE ARROZ-VERMELHO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO	16
2.1 INTRODUÇÃO.....	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	18
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
2.4 CONCLUSÕES.....	26
2.5 LITERATURA CITADA	26
3. PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E CLOMAZONE NA LÂMINA DE ÁGUA DA LAVOURA DO ARROZ IRRIGADO	29
3.1 INTRODUÇÃO.....	30
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.4 CONCLUSÃO	38
3.5 LITERATURA CITADA	38
4. EFEITO DO RESIDUAL NO SOLO DE (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E CLOMAZONE EM CULTURAS NÃO-TOLERANTES.....	41
4.1 INTRODUÇÃO.....	42
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.4 CONCLUSÃO	51
4.5 LITERATURA CITADA	51
5. CONCLUSÕES GERAIS	54
6. BIBLIOGRAFIA GERAL	55

INTRODUÇÃO

Visando o aumento na produtividade da lavoura de arroz e conseqüente acréscimo de renda ao produtor, o controle de plantas daninhas tem sido conduzido principalmente com a utilização de herbicidas na cultura orizícola. Em contrapartida à sua aplicação, a quantidade e a qualidade da água potável no mundo é discutida em diferentes fóruns e a agricultura é apontada como grande contribuinte na contaminação dos mananciais hídricos. Diante disso, faz-se necessário conhecer o potencial residual no solo e na água dos herbicidas aplicados na lavoura de arroz, visando o desenvolvimento de estratégias de manejo para a rotação de culturas e o controle dos possíveis impactos ambientais causados por sua aplicação. Parte desses estudos, a presente dissertação propõe-se a dois objetivos centrais. O primeiro deles consiste em avaliar a eficiência de duas alternativas – Sistema Clearfield e utilização de Gamit (clomazone) e protetor de sementes - no controle do arroz-vermelho, principal planta daninha da lavoura orizícola gaúcha. O segundo objetivo visa quantificar e identificar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina da água e no solo da lavoura de arroz irrigado, avaliando ainda o efeito de sua aplicação sobre culturas sucessoras não-tolerantes.

Para o cumprimento desses objetivos, foram desenvolvidos dois anos de experimentos, que deram origem a presente dissertação. No primeiro ano de ensaio, na safra 2004/05, a cultivar IRGA 422 CL foi semeada em campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, para a avaliação de sete tratamentos contendo diferentes doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e Gamit (clomazone). Colhido o arroz, a mesma área foi dessecada e, nela, foram semeadas as culturas de azevém, no inverno de 2005, e de arroz não-tolerante à aplicação de (imazethapyr + imazapic) e clomazone, na safra 2005/06. Esse segundo ano de trabalho visou à avaliação do efeito residual dos herbicidas aplicados na cultura de arroz tolerante na safra precedente sobre culturas suscetíveis.

A presente dissertação avaliou, portanto, o sistema de controle de arroz-vermelho com arroz tolerante a imidazolinonas (Sistema Clearfield) e a supressão de arroz-vermelho com a utilização de clomazone e protetor de sementes quanto à eficiência no controle do arroz-vermelho, quanto à persistência dos herbicidas na água e quanto ao seu efeito residual no solo para culturas não-tolerantes. A apresentação das pesquisas realizadas e dos resultados encontrados segue a partir de cinco capítulos. No primeiro deles, intitulado *Revisão Bibliográfica*, contextualiza-se a problemática deste trabalho e são descritos os conceitos que

embasaram as análises empreendidas. O segundo capítulo, denominado *Controle do arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado*, traz a avaliação do sistema de supressão de arroz-vermelho com a utilização do Sistema Clearfield e de clomazone e protetor de sementes quanto à eficácia no controle da planta daninha e quanto ao desempenho agrônômico do arroz em função das duas alternativas. No terceiro capítulo, intitulado *Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura do arroz irrigado*, são descritas as análises de persistência dos herbicidas na lâmina de água da lavoura de arroz e são identificados possíveis destinos desses herbicidas no meio ambiente. Já o quarto capítulo, denominado *Efeito do residual no solo de (imazethapyr + imazapic) e clomazone em culturas não-tolerantes*, apresenta a influência dos resíduos no solo de herbicidas aplicados na safra de 2004/05 sobre culturas subsequentes ao arroz tolerante e suscetíveis a tais agroquímicos. Em vias de conclusão, o quinto e último capítulo desta dissertação traz uma síntese de todas as análises realizadas, buscando definir estratégias de manejo no controle de arroz-vermelho e na sucessão de culturas, ou seja, ações que proporcionem a diminuição dos custos de produção com impacto mínimo ao meio ambiente.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A principal planta daninha à cultura do arroz irrigado é o arroz-vermelho (*Oryza* spp.), espécie que compete com a cultura, reduzindo a produtividade, a qualidade e a rentabilidade da lavoura. A origem do arroz-vermelho não é tema de consenso. Alguns autores acreditam que a forma originária do arroz era de pericarpo vermelho; outros pesquisadores defendem a idéia de que o arroz com pericarpo vermelho surgiu de uma população de arroz branco que sofreu degeneração (Agostinetto et al., 2001). Há ainda a hipótese de que o arroz-vermelho tenha se originado de um complexo grupo de arroz selvagem, que se modificou por hibridação natural com qualidades comerciais. O arroz-vermelho pertence ao mesmo gênero do arroz (*Oryza sativa*) irrigado. Craigmiles (1978) afirma que as características que podem auxiliar na diferenciação do arroz-vermelho são: a coloração vermelha do pericarpo, a pubescência e a deiscência precoce das espiguetas, plantas com porte mais alto que as cultivares modernas de arroz, maior sensibilidade ao acamamento, maior pilosidade da lâmina foliar e maior perfilhamento. Além disso, Smith Jr. (1992) destaca que o arroz-vermelho apresenta dormência no solo por períodos superiores a 12 anos.

Estimativas indicam que o Rio Grande do Sul, líder no ranking brasileiro de produção de arroz, perde 20% de seu potencial produtivo devido à competição com o arroz-vermelho (Marchezan et al., 2004). Pode-se afirmar, de acordo com os mesmos autores, que cada panícula de arroz-vermelho por m² reduz a produtividade do arroz irrigado em 16 a 18 kg ha⁻¹. Além da diminuição na produtividade de grãos, o arroz-vermelho ocasiona depreciação do valor comercial do produto colhido, devido à redução na quantidade de grãos inteiros, à alteração da classe do produto e à existência de grãos com estrias vermelhas em função do polimento. No processo de beneficiamento, os danos qualitativos dos grãos de arroz podem ser minimizados com o uso de máquinas e equipamentos que promovam a separação do arroz-vermelho do lote de arroz. Contudo, esse procedimento causa elevação nos custos de produção e, devido a tal aumento, as receptoras de arroz classificam os lotes de acordo com a presença de arroz-vermelho, estabelecendo preços diferenciados a serem pagos ao produtor.

A infestação das áreas com arroz-vermelho também diminui a renda dos produtores, pois causa desvalorização das áreas de cultivo. No Rio Grande do Sul, 60% da área cultivada com arroz encontra-se com média a alta infestação de arroz-vermelho, são áreas que apresentam de 10 a 200 panículas da planta daninha m⁻² (Marchezan et al., 2004). Essa alta infestação deve-se, segundo Souza (1999) e Petrini et al. (1998), a diversos fatores, dentre

eles ao uso intensivo das áreas, à ausência de herbicidas seletivos ao arroz e eficientes no controle de arroz-vermelho, ao manejo inadequado da resteva do arroz, à alta percentagem de degrane natural e à dormência no solo das sementes da planta daninha.

O conhecimento das causas que levaram à infestação de arroz-vermelho em determinada área é fundamental no desenvolvimento de estratégias de manejo para o controle da planta daninha. Influenciam também, nesse desenvolvimento, a situação econômica e cultural de cada produtor, a topografia da propriedade, a disponibilidade de água para irrigação, as condições de drenagem da área, dentre outros fatores. Para o controle de arroz-vermelho, as principais alternativas são: utilização de sementes isentas da planta daninha, escolha de um sistema de cultivo eficaz no seu controle, manejo do solo e da água de irrigação, rotação de culturas e controle químico. Dentre os sistemas de cultivo do arroz irrigado, Marchezan et al. (2004), avaliando pesquisas de diversos autores, constataram que o sistema pré-germinado e o transplante de mudas são mais eficientes no controle de arroz-vermelho. No entanto, é preciso utilizá-los integradamente com outros métodos de controle.

Outro aspecto importante para o controle de arroz-vermelho é o manejo do solo após a colheita. Autores relatam que o pousio da área por dois anos, após o cultivo de arroz, reduz o banco de sementes de arroz-vermelho e consiste em uma prática que mantém em níveis toleráveis a infestação da planta daninha (Avila, 1999; Coradini et al., 1999). A mobilização freqüente do solo durante o pousio também consiste em alternativa de controle do arroz-vermelho, pois aumenta a emergência das plantas daninhas, reduzindo a quantidade de sementes no solo. Segundo Huey & Baldwin (1978), com a mobilização do solo, as sementes encontram condições favoráveis para germinar e emergir, podendo ser controladas por gradagens sucessivas, possibilitando destruir três ou quatro infestações de arroz-vermelho durante o período de primavera/verão. Além do manejo do solo, o manejo de irrigação é outra prática importante no controle do arroz-vermelho, pois interfere na emergência de plantas daninhas. Machado et al. (1998) compararam diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado em 27 lavouras comerciais e constataram redução na população de plantas de arroz-vermelho nos sistemas pré-germinado e cultivo mínimo, quando as lavouras foram conduzidas com manejo adequado da água. Para o sistema pré-germinado, a inundação do solo deve ser realizada no mínimo 20 dias antes da semeadura, para minimizar a viabilidade das sementes de arroz-vermelho (Noldin, 1988). No sistema convencional e plantio direto, a entrada da água deve ser feita o mais rápido possível após a emergência do arroz, devendo ser mantida por todo o ciclo da cultura (Marchezan et al., 2004).

A rotação de culturas, tais como milho, soja e sorgo, consiste também em uma alternativa para a redução da infestação de arroz-vermelho na lavoura de arroz irrigado. Petrini et al. (1998) observaram uma redução de 53,4% no número de sementes de arroz-vermelho m⁻², após um ano de rotação do arroz com milho, aplicando-se atrazine nesta cultura. Ainda outras pesquisas relatam a eficiência da rotação de culturas com a utilização de herbicidas para o controle do arroz-vermelho (Machado et al., 1999; Avila, 1999). Nesse sentido, é importante destacar que a escolha do herbicida a ser utilizado, da dose a ser aplicada e do modo e época de aplicação são fundamentais no controle da planta daninha.

O controle químico do arroz-vermelho é também uma alternativa para a diminuição de sua infestação nas lavouras de arroz irrigado. Segundo Marchezan et al. (2004), esse controle pode ocorrer através da aplicação de herbicidas com antídoto, do uso de barra química, da supressão da produção de sementes viáveis com regulador de crescimento de ação sistêmica ou do desenvolvimento de cultivares de arroz resistentes a determinados herbicidas utilizados no controle de arroz-vermelho. Inserido nesta última alternativa, a utilização de arroz resistente a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas tem sido uma ferramenta de controle do arroz-vermelho nas lavouras comerciais do Rio Grande do Sul. Desenvolvidas inicialmente na Estação Experimental de Crowley, na Universidade de Louisiana, EUA, essas plantas foram obtidas através de mutação por agentes químicos e, posteriormente, a característica de tolerância aos herbicidas foi introduzida através de retrocruzamento em cultivares utilizadas pelos produtores. Tal tecnologia permite que herbicidas do grupo químico das imidazolinonas sejam aplicados na lavoura de arroz tolerante tanto em pré, quanto em pós-emergência, controlando o arroz-vermelho sem causar maiores prejuízos ao arroz cultivado.

Herbicidas desse grupo são, de modo geral, móveis no xilema e no floema, podendo ser absorvidos e translocados a partir das folhas ou pelas raízes (Masson et al., 2001). O modo de ação dos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas se dá mediante a inibição do crescimento da planta logo após a sua aplicação, sendo que, passados de 10 a 15 dias, os tecidos meristemáticos tornam-se cloróticos e, posteriormente, ocorre lenta clorose e necrose foliar (Vidal, 1997). Estes herbicidas inibem a enzima acetolactato sintetase (ALS), que é essencial na biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada, como isoleucina, leucina e valina. Por sua vez, a resistência a estes herbicidas nas cultivares de arroz ocorre justamente devido à alteração em sua enzima acetolactato sintetase, tornando-as até 477 vezes mais resistentes que as enzimas de genótipos de arroz-vermelho (Avila et al., 2003).

Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas são caracterizados pela eficácia em baixas doses, pelo largo espectro de controle de plantas daninhas e pela longa persistência no solo (Shaw & Wixson, 1991; Loux & Reese, 1993). Nos EUA, independente da textura do solo, preconiza-se a aplicação sequencial do imazethapyr, na dose de 70 g i.a. ha⁻¹ em pré-plantio incorporado (PPI) ou pré-emergência (PRE), seguida da mesma dose em pós-emergência (POS), com o arroz no estágio de três a cinco folhas (Ottis et al., 2003). Já no Brasil, a tecnologia, denominada Sistema Clearfield, constitui-se na aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) em arroz tolerante, sendo recomendada a dose de 1,0 L ha⁻¹ do produto, aplicado em POS. Steele et al. (2002) e Ottis et al. (2003), no entanto, trabalhando com linhagens resistentes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, verificaram que, para o efetivo controle do arroz-vermelho, são necessárias duas aplicações do herbicida, uma em pré-emergência e outra em pós-emergência. Também Villa et al. (2006) verificaram que maior controle de arroz-vermelho é obtido com doses sequenciais de 75 g ha⁻¹ de (imazethapyr + imazapic) aplicado em PRE, seguido de 50 g ha⁻¹ do herbicida aplicado em POS. Na utilização de imazethapyr, é preciso observar ainda o manejo da água na lavoura; a inundação da área deve ser realizada no máximo até 14 dias após a aplicação do herbicida, quando este for aplicado em pós-emergência precoce, e aos sete dias após a emergência, quando aplicado em pós-médio (Avila et al., 2003).

Embora os resultados encontrados confirmem que o uso de arroz resistente ao grupo químico das imidazolinonas consiste em uma tecnologia eficiente no controle do arroz-vermelho, é preciso atentar ao possível cruzamento genético entre essas plantas resistentes e a planta daninha. Os genes responsáveis pela resistência podem ser transferidos, através do pólen, e incorporados por plantas daninhas, tais como o arroz-vermelho. Logo, ainda que em taxas variadas, é possível ocorrer fluxo gênico entre o arroz mutante e espécies afins (Marchezan et al., 2004), aumentando a agressividade do arroz-vermelho. Além disso, os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem causar injúrias à cultura subsequente ao arroz e não-tolerante à sua aplicação.

O imazethapyr, {2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-ethyl-3-pyridinecarboxylic acid}, é um herbicida com características de ácido orgânico fraco (pKa 3.9) que tem solubilidade em água de 1400 mg L⁻¹ (pH 7; 25°C) e pressão de vapor <0.013 mPa (60°C) (Vencill, 2002). Esse herbicida é suscetível à fotodecomposição aquosa com meia-vida que varia de 44 h, em pH 5, a 57 h, em pH 9 (Shaner & O'Conner 1991), sendo o principal processo de degradação do imazethapyr na água. A meia-vida no solo desse herbicida varia de 60 a 90 dias e suas perdas por volatilização são insignificantes (Vencill,

2002). O imazapic, 2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-methyl-3-pyridinecarboxylic acid, consiste também num herbicida com características de ácido fraco (pKa 3.9), com solubilidade em água de 2200 mg L⁻¹ (25°C). A meia-vida do herbicida no solo é de 120 dias e, assim como para o imazethapyr, suas perdas por volatilização são insignificantes.

Outra tecnologia utilizada em lavouras comerciais do RS consiste na supressão de arroz-vermelho com a utilização do herbicida clomazone em sementes tratadas com protetor. O clomazone, {2-[(2-clorobenzil)]-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona}, tem solubilidade em água de 1100 mg L⁻¹ (25°C) e pressão de vapor de 19.2 mPa (25°C). A meia-vida do clomazone no solo é de 24 dias, mas esse período pode variar com o tipo do solo e as circunstâncias ambientais (Vencill, 2002). O clomazone é absorvido pelas raízes e move-se no xilema até as folhas das plantas. Esse herbicida inibe a biossíntese de pigmentos de clorofila e do carotenóide, causando uma aparência descorada em espécies suscetíveis, ocasionando plantas brancas, amarelas ou verde-claro (Duke & Paul, 1986).

Zhang et al. (2004), pesquisando a tolerância de diferentes cultivares de arroz à aplicação de clomazone, verificaram que o herbicida pode injuriar algumas cultivares da cultura, resultando em redução da estatura de plantas e diminuindo, assim, a produtividade de grãos da lavoura. Para os autores, a maioria das cultivares de arroz tem a habilidade de se recuperar das injúrias, e de manter seus potenciais de produtividade de grãos, no entanto, os resultados de pesquisas revelam a existência de tolerância diferenciada à aplicação de clomazone entre as cultivares do arroz. Taylor (2004), ao avaliar tratamentos com clomazone na lavoura de arroz, também verificou que o aumento da dose deste herbicida acima de 240 g i.a ha⁻¹, algumas vezes, causou excessiva injúria às plantas. Em função disso, necessita-se utilizar, junto ao clomazone, sementes tratadas com protetor e que se tornam, portanto, tolerantes a doses elevadas de tal herbicida. Segundo Hatzios & Burgos (2004), protetores são agentes químicos que reduzem a fitotoxicidade de herbicidas nas culturas, através de mecanismo fisiológico ou molecular, sem comprometer a eficiência do controle de plantas daninhas. Estes agentes são usados para a proteção de sementes de algumas gramíneas, assim como milho, sorgo e arroz.

A aplicação de ambas as tecnologias - Sistema Clearfield e supressão de arroz-vermelho com utilização de clomazone em sementes tratadas com protetor - apresentam-se, portanto, como alternativa para o controle químico do arroz-vermelho nas lavouras de arroz irrigado. Contudo, sabe-se que a aplicação de herbicidas, principalmente quando utilizada de forma inadequada, sem respeitar as recomendações constantes no rótulo do produto, pode

provocar prejuízos ambientais ao sistema de cultivo. Apesar de sua importância social e econômica, tem sido levantados muitos questionamentos quanto ao potencial poluente da lavoura arrozeira.

Em 1997, a Organização das Nações Unidas (ONU) fez um alerta mundial: em 28 anos, a carência de água no mundo atingiria dois terços da população, exigindo a racionalização de seu uso. Diante da necessidade de preservação dos recursos hídricos, a agricultura como um todo tem sido foco de debate, pois responde por 69% uso anual de água no mundo (FAO, 2003). Além da alta demanda por água, a agricultura ainda oferece riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo uso de agroquímicos na lavoura. Diante das práticas agriculturáveis, a condução da lavoura de arroz irrigado é uma das primeiras na demanda por água. No Rio Grande do Sul, são produzidas, anualmente, cerca de seis milhões de toneladas de arroz, sendo que, para a produção de 1 kg de grãos, são necessários de 1 a 3 m³ de água (FAO, 2003). Além disso, para maior produtividade da lavoura, a utilização de agroquímicos no controle de plantas daninhas tem sido bastante empregada, ocasionando especulações acerca da responsabilidade da lavoura orizícola na contaminação de mananciais hídricos.

A irrigação da cultura do arroz é conduzida, por bombeamento ou gravidade, de rios, riachos, lagoas, barragens ou açudes. Para tanto, na sua maioria, as lavouras localizam-se em baixadas que ficam às margens de mananciais de água. Segundo Machado et al. (2001), devido aos processos naturais de movimento das águas superficiais, é provável que resíduos de agroquímicos sejam transportados para recursos hídricos importantes, contaminando os mananciais à jusante da lavoura, ainda que a concentração de herbicidas na água seja, em geral, baixa. O escoamento superficial, portanto, é o principal mecanismo que contribui para a contaminação das águas por agroquímicos. Uma vez aplicados, os herbicidas podem ser transportados, via água da chuva ou drenagem, para mananciais hídricos à jusante da lavoura de arroz.

Largamente utilizados na lavoura orizícola, os herbicidas, quando na água, espalham-se por todo o meio líquido, o que torna difícil conter sua dispersão e inativar sua ação sobre outros organismos. O resíduo dos agroquímicos pode se ligar às partículas em suspensão, se depositar no fundo dos rios ou ser absorvido por organismos, podendo então ser detoxicado ou acumulado (Tomita & Beyruth, 2002). Para os autores, o grau de acumulação dos resíduos nos organismos depende do tipo de cadeia alimentar, da disponibilidade e persistência do herbicida na água e especialmente de suas características físico-químicas. Peixes e invertebrados, por exemplo, podem acumular os agroquímicos em concentrações muito acima

daquelas encontradas na água, devido à ligação dos resíduos às partículas em suspensão e à ingestão deles pelos organismos aquáticos (Tomita & Beyruth, 2002). Portanto, ainda que em concentrações baixas, os agroquímicos representam riscos para algumas espécies de organismos aquáticos, que podem concentrar os produtos em até 1000 vezes (Dores & De-Lamonica-Freire, 2001).

Herbicidas persistentes e com grande mobilidade têm sido detectados em águas de superfície (Deschamps et al., 2003; Marchezan et al., 2002), bem como em águas subterrâneas (Kolpin et al., 1998). Eventos como a precipitação pluvial, o escoamento superficial e a suplementação de água são fatores que podem modificar a concentração dos herbicidas, resultando em perdas e picos de concentração. Diante disso, as agências ambientais têm proposto legislação rigorosa a respeito da qualidade da água. A Comunidade Européia estabeleceu em $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ a concentração máxima admissível de qualquer pesticida para água potável e em $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ para o total de resíduos (Hamilton et al., 2003). Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde no Brasil, de 25 de março de 2004, que estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, o herbicida propanil pode ser encontrado na água potável em quantidade inferior a $20 \mu\text{g L}^{-1}$. Além deste herbicida, a Portaria estabelece os valores máximos permitidos para outros agroquímicos também utilizados na lavoura de arroz, como o 2,4 D e o glifosato, que não podem ultrapassar 30 e $500 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Para Machado et al. (2003), a provável presença de resíduos de herbicidas em águas de córregos, lagoas, riachos e rios que recebam o aporte da água de drenagem das lavouras de arroz irrigado é indicador de que práticas de manejo mais adequadas devam ser adotadas, com vistas a evitar a saída desta água contaminada da lavoura. Além disso, Machado (2003) aponta também como de grande necessidade estudos que determinem os resíduos de herbicidas na água e no solo da lavoura, com o objetivo de identificar, quantificar e solucionar possíveis problemas ambientais e biológicos.

Para além da poluição aquífera, o herbicida pode ser transportado ao interior do solo pela água da chuva ou da própria irrigação, contaminando-o. Persistentes no solo, resíduos destes herbicidas podem causar injúrias à cultura em rotação não-tolerante a eles. O comportamento e o destino dos herbicidas no ambiente dependem de fatores externos à sua composição, tais como as condições meteorológicas, composição das populações de microrganismos no solo, presença ou ausência de plantas, localização do solo na topografia, e práticas de manejo dos solos (Spadotto, 2002). Gebler & Spadotto (2004) citam também como fundamentais à mobilidade e persistência do herbicida no solo as propriedades intrínsecas do

agroquímico, como seu princípio ativo e suas características físico-químicas. O comportamento dos herbicidas no ambiente se dá por processos de transferência (sorção-desorção, escoamento superficial, percolação, volatilização e absorção por plantas e animais) e degradação (fotodecomposição, biodegradação, degradação química e detoxificação) (Mattos, 2004).

A sorção é o processo geral de retenção das moléculas no solo, sem distinção aos processos específicos de adsorção ou absorção (Paraíba et al., 2005). A sorção tem forte impacto na distribuição, biodisponibilidade e persistência do herbicida no ambiente. Herbicidas excessivamente móveis podem se deslocar para camadas mais profundas do solo, onde a atividade microbiana é frequentemente menor que aquela nas camadas superficiais, acarretando em implicações na persistência de resíduos desses herbicidas. A adsorção, por sua vez, é um processo físico-químico reversível que ocorre quando moléculas do pesticida são atraídas para a superfície da matéria sólida ou para a matéria orgânica do solo por mecanismos químicos ou físicos tais como reações de coordenação, interações por transferência de cargas, trocas iônicas, forças de van der Waals, ligações covalentes ou interações hidrofóbicas (Lavorenti et al., 2003). A adsorção ao solo é o processo que mais influi na percolação de herbicidas, porém as condições de umidade e temperatura também têm papel relevante nesse processo. Já a absorção é um fenômeno puramente físico que consiste na penetração de moléculas do pesticida nos espaços microscópicos do solo.

O escoamento superficial consiste na água, somada ao material dissolvido ou em suspensão, que escoa sobre uma superfície que atingiu seu ponto de saturação. Geralmente, o destino final do escoamento superficial é um ponto de captação de água, como reservatórios, rios ou lagos. A percolação e a volatilização, outros possíveis processos de transferência dos herbicidas no ambiente, compreendem, respectivamente, o transporte dos agroquímicos em profundidade, através do perfil do solo, e a transferência do elemento químico de uma superfície seca ou molhada para a atmosfera.

O processo de volatilização está diretamente relacionado com a taxa de pressão de vapor (P_a) e com a constante de Henry (K_h) do agroquímico. Ainda que seja difícil mensurar a taxa de volatilização dos herbicidas, podem-se obter as quantidades envolvidas levando-se em conta o fluxo de volatilização por unidade de área e a meia-vida de volatilização do produto. Segundo Gebler & Spadotto (2004), há expectativa de que, em solos com baixos teores de matéria orgânica, sob temperaturas altas, presença de vento e baixa umidade do ar, haja maior volatilização que em condições de frio, solos argilosos secos, com altos teores de matéria orgânica, ausência de vento e umidade do ar próxima a 100%. O grau de solubilidade do

herbicida em água também exerce influência sobre a taxa de volatilização, pois quanto menos miscível em água (apolar), o herbicida estará mais exposto tanto na superfície da água quanto no solo. Em contrapartida, no caso de herbicidas polares, haverá tendência a uma menor volatilização pela maior miscibilidade em água.

A degradação refere-se a mudanças na estrutura molecular dos herbicidas, resultando em produtos mais simples, geralmente menos fitotóxicos ou não-fitotóxicos (Mattos, 2004). O processo de degradação por fotodecomposição ocorre quando a luz formada por pacotes de energia denominados fótons, que se movimentam na forma de ondas, provoca a quebra das ligações químicas entre as moléculas dos herbicidas, primariamente através de reações fotoquímicas e, secundariamente, pela reação de radicais livres. A fotólise atinge principalmente moléculas com alto grau de volatilidade. Além da fotólise direta, existe o processo de fotólise indireta, em que a luz funciona como catalisador para outros processos físico-químicos, como redução ou oxidação. É preciso considerar ainda que a presença de radicais livres também afeta a taxa de degradação do agroquímico, sendo que radicais hidróxi (OH^\cdot) são os que mais aceleram a taxa, enquanto que radicais ozona (O_3^\cdot) têm menor influência sobre ela (Gebler & Spadotto, 2004).

A biodegradação dos herbicidas no solo, ou degradação biológica, é o processo pelo qual microorganismos reduzem a molécula inicial do agroquímico até seus componentes básicos, como carbono, fósforo e nitrogênio. A biodiversidade está presente em todo o perfil do solo, porém apresenta uma ação mais acentuada nas camadas superficiais. Isto se deve principalmente à presença de grande quantidade de bactérias aeróbicas, cuja eficiência em degradar produtos xenobióticos é superior às anaeróbicas por utilizar o oxigênio como agente oxidante, à maior presença de matéria orgânica e às relações solo-água-ar dessa região. Para que haja biodegradação, é necessária a conjunção de alguns fatores, como temperatura, umidade, população inicial de microorganismos, presença de substrato apropriado e meio de suporte. Por fim, a detoxificação dos herbicidas significa a perda da fitotoxicidade, mas pode também estar relacionada com a perda de toxicidade para animais (Mattos, 2004).

Além dos processos de transferência e degradação dos herbicidas descritos por Mattos (2004) e conceituados anteriormente, existe a hidrólise, quebra de ligações químicas nas moléculas e sua substituição por componentes da água (H^+ e OH^-) formando novos compostos. A hidrólise é considerada o principal meio de degradação de agroquímicos em corpos de água. O pH do meio interfere na hidrólise dos agroquímicos, devido à interação com as características físico-químicas inerentes à sua molécula. Também a temperatura e o

teor de matéria orgânica do solo influenciam no processo, sendo que solos ricos em argila são mais eficientes na degradação por hidrólise que solos arenosos.

Quanto à persistência dos herbicidas no ambiente, segundo Qureshi (1987), os agroquímicos persistentes no solo usualmente têm uma ou mais das seguintes propriedades: baixa solubilidade em água; moderado grau de adsorção; baixa volatilidade; baixa susceptibilidade à decomposição pela luz, à degradação química e à decomposição microbiana. Já a persistência dos herbicidas na água pode ser explicada pelo coeficiente de adsorção no carbono orgânico (K_{oc}), meia-vida ($t_{1/2}$), constante da lei de Henry (K_H) e também pelas condições hidrometeorológicas. Portanto, cada agroquímico em particular, com suas propriedades intrínsecas, comporta-se de diferente maneira no ambiente.

A taxa de degradação e a persistência dos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, por exemplo, sofrem influência da temperatura, umidade, matéria orgânica do solo e da adsorção do herbicida ao solo (Goetz et al., 1990). O imazethapyr pode ser liberado por volatilização, fotodecomposição, degradação microbial, degradação química ou pela taxa de absorção da planta (Goetz et al., 1990). Contudo, esse herbicida dissipa-se principalmente por biodegradação (Flint & Witt, 1997), com meia-vida que varia de 53 a 122 dias em solo aeróbico. Em contrapartida, Shaner & O'Conner (1991) afirmam que, sob condições anaeróbicas, como em lavouras de arroz irrigado, nenhuma degradação significativa ocorreu em um período de dois meses. Marcolin et al. (2003) verificaram que, aos 30 dias após a aplicação, a concentração do herbicida na lâmina de água da lavoura de arroz ficou abaixo de $3 \mu\text{g L}^{-1}$.

Pesquisas indicam que, com o aumento do pH do solo, a adsorção do imazethapyr ao solo diminui, já com o incremento da matéria orgânica do solo, a adsorção do herbicida aumenta (Che et al., 1992; Goetz et al., 1990). Isso ocorre devido à natureza aniônica das moléculas do herbicida (Loux & Reese, 1993), e ocasiona redução na disponibilidade do imazethapyr para degradação microbiana. Segundo Avila (2006), a adsorção do imazethapyr nos colóides pode afetar também a fotólise, pelo fato de o herbicida estar dentro de espaços coloidais, ou seja, protegido da luz. Persistentes no solo, resíduos do imazethapyr podem causar fitotoxicidade em culturas sucessoras ao arroz e não-tolerantes ao herbicida.

Renner et al. (1998) afirmam que os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos e, dependendo da cultura sucessora, podem causar fitotoxicidade (Ball et al., 2003). Johnson et al. (1993) verificaram injúrias no milho, algodão, sorgo e arroz, 52 semanas após a aplicação de imazethapyr. Também Curran et al. (1992) observaram injúrias na cultura do milho devido a resíduos do imazethapyr

aplicado na soja no ano precedente. Essas injúrias podem ser caracterizadas por sintomas como encurtamento dos entrenós e amarelecimento das folhas (York et al., 2000), redução na altura da planta e aumento da ramificação lateral (Ball et al., 2003), redução no estande da planta ou redução da produtividade (Loux & Reese, 1993). Em experimentos após um ano da aplicação de imazethapyr, Loux & Reese (1993) observaram injúrias em plantas de milho através da diminuição da produtividade, sendo que a injúria aumentava com a diminuição do pH do solo e como aumento da dose de aplicação do herbicida.

Quanto ao clomazone, a concentração do herbicida disponível na solução do solo depende da quantidade de carbono e de água deste solo (Lee et al., 2004). Segundo o California Department of Pesticide Regulation (EUA), os valores de K_{oc} para o clomazone, em estudo de adsorção e desorção do solo, indicaram que o herbicida tem de baixa à média mobilidade no solo. O Departamento afirma também que o estudo da hidrólise indicou que o clomazone é hidroliticamente estável após 34 ou 40 dias na água, sob diferentes pHs. No solo, o clomazone degrada lentamente sob condições aeróbicas, com meia-vida que varia de 90 a 276 dias; entretanto, em solo anaeróbico (campo inundado), a degradação é mais rápida, com meia-vida média de 60 dias (California Department of Pesticide Regulation, 2003). Portanto, o metabolismo desse herbicida é mais rápido em condições anaeróbicas que em condições aeróbicas.

Dissolvido em água, o clomazone não degrada prontamente na presença da luz, com meia-vida de 30 dias. Os estudos em água do metabolismo e da dissipação indicam que o clomazone tem uma meia-vida relativamente curta. Machado et al. (2003) encontraram persistência do herbicida na lâmina de água da lavoura de arroz até os 28 dias após sua aplicação, nas condições edafoclimáticas do RS, e Noldin et al. (1997) evidenciaram concentração de $0,6 \mu\text{g L}^{-1}$ de clomazone na água aos 32 dias após sua aplicação.

O clomazone tem controle residual eficaz para algumas espécies de plantas daninhas. Entretanto, foram documentadas injúrias nas plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia (*Avena sativa* L.) cultivadas um ano após a aplicação do clomazone nos EUA (Ahrens & Fuerst, 1990; Gunsolus et al., 1986). Para Scherder et al. (2004), a clorose (descoramento) e outras formas de injúrias, tais como redução do estande e atraso na maturidade das plantas, advindas da aplicação de clomazone, variam de acordo com o tipo e o teor de matéria orgânica do solo. Geralmente, com o aumento da taxa de clomazone de $0,28 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$ para $2,23 \text{ kg ha}^{-1}$, a clorose na planta aumenta (Bollich et al., 2000).

Segundo Spadotto (2002), o entendimento dos processos de retenção, transformação e transporte de herbicidas no ambiente, particularmente em condições brasileiras, é essencial

para direcionar trabalhos de monitoramento e avaliação de impactos ambientais, nos quais é imprescindível que os atributos e indicadores ambientais de alteração e de impacto sejam conhecidos para que a avaliação seja possível. Nesse sentido, a presente dissertação tem como objetivo avaliar não apenas a eficiência da aplicação de Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone no controle do arroz-vermelho, mas verificar também a persistência desses herbicidas na lâmina da água e no solo da lavoura do arroz irrigado, buscando indicativos dos reflexos de sua aplicação nas culturas subseqüentes ao arroz tolerante e suscetíveis ao seu residual. Para isso, foram conduzidos três experimentos. O primeiro deles visou à avaliação do Sistema Clearfield e da utilização de clomazone com uso de protetor de sementes no controle do arroz-vermelho. Por sua vez, o segundo experimento teve o objetivo de analisar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura do arroz irrigado. Por fim, o último experimento avaliou o efeito residual no solo dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone em culturas não-tolerantes a esses herbicidas estudados. A descrição dos experimentos realizados, bem como os resultados encontrados a partir de sua condução, segue nos próximos capítulos.

2. CONTROLE QUÍMICO DE ARROZ-VERMELHO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

RESUMO

A ocorrência de arroz-vermelho (*Oryza* spp.) em áreas de arroz irrigado reduz a produtividade de grãos da lavoura e a qualidade do produto colhido. Em vista disso, desenvolveu-se um experimento com o objetivo de comparar duas ferramentas para o controle do arroz-vermelho, uma usando o Sistema Clearfield para o controle de arroz-vermelho e outra usando-se doses elevadas de clomazone em sementes tratadas com protetor para supressão de arroz-vermelho. Os tratamentos aplicados constituíram-se de uma testemunha, sem aplicação de herbicida, três tratamentos referentes à aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) e outros três referentes à aplicação do herbicida Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). O tratamento mais eficiente no controle de arroz-vermelho foi a aplicação de 0,7 L ha⁻¹ do herbicida Only em pré-emergência, seguido da mesma dose em pós-emergência. Este tratamento proporcionou 100% de controle de arroz-vermelho, além de não prejudicar o estande inicial de plantas e proporcionar altas produtividades de grãos do arroz irrigado.

Palavras-chave: Sistema Clearfield, (imazethapyr + imazapic), clomazone, *Oryza sativa*

RED RICE CHEMICAL CONTROL IN RICE

ABSTRACT

Red rice (*Oryza* spp.) reduces rice (*Oryza sativa* L.) yield and quality. Field study was conducted with the objective of compare two tools to red rice control, the first using the Clearfield™ system and the second using Gamit™ in high rates associated with rice treated seeds to suppress red rice emergence. The treatments included: check control without herbicide application, three treatments for the herbicide Only™ (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) in the Cleafield system, and three Gamit treatments (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). The most efficient treatment for red rice control was the use of Cleafield system with the split application of Only (0.7 L ha⁻¹ PRE followed by 0.7 L ha⁻¹ POS). This treatment promoted 100% red rice control, without affecting plant stand and promoting high grain yield.

Key words: Clearfield System, (imazethapyr + imazapic), clomazone, *Oryza sativa*.

2.1 INTRODUÇÃO

O arroz-vermelho é a planta daninha que mais causa danos à lavoura orizícola gaúcha, por ocasionar redução da produtividade, apresentar dificuldade de controle, extensão e alto grau de infestação das áreas cultivadas. Além disso, ela provoca elevação do custo de produção e deprecia o valor comercial do produto final e das áreas cultivadas com arroz. Estimativas indicam que as perdas diretas decorrentes da competição com arroz-vermelho possam atingir 20% da produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul (Marchezan et al., 2004). Pesquisas anteriores mostram, ainda, que cada panícula de arroz vermelho m^{-2} reduz a produtividade de grãos de arroz em 16 a 18 kg ha^{-1} (Souza & Fischer, 1986; Avila et al., 1999).

Devido às semelhanças morfofisiológicas existentes entre o arroz cultivado e o arroz-vermelho, os herbicidas tradicionalmente utilizados na lavoura são ineficientes no controle dessa planta daninha. O degrane natural e o elevado grau de dormência das sementes de arroz-vermelho dificultam ainda mais o controle desta planta daninha (Noldin et al., 1999). Nesse contexto, buscam-se alternativas que minimizem a infestação do arroz-vermelho nas lavouras sem causar danos ao arroz cultivado.

Uma dessas alternativas, o Sistema Clearfield, foi desenvolvida inicialmente na Universidade de Louisiana (EUA) e consiste em plantas de arroz tolerantes a herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas (imazethapyr, imazapic, etc...). Nos EUA, independente da textura do solo, preconiza-se a aplicação seqüencial do imazethapyr, na dose de 70 g i.a. ha^{-1} em pré-plantio incorporado (PPI) ou pré-emergência (PRE), seguida da mesma dose em pós-emergência (POS), com o arroz no estágio de três a cinco folhas (Ottis et al., 2003). Já no Brasil, o Sistema Clearfield constitui-se na aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L^{-1} + imazapic 25 g i.a. L^{-1}) em arroz tolerante, sendo recomendada a dose de 1,0 L ha^{-1} do produto, aplicado em POS (Ministério da Agricultura, 2006).

Outra alternativa apresentada como útil, consiste na supressão de arroz-vermelho com a utilização do herbicida Gamit (clomazone). Zhang et al. (2004), pesquisando a tolerância de cultivares de arroz à aplicação de Gamit, verificaram que o herbicida pode injuriar algumas cultivares, resultando em redução da estatura de plantas e diminuição da produtividade de grãos da lavoura. Em função disso, utiliza-se sementes tratadas com protetor, agente químico que reduz a fitotoxicidade de herbicidas nas culturas, através de mecanismo fisiológico ou

molecular, sem comprometer a eficiência no controle de plantas daninhas (Hatzios & Burgos, 2004) e possibilitando o uso de doses maiores do herbicida. Preconiza-se, no Brasil, a aplicação de 3,0 L ha⁻¹ de Gamit (clomazone) em PRE, em sementes tratadas com o protetor Permit na dose de 1,0 kg do produto para cada 100 kg de sementes.

A busca de alternativas para o controle do arroz-vermelho é essencial na manutenção da rentabilidade da lavoura arrozeira. Contudo, são necessárias avaliações dessas alternativas, levando em consideração todos os aspectos do sistema produtivo, desde a eficiência de controle até seus possíveis efeitos no ambiente. Em vista disto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de controle de arroz-vermelho proporcionada pelo Sistema Clearfield e pela supressão de arroz-vermelho com utilização de clomazone em sementes tratadas com protetor.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Embrapa, 1999), com as seguintes características: pH_{água}(1:1) = 4,5; P = 6,9 mg dm⁻³; K = 55 mg dm⁻³; M.O. = 1,2 %; Ca = 2,5 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,3 cmol_c dm⁻³; Al = 1,4 cmol_c dm⁻³; e argila = 17 %.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com sete tratamentos (Tabela 1) e cinco repetições. As unidades experimentais mediram 5,0 x 4,0 m (20,0 m²) e área útil para estimativa da produtividade de grãos de 4,0 x 1,7 m (6,8 m²).

Para homogeneizar o banco de sementes de arroz-vermelho, foi incorporado ao solo 125 kg ha⁻¹ de sementes, obtendo-se população média de 219 plantas de arroz-vermelho m⁻². A cultivar IRGA 422 CL foi semeada em linhas espaçadas a 0,17 m, um dia após a incorporação das sementes de arroz-vermelho, em 28/10/2004, na densidade de 120 kg de sementes ha⁻¹, sendo que a emergência do arroz irrigado ocorreu aos 12 dias após a semeadura (DAS). A adubação de base foi realizada concomitantemente à semeadura do arroz irrigado, aplicando-se 7, 70 e 105 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Na adubação de cobertura, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicando-se a metade da dose no início do perfilhamento (V4) e o restante na iniciação da panícula (R₀), segundo escala de Counce et al. (2000). Juntamente com a segunda aplicação de N em cobertura, foram utilizados 500 g i.a. ha⁻¹ do inseticida carbofuran, para o controle do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

A aplicação dos herbicidas em PRE foi realizada dois DAS, utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de quatro pontas 11002 do tipo leque e calibrado para vazão de 125 L ha⁻¹. A aplicação em POS foi efetuada aos 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas do arroz cultivado encontrava-se no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho encontravam-se no estágio V5. Para aplicação em POS, utilizou-se o mesmo pulverizador referido, com vazão de 150 L ha⁻¹ e adição de 0,5% v.v. de óleo mineral emulsionável. A área foi inundada um dia após a aplicação do tratamento em POS, com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm de altura.

O estande inicial foi determinado aos 15 DAE, através da contagem da população de plantas em um metro linear da linha de semeadura. Neste local, efetuou-se a determinação do número de colmos de arroz aos 25, 37 e 49 DAE.

A avaliação de fitotoxicidade às plantas de arroz foi realizada aos 5, 12, 19, 26, 33, 40, 47 e 77 DAE e do controle de arroz-vermelho foi realizado na pré-colheita; os valores foram estimados visualmente usando uma escala de 0 a 100%, onde 0% corresponde a ausência de fitotoxicidade ou não-controle de arroz-vermelho e 100% correspondem a morte das plantas de arroz ou controle total do arroz-vermelho. Ainda na área demarcada para obtenção do estande inicial, determinou-se a estatura de plantas, o número de panículas por planta e coletou-se 10 panículas para obtenção do número de grãos por panícula, da massa de mil grãos e da esterilidade de espiguetas.

Para avaliar a produtividade de grãos, foi realizada colheita manual da área útil de cada parcela (6,8 m²), quando os grãos atingiram umidade média de 20%. Este material foi submetido à trilha, pesagem e determinação da umidade de colheita dos grãos, sendo esta última corrigida para 13%, para estimativa da produtividade. Separou-se uma amostra de 500 g por parcela, da qual se determinou o teor de impurezas. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem, com temperatura da massa de grãos de 40°C. De cada amostra, retirou-se 100 gramas de arroz com casca para fazer o beneficiamento em um processador de amostras (engenho de provas), obtendo-se, então, a porcentagem de grãos inteiros.

As variáveis determinadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$). Os dados de controle de arroz-vermelho foram transformados para $yt = \arcsen o\sqrt{(y+0,5)/100}$. Os demais dados em porcentagem foram transformados para $yt = \sqrt{y+1}$.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O controle de arroz-vermelho foi maior nos tratamentos com o herbicida Only (Tabela 1). O controle de 100% foi obtido com a aplicação de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em PRE, seguida de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, demonstrando que o tratamento constitui-se em uma alternativa eficiente para o controle da planta daninha. A aplicação sequencial de imazethapyr como melhor tratamento para o controle do arroz-vermelho também foi verificada por Steele et al. (2002) e Ottis et al. (2003), que apontam o controle total de arroz-vermelho, ou níveis próximos a 100%, com utilização de duas aspersões do produto, uma em PRE e outra em POS. Em contrapartida, o uso de maior dose de Only pode potencializar problemas de resíduos do herbicida no solo, resultando em prejuízos para o arroz semeado no ano seguinte, caso o produtor opte por uma cultivar não-tolerante, ou para o desenvolvimento de outras culturas, tais como azevém, sorgo e milho. Segundo Williams et al. (2002), a utilização de espécies não tolerantes pode ser comprometida caso o intervalo entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura da cultura em rotação não for observado. Nos EUA, onde o sistema Clearfield foi desenvolvido, recomenda-se a utilização do herbicida imazethapyr por dois anos consecutivos, deixando o solo em pousio por, no mínimo, um ano. De acordo com os mesmos autores, para o cultivo de arroz não-tolerante, preconiza-se que seja semeado a partir do 18º mês após a aplicação de imazethapyr.

Na dose recomendada de Only, $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, observou-se controle de arroz-vermelho em 96%, possibilitando a ocorrência de cruzamento entre o arroz-vermelho e a planta de arroz cultivado e comprometendo, assim, o sistema. Gealy et al. (2003) salientam a importância do controle total da planta daninha para evitar o cruzamento, minimizando o aparecimento de biótipos resistentes ao imazethapyr. Para evitar esses escapes de controle, segundo Steele et al. (2002), a aplicação do herbicida em PRE deve ser complementada por outra aplicação em POS. Além disso, outros aspectos do manejo devem ser levados em consideração, como a entrada da água na lavoura o mais cedo possível, para auxiliar no controle da planta daninha e na emergência de novas plantas.

O estande de plantas foi maior na testemunha e no tratamento sem aplicação de herbicida em PRE (Tabela 1). Esses tratamentos não diferenciaram da utilização de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em PRE, que apresentou estande com mais de $300 \text{ plantas m}^{-2}$, demonstrando que a aplicação sequencial não promove redução no estande de plantas. Contudo, o aumento da dose para $1,0 \text{ L ha}^{-1}$, aplicado em dose única, em PRE, ocasiona redução de 35% no estande, em relação à testemunha. A população de plantas foi influenciada, também, pelas doses do herbicida Gamit e pela utilização ou não de Permit nas sementes.

Tabela 1. Controle do arroz-vermelho na colheita (CAV), estande de plantas (EP), colmos por planta em dias após a emergência (DAE), estatura de planta na colheita (EPC), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE), produtividade de grãos (PG) e grãos inteiros (GI), em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only (imazethapyr + imazapic), utilizado na cultivar IRGA 422 CL, e à aplicação de doses altas do herbicida Gamit (clomazone) em sementes tratadas com Permit®. Santa Maria-RS, 2005.

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹		CAV (%) ^{6,7/}	EP (m ²)	Colmos por planta			EPC (cm)	NP (m ⁻²)	NEP	MMG (g)	EE (%) ^{11/}	PG (kg ha ⁻¹)	GI (%) ^{11/}
	PRE ^{1/}	POS ^{2/}			25 DAE ^{10/}	37 DAE ^{10/}	49 DAE ^{10/}							
Testemunha	0	0	0 f ^{8/}	392 a	2,1 ab	2,0 c	1,7 c	67 cd	317 d	53 c	25 c	42 a	2996 f	33 d
Only ^{3/}	0,7	0,7	100 a	319 abc	2,0 ab	3,9 ab	3,5 bc	71 abcd	680 a	69 abc	28 ab	17 b	7868 ab	63 a
Only	1,0	0	90 c	255 c	1,8 ab	3,5 bc	3,1 bc	78 a	457 cd	81 a	29 a	14 b	8411 a	62 a
Only	0	1,0	96 b	362 ab	1,7 ab	2,8 bc	3,2 bc	69 bcd	650 ab	62 bc	28 ab	18 b	7613 b	63 a
Gamit ^{4/} c/ Permit ^{5/}	3,0	0	63 e	292 bc	2,3 a	3,2 bc	2,8 bc	72 abc	502 bc	64 abc	27 abc	33 a	5424 d	53 c
Gamit c/ Permit	6,0	0	74 d	158 d	1,3 b	3,8 b	4,2 b	73 ab	395 cd	77 ab	28 a	35 a	6546 c	57 b
Gamit s/ Permit	3,0	0	---- ^{9/}	71 e	1,3 b	5,4 a	9,3 a	65 d	121 e	72 ab	25 c	34 a	3588 e	33 d
Média			70,5	264	1,8	3,5	4,0	71	446	68	28	28	6055	52
CV (%)			2,16	14,89	26,90	23,06	23,61	4,57	18,07	13,10	5,56	13,09	4,79	1,41

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V_s, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Mistura formulada de imazethapyr (75 g i.a. L⁻¹) + imazapic (25 g i.a. L⁻¹); ^{4/} Clomazone (500 g i.a. L⁻¹); ^{5/} 0,0-dietil-0-fenil fosforotioato (500 g i.a. kg⁻¹); ^{6/} Controle de arroz-vermelho foi avaliado visualmente em percentagem, onde 0 corresponde a ausência de controle e 100 para controle total; ^{7/} Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \arcsen \sqrt{(y + 0,5)/100}$; ^{8/} Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P ≥ 0.05).; ^{9/} ---- Tratamento não avaliado em função do grande desenvolvimento das plantas de arroz-vermelho devido ao baixo estande de plantas; ^{10/} Dias após a emergência do arroz; ^{11/} Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y + 1}$, (dados apresentados são valores não transformados).

A aplicação de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida, com tratamento de sementes, apresentou estande 85% maior que a utilização do dobro da dose em sementes tratadas e 311% maior que a aplicação da mesma dose sobre sementes não-tratadas com Permit. Este tratamento apresentou também maior fitotoxicidade ao arroz irrigado avaliada aos cinco DAE (Figura 1). Observa-se, assim, a necessidade do uso de protetor de sementes quando da aplicação de altas doses de Gamit (Hatzios & Burgos, 2004).

Além do efeito no estande, a fitotoxicidade afetou o número de colmos por planta, aos 25 DAE. Nessa data, os tratamentos com redução no número de colmos, aplicação de $6,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit com Permit e $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem protetor, são os que causaram maior intoxicação nas plantas (Figura 1). Em contrapartida, na avaliação realizada aos 37 DAE, a utilização de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem Permit apresentou o maior número de colmos, indicando que a emissão de perfilhos ocupou o espaço deixado pelo menor estande e evidenciando também a recuperação da fitotoxicidade nas plantas restantes. Yoshida (1981) afirma que as plantas de arroz podem compensar o menor estande através da emissão de um maior número de colmos.

Ainda na avaliação realizada aos 37 DAE, a testemunha apresentou menor número de colmos por planta, provavelmente devido à competição com o arroz-vermelho, que apresenta maior capacidade de perfilhamento que as plantas de arroz (Diarra et al., 1985), competindo por espaço físico com o arroz cultivado (Marchezan, 1994). Na última avaliação, realizada aos 49 DAE, o maior e o menor número de colmos corresponderam aos mesmos tratamentos da segunda avaliação e os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si.

As maiores estaturas de plantas, por sua vez, foram observadas nos tratamentos com aplicação do herbicida Only em PRE e Gamit com utilização de Permit nas sementes. Quanto aos tratamentos com Only, verificou-se uma diferença de 9 cm na estatura de plantas entre a utilização de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em PRE e a aplicação de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, tratamentos que apresentaram, respectivamente, maior e menor estatura. Essa diferença pode ser atribuída à maior fitotoxicidade da aplicação de Only em POS ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$), aos 77 DAE (Figura 1). Masson & Webster (2001) também observaram redução visível na altura do arroz como resultado da fitotoxicidade provocada pelos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. Dentre todos os tratamentos, as menores estaturas de plantas foram obtidas na aplicação de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem Permit e na testemunha, sendo ambas as reduções atribuídas à competição com o arroz-vermelho e, no caso do tratamento sem utilização de protetor, também em função da alta fitotoxicidade ocasionada pela aplicação do Gamit (Figura 1).

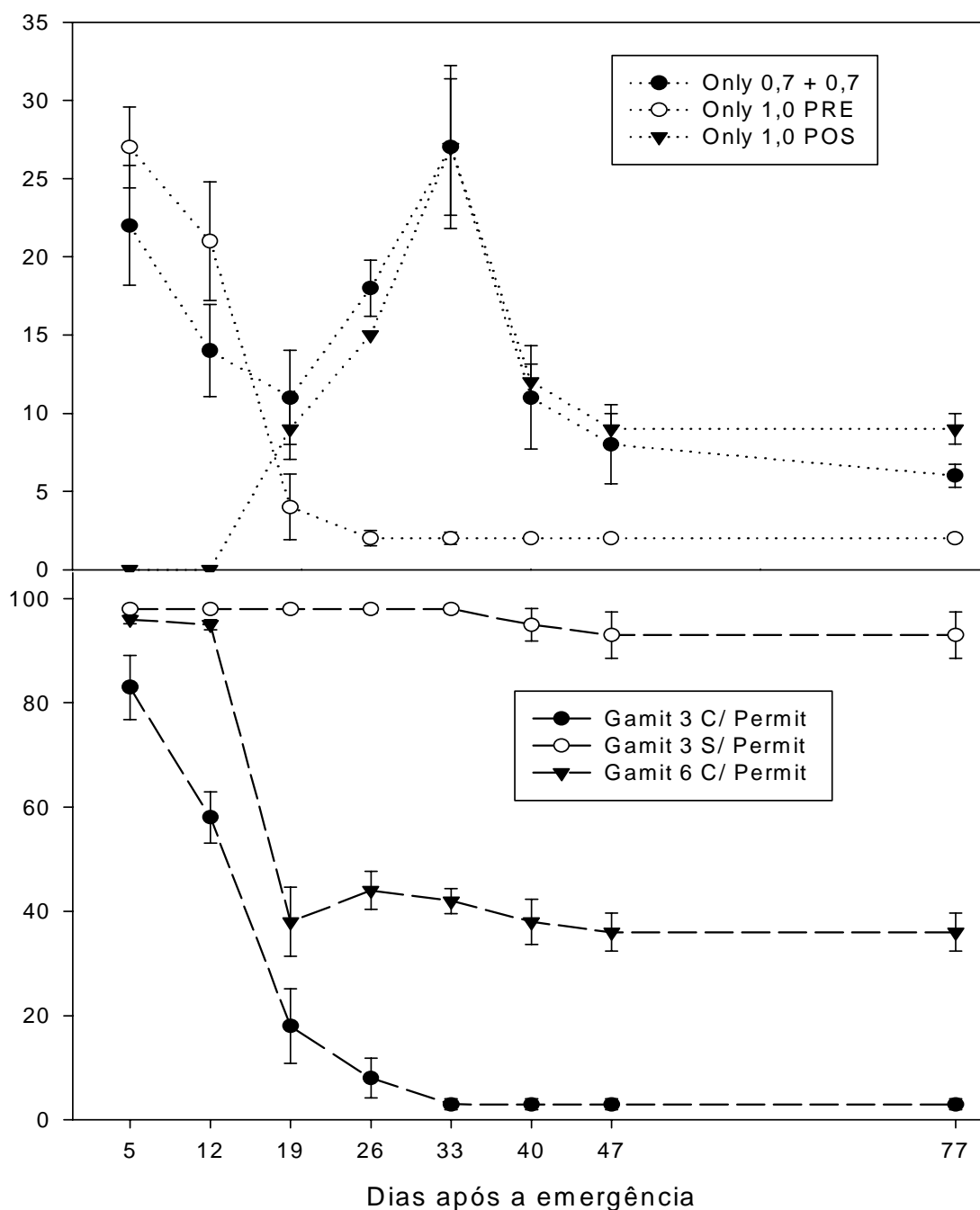


Figura 1. Fitotoxicidade dos tratamentos para o controle de arroz-vermelho sobre a cultivar IRGA 422CL. Legenda: PRE = Aplicação em pré-emergência; POS = Aplicação em pós-emergência, (Only 0,7 + 0,7) = Only 0,7 L ha⁻¹ PRE + 0,7 L ha⁻¹ POS; (Only 1,0 PRE) = Only 1,0 L ha⁻¹ PRE; (Only 1,0 POS) = Only 1,0 L ha⁻¹ POS; (Gamit 3 C/ Permit) = Gamit 3,0 L ha⁻¹ com Permit; (Gamit 3 S/ Permit) = Gamit 3,0 L ha⁻¹ PRE sem Permit; (Gamit 6 C/ Permit) = Gamit 6,0 L ha⁻¹ PRE com Permit; As barras verticais representam 95% de intervalo de confiança. Santa Maria, RS. 2006.

A avaliação dos componentes da produção de grãos demonstrou que o número de panículas m^{-2} esteve diretamente relacionado ao estande de plantas. Os tratamentos com maior número de panículas foram a aplicação de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em PRE, seguida de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, e utilização de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em POS, que obtiveram também as maiores populações de plantas. Essa relação entre estande e número de panículas só não foi observada na testemunha, onde a competição por espaço físico com o arroz-vermelho prejudicou o desenvolvimento do arroz. Balbinot Jr. et al. (2003) também citam a relação entre o controle da planta daninha e o número de panículas m^{-2} , afirmando que menores números de colmos por planta de arroz são obtidos quando estas se encontram em competição com o arroz-vermelho, resultando em menor número de panículas m^{-2} .

Para o número de espiguetas por panícula, observa-se que a aplicação dos tratamentos em PRE, tanto para Only quanto para Gamit, não teve efeito na variável. Já a aplicação da dose recomendada, $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em POS, diminuiu o número de espiguetas. A testemunha, por sua vez, foi o tratamento que obteve o menor número de espiguetas por panícula, o que pode ter decorrido do sombreamento das plantas de arroz-vermelho sobre as plantas de arroz cultivado, relação já observada por Balbinot Jr. et al. (2003).

Os tratamentos afetaram também a esterilidade de espiguetas e a porcentagem de grãos inteiros do arroz; tratamentos com menos de 90% de controle da planta daninha apresentaram maior esterilidade de espiguetas e menor porcentagem de grãos inteiros. Neste contexto, os tratamentos com Only apresentaram maior quantidade de grãos inteiros, por terem obtido maior grau de controle de arroz-vermelho. Já os tratamentos com Gamit ocasionaram o dobro de espiguetas estéreis em relação às aplicações de Only, fator fundamental para a menor produtividade de grãos encontrada naqueles tratamentos. Quanto à massa de mil grãos, a testemunha e a utilização de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem Permit, tratamentos com maior infestação de arroz-vermelho, apresentaram também menor massa. O aumento na esterilidade de espiguetas, assim como a diminuição da massa de mil grãos, podem ser explicados pela interceptação da luz ocasionada pela maior estatura das plantas de arroz-vermelho, prejudicando o enchimento dos grãos de arroz (Balbinot Jr. et al, 2003).

Os resultados obtidos no experimento demonstram também que a produtividade de grãos foi maior com a aplicação de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em PRE, tratamento que resultou em 8411 kg ha^{-1} , apesar da redução do estande e do número de panículas por m^{-2} , decorrentes da aplicação do herbicida. A utilização sequencial de Only produziu 7868 kg ha^{-1} , não diferindo significativamente da maior produtividade. Já a aplicação do herbicida somente em POS, na dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$, apresentou menor produtividade em relação à aplicação da mesma dose

somente em PRE, o que pode ter decorrido da maior fitotoxicidade no arroz aos 77 DAE (Figura 1) e conseqüente diminuição do número de espiguetas por panículas. Esse dado confirma resultados obtidos por Steele et al. (2002), que indicam redução na produtividade do arroz com o acréscimo das taxas de imazethapyr em POS de 52 para 70 g i.a. ha⁻¹.

A produtividade de grãos foi menor nos tratamentos com Gamit, em comparação à utilização de Only. Dentre as aplicações de Gamit, verificou-se maior produtividade no tratamento em que foi utilizado Permit, o que pode ser explicado pelo maior estande e estatura de plantas, maior número de panículas m⁻² e maior massa de mil de grãos, proporcionados pela aplicação do protetor de sementes. A alta competição do arroz-vermelho com o arroz cultivado afetou negativamente a produtividade de grãos da testemunha, tratamento que obteve redução de 64% na produtividade em relação à maior produtividade de grãos obtida.

Em geral, a fitotoxicidade no arroz foi maior na aplicação de Gamit, em comparação com a utilização de Only (Figura 1). Os resultados encontrados demonstram que não houve relação direta entre a fitotoxicidade e o controle de arroz-vermelho, pois mesmo resultando em maior fitotoxicidade às plantas de arroz, os tratamentos com o herbicida Gamit apresentaram menor controle da planta daninha. Quanto à aplicação de Gamit, o tratamento sem a utilização de Permit apresentou a maior fitotoxicidade, aos 77 DAE. Nessa avaliação, houve diferença ainda entre as doses utilizadas em PRE, sendo que a aplicação de 3,0 L ha⁻¹ de Gamit com Permit obteve menor fitotoxicidade que a aplicação do dobro dessa dose. A recuperação da fitotoxicidade das plantas, para ambas as doses, ocorreu aos 19 DAE.

Já a fitotoxicidade do Only atingiu valores próximos a 25% em todas as doses e épocas de aplicação do herbicida. Essa alta fitotoxicidade pode estar relacionada à baixa temperatura no período inicial de desenvolvimento da cultura pois, segundo Malefyt & Quakenbush (1991), o metabolismo parece ser um fator importante na tolerância do arroz a imidazolinonas e a temperatura influencia na taxa de metabolismo. Também Masson & Webster (2001) apontam temperaturas mais baixas como responsáveis pela diferença na fitotoxicidade do arroz em dois anos consecutivos. Segundo os autores, uma menor injúria foi encontrada sob o período de temperaturas mais altas.

Em relação aos tratamentos com Only, as doses de 0,7 L ha⁻¹ e 1,0 L ha⁻¹, em PRE, proporcionaram maior fitotoxicidade às plantas aos 5 DAE, alcançando a recuperação aos 19 DAE. Já para as aplicações em POS, nas doses de 0,7 L ha⁻¹ e 1,0 L ha⁻¹, observou-se maior fitotoxicidade aos 33 DAE, ou seja, 17 dias após a aplicação do produto, tendo a planta se recuperado visualmente da intoxicação aos 40 DAE (Figura 1). Tais resultados evidenciam que, a partir da maior fitotoxicidade, a recuperação mais rápida da planta se dá nas aplicações

em POS, possivelmente em função da planta estar em estágio de maior desenvolvimento, tornando seu metabolismo mais eficiente na desintoxicação do herbicida.

Quanto às épocas e doses de aplicação, o experimento demonstra que, aos 77 DAE, a menor fitotoxicidade foi obtida com a utilização do herbicida Only somente em PRE, seguida da aplicação sequencial (PRE+POS). Já a maior fitotoxicidade foi encontrada na aplicação somente em POS. Hackworth et al. (1998) e Steele et al. (2000) também afirmam que a injúria causada pelo imazethapyr é mais severa com a aplicação em POS, se comparado à aplicação em PRE. Em relação à dose utilizada, Steele et al. (1999) relatam ainda aumento da fitotoxicidade no arroz tolerante a imidazolinonas com o aumento da dose de 70 para 175 g i.a. ha⁻¹ em POS.

2.4 CONCLUSÕES

Para o controle do arroz-vermelho na lavoura de arroz irrigado, a utilização do Sistema Clearfield é mais eficiente que a aplicação de Gamit associado ao protetor de sementes. A aplicação de 0,7 L ha⁻¹ de Only em PRE, seguida da mesma dose em POS, apresenta controle de 100% da planta daninha, não prejudica o estande de plantas e não se diferencia da maior produtividade de grãos obtida no ensaio. Quanto ao tratamento referência do produto, 1,0 L ha⁻¹ de Only em POS, observa-se que não houve controle total do arroz-vermelho, possibilitando escape da planta daninha, o que pode resultar em seu cruzamento com o arroz cultivado, gerando biótipos de arroz-vermelho tolerantes ao herbicida.

2.5 LITERATURA CITADA

AVILA, L. A. et al. Interferência do arroz-vermelho sobre o arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.594-596.

BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.53-59, 2003.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.

DIARRA, A.; SMITH JUNIOR, R.J.; TALBERT, R. E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n.3, p. 310-314, 1985.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p. 412.

GEALY, D. R.; MITTEN, D. H.; RUTGER, J. N. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v.17, n.3, p.627-645, 2003.

HACKWORTH, H. M.; SAROKIN, L. P.; WHITE, R. H. 1997 field evaluation of imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 51:221. 1998.

HATZIOS, K. K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v. 52, n.3, p.454-467, 2004.

MALEFYT, T.; QUAKENBUSH, L. Influence of environmental factors on the biological activity of the imidazolinone herbicides. In: SHANER, D. L. & O'CONNER, S. L. eds. The Imidazolinone Herbicides. **Boca Raton, FL: CRC Press**. pp.104-127. 1991.

MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.2, p.415-421, 1994.

MARCHEZAN, E. et al. Controle do arroz-vermelho. In: GOMES, A. S; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de (ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília/DF: Embrapa Informação, 2004. p.547-577.

MASSON, J. A. & WEBSTER, E. P. Use of Imazethapyr in Water-Seeded Imidazolinone-Tolerant Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**. v.15, p.103-106. 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 21 de outubro de 2006.

NOLDIN, J.A.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, p.12-18, 1999.

OTTIS, B.V.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, p.526-533, 2003.

SOUZA, P. R.; FISCHER, M. M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 39, nº 368, p. 19-20, 1986.

STEELE, G.L.; CHANDLER, J. M.; MCCAULEY, G. N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, p.627-630, 2002.

STEELE, G. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 53:19. 2000.

STEELE, G. L.; CHANDLER, J. M.; MCCAULEY, G. N. Evaluation of imazethapyr rates and application times on red rice (*Oryza sativa*) control in imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 52:237. 1999.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst., 269p, 1981.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v.45, p.16-17, 2002.

ZHANG, W. Differential Tolerance of Rice (*Oryza sativa*) Varieties to Clomazone. **Weed Technology**, v.18, 2004.

3. PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E CLOMAZONE NA LÂMINA DE ÁGUA DA LAVOURA DO ARROZ IRRIGADO

RESUMO

Os herbicidas, agroquímicos altamente utilizados na lavoura orizícola, podem persistir no solo ou ser carregados para fora da área, contaminando os mananciais hídricos à jusante da lavoura. Em vista disso, o presente trabalho visa estimar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura arrozeira. Para tanto, constituiu-se um ensaio com diferentes doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) e Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). Os resultados obtidos no experimento demonstram que as concentrações iniciais de clomazone foram maiores que as de imazethapyr na lâmina da água. No entanto, o período de detecção dos herbicidas na água de irrigação foi mais longo para o imazethapyr que para o clomazone. A meia-vida do imazethapyr na lâmina da água foi de 9,8 e a do clomazone foi de 25 dias.

Palavras-chave: imazethapyr, clomazone, residual na água.

IMAZETHAPYR AND CLOMAZONE PERSISTENCE IN RICE PADDY WATER

ABSTRACT

Herbicides, agrochemicals heavily used in rice fields, can persist in soil and be carried away from the application site and contaminate the environment. An experiment was conducted to estimate imazethapyr and clomazone persistence in rice paddy water. The treatments included, application of Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) and Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). The initial clomazone concentration was higher than imazethapyr, but the period of herbicide detection in water was longer for imazethapyr. Imazethapyr half-life in paddy water was 9,8 days and clomazone half-life was 25 days.

Key words: imazethapyr, clomazone, herbicide residue.

3.1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável de reservas limitadas e demanda crescente. A agricultura demanda grande consumo de água, sendo responsável pela extração anual de 69% da água no mundo (FAO, 2003). Além dessa alta demanda, a agricultura ainda oferece riscos de contaminação dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos devido ao uso de agroquímicos nas lavouras. Nos Estados Unidos, estima-se que de 50 a 60% da carga poluente de lagos e rios provenha de práticas agrícolas (Gburek & Sharpley, 1997).

A lavoura de arroz irrigado é um dos sistemas de produção que mais demanda por água. No Rio Grande do Sul, são utilizados anualmente cerca de 1 milhão de hectare para a cultura do arroz, sendo usados em média 5.374 a 6.422 m³ de água por hectare de arroz (Machado et al. 2006). Além disso, para maior produtividade da lavoura, o uso de agroquímicos têm sido largamente empregado, ocasionando especulações acerca da responsabilidade da lavoura orizícola na contaminação dos mananciais hídricos.

Amplamente utilizados na lavoura de arroz, os herbicidas, quando na água, espalham-se por todo o meio líquido, o que torna difícil conter sua dispersão e inativar sua ação sobre outros organismos. Esses produtos se movimentam no ambiente por escoamento superficial, lixiviação, translocação pelas plantas e volatilização, sendo então degradados através de processos químicos, físicos e biológicos. Os processos químicos ocorrem principalmente no ar e na água (por oxidação, redução, hidrólise e fotólise). Já os processos biológicos se dão preferencialmente no solo, através de organismos vivos que promovem biodegradação. Fatores como temperatura, umidade, tipo de solo, presença de matéria orgânica e modo de aplicação do herbicida podem influenciar na dissipação dos herbicidas no ambiente. Além disso, Gebler & Spadotto (2004) relatam que as propriedades intrínsecas do produto (estrutura molecular, princípio ativo e características físico-químicas) são fundamentais para o processo de dissipação dos herbicidas na atmosfera, no solo, na água e na biota.

O herbicida Only, que é a mistura formulada de imazethapyr {2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-ethyl-3-pyridinecarboxylic acid} e imazapic {2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-methyl-3-pyridine-carboxylic acid} (75 g i.a. L⁻¹ e 25 g i.a. L⁻¹, respectivamente) é um dos herbicidas mais utilizados na lavoura orizícola gaúcha, para o controle do arroz-vermelho. Essas duas moléculas herbicidas pertencem ao grupo químico das imidazolinonas e são caracterizados pela eficácia em baixas doses, pelo largo espectro de controle de plantas daninhas e pela longa persistência no solo (Shaw & Wixson, 1991; Loux & Reese, 1993). Estudos indicam que a

persistência desses herbicidas no solo é influenciada pelas propriedades do solo, como o pH (Loux & Reese, 1992), a umidade (Baughman & Shaw, 1996) e o teor de matéria orgânica (Stougaard et al., 1990). Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas apresentam como principais mecanismos de dissipação a degradação microbiana (Goetz et al., 1990) e a decomposição fotolítica, especialmente quando expostos à luz ultravioleta (Mallipudi et al., 1991). Tanto o imazethapyr, quanto o imazapic, sofrem limitada biodegradação sob condições anaeróbicas (Vencill, 2002).

O herbicida clomazone {2-[(2-clorobenzil)]-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona}, outro agroquímico utilizado em lavouras de arroz, tem sua atividade influenciada fortemente por fatores do solo, incluindo a matéria orgânica e a porcentagem de argila (Loux & Slife 1989). A meia-vida do clomazone no solo varia de 5 a 117 dias, dependendo do tipo do solo e das circunstâncias ambientais (Curran et al. 1992; Kirksey et al. 1996; Mervosh et al. 1995). Vencill (2002) relata que a persistência do clomazone é menor em solos arenosos que em solos argilosos. A degradação do clomazone é mais rápida em condições anaeróbicas que em condições aeróbicas (Vencill, 2002); em solo aeróbico, a meia-vida do herbicida varia de 90 a 276 dias e, em solo anaeróbico, sua meia-vida média é de 60 dias (California Department of Pesticides Regulation, 2003).

Em grande parte das lavouras de arroz, a aplicação dos herbicidas é seguida pela inundação da área e, dependendo do manejo de água adotado e da precipitação pluvial, os herbicidas podem persistir por maior tempo no ambiente e podem ser carregados para fora da área, contaminando os mananciais hídricos à jusante da lavoura. Logo, são necessários estudos que avaliem o destino dos herbicidas aplicados na lavoura de arroz. Em vista disso, o presente trabalho visa estimar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura arrozeira.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM. O solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{água}}(1:1) = 4,5$; $\text{P} = 6,9 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 55 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 1,2\%$; $\text{Ca} = 2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e argila = 17%. O clima é classificado como subtropical úmido, classe 'Cfa', sendo que as temperaturas mínimas, máximas e médias, a insolação e a precipitação verificadas durante o período de ensaio seguem descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Temperaturas mínimas, máximas e médias, insolação e precipitação pluvial, por decêndio, ocorridas durante o período de detecção dos herbicidas Only e Gamit na lâmina d'água do experimento. Santa Maria, RS. 2006.

Mês	Decêndios	Temperatura (°C)			Insolação (horas)	Precipitação (mm)
		Máxima	Mínima	Média		
Outubro	01 – 10	25,5	10,9	18,2	10,1	4,4
	11 – 20	24,7	13,2	19,0	7,2	94,3
	21 – 31	26,8	12,3	19,6	8,6	21,0
Novembro	01 – 10	25,9	14,7	20,3	5,2	123,6
	11 – 20	25,7	14,9	20,3	8,5	24,1
	21 – 30	27,7	15,4	21,6	6,2	0,0
Dezembro	01 – 10	30,5	19,7	25,1	6,5	29,0
	11 – 20	30,2	16,7	23,5	9,7	32,8
	21 – 31	30,5	17,0	23,7	10,7	0,4
Janeiro	01 – 10	21,8	34,9	28,3	8,0	14,1
	11 – 20	19,2	33,2	26,2	10,4	35,7
	21 – 31	18,6	32,4	25,5	8,6	0,0

*Dados coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria/RS/Brasil.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, contendo 4 tratamentos e 5 repetições, com unidades experimentais medindo 5,0 x 4,0 m (20,0 m²). Os tratamentos foram constituídos de doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) e Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹): aplicação de 52,5 g ha⁻¹ de imazethapyr em pré-emergência (PRE), seguido de 52,5 g ha⁻¹ de imazethapyr em pós-emergência (POS); aplicação de 75 g ha⁻¹ de imazethapyr em PRE, sem aplicação em POS; aplicação de 75 g ha⁻¹ de imazethapyr em POS, sem aplicação em PRE e aplicação de 1500 g ha⁻¹ de clomazone em PRE.

O preparo do solo foi realizado no sistema convencional, consistindo em duas gradagens pesadas e três gradagens leves para nivelamento do terreno. A cultivar IRGA 422 CL foi semeada em linhas espaçadas a 0,17 m, em 28/10/04, na densidade de 120 kg de sementes ha⁻¹, sendo que a emergência do arroz ocorreu aos 12 dias após a semeadura (DAS). Juntamente à semeadura do arroz, foi realizada a adubação de base aplicando-se 7, 70 e 105 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Para a adubação de cobertura, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, aplicando-se a metade da dose no início do

perfilhamento (V4) e o restante na iniciação da panícula (R0), segundo escala de Counce et al. (2000). Juntamente com a segunda aplicação de N em cobertura, foram utilizados 500 g i.a. ha⁻¹ do inseticida carbofuran, para o controle de larvas do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

A aplicação do herbicida em PRE foi efetuada dois DAS, utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas 11002 do tipo leque, calibrado para aplicar uma vazão de 125 L ha⁻¹. A aplicação em POS foi efetuada aos 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas do arroz cultivado encontrava-se no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho encontravam-se no estágio V5. Para aplicação em POS, utilizou-se o mesmo pulverizador acima referido, com vazão de 150 L ha⁻¹ e adição de 0,5% vv de óleo mineral emulsionável. A inundação da área foi realizada um dia após a aplicação do tratamento em POS, com lâmina d'água de 10 cm de altura, aproximadamente. Em cada parcela havia entrada e saída de água individual, como forma de evitar a contaminação entre os tratamentos, sendo a irrigação mantida durante todo o ciclo da cultura.

Durante o período entre a aplicação dos herbicidas em PRE e a entrada d'água na lavoura ocorreram precipitações cujos volumes de água não demandaram de drenagem nas parcelas. No entanto, aos 11 dias após a aplicação dos tratamentos em PRE, devido à precipitação de 63 mm, realizou-se coleta d'água, para detecção dos resíduos de herbicidas na água da chuva, e posterior drenagem das parcelas. Foram realizadas ainda coletas de água, em cada parcela, no 1º, 2º, 3º, 5º, 7º, 10º, 14º, 21º, 28º, 35º, 42º, 49º, 56º e 62º dia após a inundação do ensaio, sendo que o período entre a aplicação dos tratamentos em PRE e a entrada de água foi de 26 dias. Depois de coletadas, as amostras foram armazenadas em frasco de vidro âmbar, acidificadas com H₃PO₄ 1:1 (v.v.⁻¹) e, sob refrigeração, transportadas para a análise química no Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas (LARP) do Departamento de Química da UFSM para análise seguindo metodologia descrita Zanella et al. (2003). Alíquota de 250 mL de amostra foi acidificada e pré-concentrada em cartuchos contendo 200 mg de C₁₈, sendo a eluição executada por duas vezes com 500 µL de metanol. A detecção e a quantificação dos herbicidas foram realizadas utilizando-se HPLC-UV, a 220 nm, munidas de uma coluna Bondesil C₁₈ (250×4,6 mm i.d; 5 µm), com fase móvel constituída de metanol e água (60:40 vv⁻¹), ajustada a pH 4,0 com ácido fosfórico, com vazão de 0,8 mL min⁻¹. O logaritmo natural da concentração restante do imazethapyr [ln (C/Co)] foi calculado e, através da plotagem deste valor com o tempo em horas, foi obtida a constante da taxa de dissipação dos herbicidas na água (k_p). Os valores da meia-vida dos herbicidas foram

calculados usando a equação:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k_p}$$

sendo k_p o valor absoluto da inclinação e a constante a taxa de dissipação dos herbicidas na água. As constantes da taxa de dissipação dos herbicidas foram submetidas a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações iniciais de clomazone na água de irrigação foram maiores que as concentrações de imazethapyr, visto que a dose inicial de clomazone foi maior. No entanto, o período de detecção dos herbicidas na água de irrigação foi maior para o imazethapyr que para o clomazone. A maior persistência de imazethapyr foi observada com a aplicação de 52,5 g ha⁻¹ de imazethapyr, em PRE + POS, com níveis detectáveis em água até 27 dias após a entrada d'água no experimento (Tabela 3).

Tabela 3. Concentração dos herbicidas imazethapyr e clomazone na água de irrigação do arroz, período de detecção (PD), constante da taxa de dissipação (k) e meia-vida dos herbicidas na água ($t_{1/2}$). Santa Maria, RS. 2006.

Tratamentos	Doses g ha ⁻¹		Concentração (µg L ⁻¹)				PD (dias)	k	$t_{1/2}$ (dias)
	PRE ^{1/}	POS ^{2/}	1º AC ^{3/}	1º EA ^{4/}	7º dia ^{5/}	Final ^{6/}			
imazethapyr ^{7/}	52,5	52,5	6,12	11,4	8,44	0,6	27	0,1126 a	6,2
imazethapyr	75	0	15,1	3,68	4,86	1,7	13	0,0739 b	9,8
imazethapyr	0	75	0	18,9	12,1	1,6	20	0,1142 a	6,1
clomazone ^{8/}	1500	0	87,48	16,4	18,8	15	13	0,0329 c	25,1

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} aplicação em pós-emergência; ^{7/} Imazethapyr (75 g i.a. L⁻¹); ^{8/} clomazone (500 g i.a. L⁻¹); ^{3/} AC = amostra da coleta da água realizada após forte chuva, o limite de quantificação do procedimento analítico após a etapa de pré-concentração foi de 0,1 µg.L⁻¹ para o clomazone e 0,5 µg.L⁻¹ imazethapyr, atendendo as exigências da legislação. ^{4/} EA = coleta realizada no 1º dia de entrada d'água no ensaio; ^{5/} coleta realizada no 7º dia após a entrada d'água; ^{6/} concentração final do herbicida em sua última coleta com resíduo.

Resultados similares foram encontrados por Marcolin et al. (2003), que verificaram concentração detectável de imazethapyr na lâmina d'água até os 30 dias após sua aplicação. Já a detecção de clomazone foi observada até 13 dias após a entrada da água, comportamento similar à aplicação somente em PRE de imazethapyr, na dose de 75 g ha⁻¹. Machado et al. (2003) encontraram persistência de 28 dias do clomazone na lâmina de água, para condições edafoclimáticas do RS.

A primeira coleta da água do ensaio para avaliação foi realizada aos 12 dias após a aplicação dos herbicidas em PRE, depois da ocorrência de uma precipitação de 63 mm,

correspondente a 50% do volume de chuvas do primeiro decênio de novembro (Tabela 2). Nessa coleta, detectou-se 6 e 15 $\mu\text{g L}^{-1}$ do herbicida imazethapyr, aplicado em PRE, nas doses de 52,5 e 75 g ha^{-1} , respectivamente, e 87 $\mu\text{g L}^{-1}$ do herbicida clomazone (Tabela 3). Tais resultados permitem inferir que a aplicação dos herbicidas em PRE, com a ocorrência de forte precipitação, pode ocasionar extravasamento de resíduos dos herbicidas para mananciais hídricos próximos à lavoura.

A concentração do herbicida decresceu, tanto para o imazethapyr quanto para o clomazone, em função do tempo (Figuras 2B e 2C). Esse decréscimo, no período que antecedeu a entrada d'água no ensaio, pode ser explicado pela existência de condições climáticas favoráveis à degradação dos herbicidas, tais como precipitações, insolação e temperatura (Tabela 2). Durante o período entre a aplicação do imazethapyr em PRE e a entrada d'água, a média de temperatura ficou em 20°C (Tabela 2) e as precipitações ocorridas proporcionaram umidade ao solo, fatores que podem ter favorecido a degradação do imazethapyr através de microorganismos, que se desenvolvem sob temperaturas de 20 a 30°C e alta umidade no solo. Também o clomazone sofre degradação microbiana em solos úmidos e sob altas temperaturas (Ministério do Ambiente da Colômbia, 2005). As características do solo podem ter influenciado também a degradação do clomazone e do imazethapyr, no período entre a aplicação do herbicida em PRE e a entrada d'água no experimento (Figura 2A). Em solo arenoso, a degradação do clomazone é mais rápida, devido a sua disponibilidade na solução do solo. Cumming & Doyle (2002), avaliando quatro tipos diferentes de solo, encontraram maior persistência do clomazone em solo com mais argila. Valores baixos de percentagem de argila (arenoso) e matéria orgânica também contribuem na dissipação do imazethapyr, pois o torna menos persistente no solo e mais disponível na solução do solo (Avila, 2005). Ainda segundo o mesmo autor, maior quantidade de água na solução do solo facilita a diluição do herbicida e sua mobilidade, diminuindo, com isso, sua concentração.

Em contrapartida, a elevada solubilidade do imazethapyr, com as precipitações do período, pode ter facilitado sua percolação, proporcionando concentrações mais altas do herbicida em camadas mais profundas do solo, onde a degradação microbiana não é tão eficiente. Estudos indicam que o imazethapyr, em solos não-revolvidos, move-se na coluna do solo até 30 cm (O'Dell et al. 1992). O imazethapyr é adsorvido fortemente em pH baixo (Che et al., 1992; Gennari et al., 1998), tornando-se menos móvel e mais persistente no solo (Loux & Reese, 1993). A sorção tem, portanto, forte impacto na distribuição, biodisponibilidade e persistência de herbicidas no ambiente.

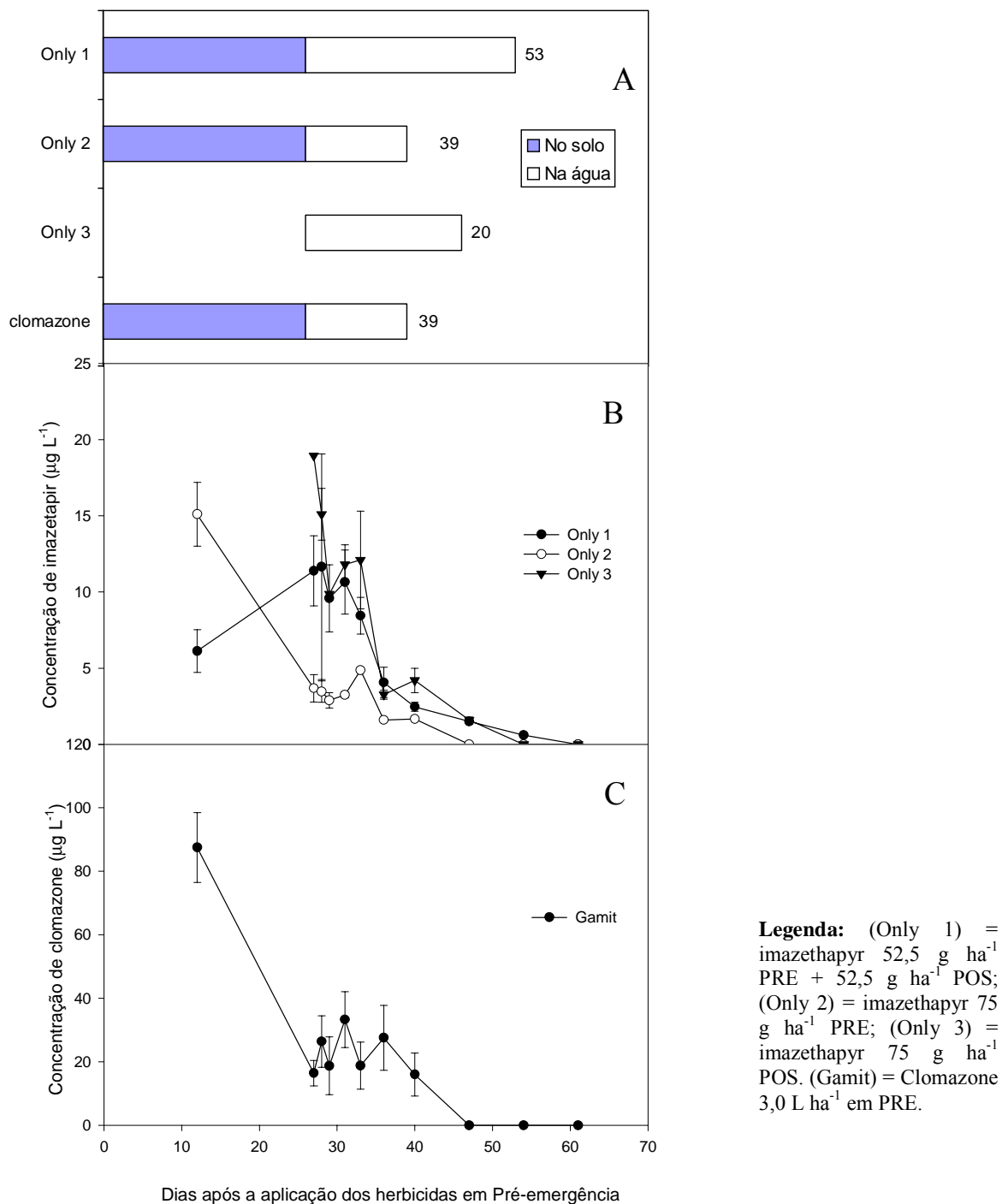


Figura 2. A: Presença dos herbicidas imazethapyr e clomazone no solo e período de detecção desses herbicidas na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. B: Período de detecção do herbicida imazethapyr na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. C: Período de detecção do herbicida clomazone na água de irrigação do arroz. As barras verticais representam 95% de intervalo de confiança. Santa Maria, RS. 2006.

Para o clomazone, a volatilidade é outro fator que contribui em sua dissipação. Além de possuir elevada pressão de vapor, o que proporciona alta volatilidade, a umidade do solo, decorrente das precipitações no período, pode ter acelerado as perdas do herbicida por volatilização. Thelen et al. (1988) encontraram perdas de clomazone por volatilização com o aumento da umidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Cumming & Doyle (2002), que citam as perdas por vapor, em local de elevada umidade no solo.

Os fatores acima expostos (precipitações, características do solo e propriedades físico-químicas dos herbicidas) podem ter ocasionado a redução da concentração do imazethapyr e do clomazone encontrada na coleta realizada logo após a entrada d'água no experimento, que ocorreu 26 dias após a aplicação dos herbicidas em PRE. Com a inundação da área, outros fatores influenciaram na degradação dos herbicidas, até estes alcançarem sua concentração mínima detectável na água (Tabela 3). O herbicida que apresentou maior meia-vida na água foi o clomazone. Estudos demonstram que, dissolvido em água, tal herbicida não degrada facilmente sob a luz, apresentando meia-vida de 30 dias (California Department of Pesticides Regulation, 2003). Logo, a decomposição do clomazone na água pode ser explicada pelo fato de o herbicida ser rapidamente degradado em condições anaeróbicas. O Departamento de Pesticidas da Califórnia (2003) relata forte persistência do clomazone no solo, sob condições aeróbicas; contudo, sob condições anaeróbicas, a degradação do clomazone é acelerada.

Quanto ao herbicida imazethapyr, sua aplicação em PRE apresentou a maior meia-vida, entre as doses e épocas de sua aplicação. Para o imazethapyr, a fotólise é um dos principais mecanismos de sua dissipação em condições anaeróbicas, já que a degradação microbiana do herbicida, nessas condições, é quase insignificante (Vencill, 2002). A fotólise, por sua vez, é mais eficiente sob intensa insolação, condição satisfeita no período de detecção do herbicida na lâmina de água, devido à ocorrência de poucas precipitações (Tabela 2). Logo, a menor meia-vida do imazethapyr na aplicação somente em POS pode ter decorrido do fato de o herbicida ter disposto de menor tempo para reações com o solo antes da entrada d'água, o que diminui a adsorção dele ao solo, facilitando sua fotodecomposição em água. Avila (2005) afirma ainda que, quando aplicado em PRE, o herbicida dispõe de mais tempo para a sorção ao solo, diminuindo sua disponibilidade na solução do solo. Assim, segundo o autor, a adsorção ao solo pode afetar a fotodecomposição do imazethapyr aplicado em PRE. Em contrapartida, estudos supõem que, após algumas semanas de alagamento, essas reações do herbicida com o solo podem ser desfeitas, em função da elevação do pH a próximo da neutralidade (Snyder & Slaton, 2002), o que liberaria aos poucos os resíduos do herbicida na lâmina d'água. Essa mudança no pH, sob inundação da área, pode ocorrer semanas depois da

entrada d'água, dependendo do tipo do solo, níveis da matéria orgânica, população microbiana, temperatura e de outras propriedades químicas do solo (Snyder & Slaton 2002).

3.4 CONCLUSÃO

A aplicação sequencial de Only, dentre os tratamentos avaliados, persistiu mais tempo na lâmina d'água da lavoura de arroz, com níveis detectáveis até 27 dias após a entrada d'água no experimento. Já a detecção de clomazone foi observada até 13 dias após a entrada da água. Cabe ressaltar ainda que os herbicidas persistiram por 26 dias no solo, durante o período entre sua aplicação em PRE e a entrada da lâmina d'água na lavoura.

A meia-vida dos herbicidas na lâmina d'água foi de 9,8 dias para o imazethapyr e de 25,1 dias para o clomazone.

3.5 LITERATURA CITADA

AVILA, L. A. Imazethapyr: red rice control and resistance, and environmental fate. **Ph.D. Dissertation**. Graduate Studies of Texas A&M University, Agosto de 2005.

BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v.44, p.380-382, 1996.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF PESTICIDE REGULATION. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.

CHE, M. et al. Effect of pH on sorption and desorption of imazaquin and imazethapyr on clays and humic acid. **Journal of Environmental Quality**, v.21, p.698-703, 1992.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.

CUMMING, J.P.; DOYLE, R.B. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Science**, v.50, p.405-409, 2002.

CURRAN, W.S.; LIEBL, R.A.; SIMMONS, F.W. Effects of tillage and application methods on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. **Weed Science**, v.40, p.482-489, 1992.

FAO. Faostat database results. 2003. Disponível em: www.fao.org/faostat. Acesso em: novembro de 2005.

GBUREK, W.J.; SHARPLEY, A.N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal Environmental Quality**, Madison, n.27, p.267-277, 1997.

GBLER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Eds.) **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 571-594.

GENNARI, M.; NÉGRE, M.; VIDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and imazaquin on soils and humic acids. **Journal Environmental Science Health**. v.33, p.547-567, 1998.

GOETZ, A.; LAVY, T.; GBUR, E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v.38, p. 421-428, 1990.

KIRKSEY, K.B. et al. Clomazone dissipation in two Tennessee soils. **Weed Science**, v.44, p. 959-963, 1996.

LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinones herbicides. **Weed Technology**, v.7, p.452-458, 1993.

LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v.40, n.3, p.490-496, 1992.

LOUX, M.M.; SLIFE, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, p.259-267, 1989.

MACHADO, S.L.O. et al. Persistência de herbicidas na água de irrigação no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Camboriú: EPAGRI, 2003. p.692-694.

MACHADO, S.L.O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.65-71, 2006.

MALLIPUDI, N.M. et al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, n.2, p.412-417, 1991.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; JUNIOR, S.A.G. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3, REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Camboriú: Epagri, 2003. p.686-688.

MERVOSH, T.L.; SIMMS, G.K.; STOLLER, E.W. Clomazone fate as affected by microbial activity, temperature, and soil moisture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, p.537-543, 1995.

MINISTÉRIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. REPÚBLICA DE COLOMBIA. **Resolução nº681, de 02 de junho de 2005**. “Por la cual se expide um dictamen técnico ambiental para el producto Saat Minuetto ® 480 EC del ingrediente activo clomazone dentro del trámite administrativo de registro”. Colômbia, 2005.

O'DELL, J.D.; WOLT, J.D.; JARDINE, P.M. Transport of imazethapyr in undisturbed soil columns. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.56, p.1711-1715, 1992.

SHAW, D.; WIXSON, M. Postemergence combinations of imazaquin or imazethapyr with AC 263,222 for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v.39, p.644–649, 1991.

SNYDER, C.S.; SLATON, D.N. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. **News and Views**, p.1-3, 2002.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, p.67-73, 1990.

THELEN, K.D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. **Weed Technology**, v.2, p.323–326, 1988.

VENCILL, W. K. (Ed.). **Herbicide Handbook**. 8 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2002.

ZANELLA, R et al. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicide residues in surface and agriculture waters. **Journal of Separation Science**, v.26, p.935-938, 2003.

4. EFEITO DO RESIDUAL NO SOLO DE (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E CLOMAZONE EM CULTURAS NÃO-TOLERANTES

RESUMO

A aplicação de herbicidas é, hoje, a tecnologia mais empregada no controle de plantas daninhas da lavoura de arroz. Contudo, resíduos de herbicidas podem ocasionar injúrias à cultura não-tolerante subsequente ao arroz. Diante disso, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito residual dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone no solo, através do uso de cultura sucessora não-tolerante à sua aplicação. Para tanto, desenvolveu-se um experimento contendo sete tratamentos e cinco repetições, no ano agrícola de 2005/06, em campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM. O ensaio consistiu na semeadura de azevém (*Lolium multiflorum* Lam) e da cultivar de arroz IRGA 417 subsequentemente à cultura de arroz irrigado com aplicação dos herbicidas Only e clomazone. Em geral, os resultados revelam a existência de residual no solo do herbicida Only um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionam redução na produtividade de grãos de cultivares não-tolerantes implementadas na safra posterior à sua utilização. Quanto ao Gamit, as análises realizadas evidenciaram ausência de residual após um ano de sua aplicação nas doses de 3 e 6 L ha⁻¹.

Palavras-chave: residual no solo; Only; Gamit; IRGA 417; *Lolium multiflorum* Lam.

(IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) AND CLOMAZONE CARRYOVER TO NON-TOLERANT RICE

ABSTRACT

Herbicide application is today, the most used tool to weed control in rice. Depending on the herbicide, it can cause carryover effects to non-tolerant crops. For this reason, it was conducted an experiment with the objective of to evaluate herbicide carryover to non-tolerant crops (ryegrass and non-tolerant rice). The experiment was conducted in an area with previous application of (imazethapyr + imazapic) and clomazone. The herbicide Only (imazethapyr + imazapic) caused injury to cultivated rice one year after herbicide application,

affecting rice grain yield. Clomazone did not affect either ryegrass or the non-tolerant rice cultivar.

Key words: herbicide carryover; Only; Gamit; IRGA 417; *Lolium multiflorum* Lam.

4.1 INTRODUÇÃO

A infestação de arroz-vermelho ocasiona elevação do custo de produção da lavoura de arroz e deprecia o valor comercial do produto final. Em vista disso, têm sido desenvolvidas novas tecnologias de controle químico da planta daninha, que é responsável por grandes prejuízos na lavoura orizícola do estado do Rio Grande do Sul. Uma dessas tecnologias foi desenvolvida na Universidade de Louisiana (EUA) e consiste no uso de plantas de arroz tolerantes a herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas. No Brasil, essa alternativa, denominada Sistema Clearfield, constitui-se na aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) em arroz tolerante. Outra alternativa de supressão de arroz-vermelho consiste na utilização do herbicida clomazone em sementes tratadas com protetor, agente químico que reduz a fitotoxicidade do herbicida nas culturas, através de mecanismo fisiológico ou molecular (Hatzios & Burgos, 2004).

A aplicação de herbicidas, portanto, é a tecnologia mais empregada no controle do arroz-vermelho; contudo, as consequências desta utilização, muitas vezes, não são mensuradas e os impactos ambientais ocasionados por sua aplicação não são conhecidos. Uma vez no solo, resíduos de herbicidas podem ocasionar injúrias à cultura subsequente ao arroz, devido a não tolerância da nova cultura ao herbicida aplicado anteriormente. Além disso, parte do herbicida que atinge o solo pode ser transportada por seu perfil, através da água da chuva ou da própria irrigação, causando prejuízos ambientais. Segundo Clay (1993), os resíduos de herbicidas podem alcançar grandes profundidades do solo e atingir até o lençol freático. Nesse processo, influenciam a molécula do herbicida (suas propriedades físicas e químicas), as condições climáticas e o método de aplicação do agroquímico.

Estudos indicam que a persistência no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, ao qual pertencem o imazapic e o imazethapyr, entre outros, é influenciada por propriedades que vão além da textura do solo, tais como o pH (Loux & Reese, 1992), a umidade (Baughman & Shaw, 1996) e o teor de matéria orgânica (Stougaard et al., 1990). Souza et al. (2000), ao comparar dois tipos diferentes de solo, detectaram, por exemplo, que a mobilidade do herbicida imazapyr foi maior no solo de textura franco-arenosa que no solo

argiloso. De acordo com Renner et al. (1998), herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos e, dependendo da cultura sucessora, causam fitotoxicidade nas plantas (Ball et al., 2003), prejudicando a rotação de culturas e diminuindo a renda dos produtores. Nas plantas de algodão, essa fitotoxicidade é caracterizada por sintomas como entre-nós curtos e cor laranja-amarelada (York et al., 2000). Já na canola, resíduos de imazamox causaram injúrias como redução na altura da planta, leve clorose na folha e tendência ao aumento da ramificação lateral (Ball et al., 2003). Cobucci et al. (1998) também constataram injúrias nas plantas de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas em rotação depois da aplicação de imazamox.

Para o clomazone, a concentração do herbicida disponível na solução do solo depende da quantidade de carbono e de água deste solo (Lee et al., 2004). Estudos de Santos et al. (2003) indicam que o clomazone, aplicado na cultura de soja no verão, afetou culturas sucessivas de cereais, tais como trigo, aveia e cevada, causando branqueamento nestas culturas. Duke et al. (1991) explicam, ainda, que resíduos de clomazone no solo causam redução ou impedimento do acúmulo de pigmentos em espécies não-tolerantes, resultando em plantas com aparência descorada (branco, amarelo ou verde-pálido).

Devido às injúrias causadas em culturas não-tolerantes, recomendam-se intervalos de segurança entre a aplicação de herbicidas e a implantação subsequente de culturas não-tolerantes. Santos et al. (2003) afirmam que, usualmente, um mínimo de 150 dias depois da aplicação de clomazone é requerido para a implantação de cultura subsequente. Esse período pode ser ainda maior, uma vez que, no solo, o clomazone degrada lentamente, sob condições aeróbicas, com meia-vida que varia de 90 a 276 dias (California Department of Pesticide Regulation, 2003). Já para os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, a maioria das recomendações de intervalos de segurança baseia-se em estudos realizados nos Estados Unidos e na Europa, onde as condições edafoclimáticas são diferentes das encontradas no Brasil. São necessários, assim, estudos que avaliem o residual no solo dos herbicidas aplicados na lavoura de arroz sob as condições edafoclimáticas brasileiras, buscando o desenvolvimento de estratégias de manejo para a rotação de culturas. Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o residual dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone no solo, através do uso de cultura sucessora não-tolerante à sua aplicação, como o azevém e a cultivar de arroz irrigado IRGA 417.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2005/06, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Embrapa, 1999), com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{água}}(1:1) = 4,5$; $\text{P} = 6,9 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 55 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 1,2\%$; $\text{Ca} = 2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e argila = 17%. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com sete tratamentos (Tabela 5) e cinco repetições. As unidades experimentais mediram 5,0 x 4,0 m (20,0 m²) e a área útil para estimativa da produtividade de grãos foi de 3,0 x 1,7 m (5,1 m²).

A aplicação dos herbicidas Only e Gamit sobre a cultura de arroz tolerante, na safra de 2004/05, foi realizada dois dias após a semeadura (DAS) do arroz, em pré-emergência (PRE), utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de quatro pontas 11002 do tipo leque e calibrado para vazão de 125 L ha⁻¹. Já a aplicação em pós-emergência (POS), na mesma safra, foi efetuada aos 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas de arroz cultivado encontrava-se no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho encontravam-se no estágio V5, segundo escala de Counce et al. (2000). Para a aplicação em POS, utilizou-se o mesmo pulverizador referido, com vazão de 150 L ha⁻¹ e adição de 0,5 % vv de óleo mineral emulsionável.

Após a colheita da safra 2004/05, a área foi roçada, em 22/03/05, e dessecada por duas vezes, em 31/03/05 e 28/04/05. Realizou-se, então, a semeadura do azevém (*Lolium multiflorum* Lam), a lanço, na densidade de 40 kg de sementes ha⁻¹, no dia 09/05/05, sendo que a emergência das plantas ocorreu 10 DAS. A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de 11,25 kg ha⁻¹ de N, aos 61 DAE. Para avaliar o efeito residual no solo dos herbicidas aplicados na safra 2004/05, foi coletada a massa seca da cultura do azevém, em área de 0,5 x 0,5 m, aos 129 DAE.

Realizada a avaliação do efeito residual dos herbicidas sobre o azevém, a área foi novamente dessecada por duas vezes, em 27/09/05 e 30/10/05, para a semeadura do arroz no sistema de plantio direto. A cultivar IRGA 417 foi semeada no dia 02/11/2005, na densidade de 110 kg de sementes ha⁻¹, em linhas espaçadas a 0,17 m, sendo que a emergência do arroz ocorreu aos 11 DAS. A adubação de base foi realizada concomitantemente à semeadura do arroz irrigado, aplicando-se 17,5; 70 e 105 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Na adubação de cobertura, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicando-se a metade da dose no início do perfilhamento (V4) e o restante na iniciação

da panícula (R_0). Juntamente com a segunda aplicação de N em cobertura, foram utilizados 500 g i.a. ha^{-1} do inseticida carbofuran, para o controle do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

Em função da fitotoxicidade causada pela utilização de Only na safra 2004/05, foi necessário atrasar em 10 dias as aplicações de N, o controle de planta daninha e a entrada da água nas parcelas em que havia sido aplicado Only em relação às demais parcelas. A área foi inundada com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm de altura um dia após a aplicação de N e o controle de plantas daninhas. Esse controle foi realizado com a aplicação de bispyribac-sodium, na dose de 52 g i.a. ha^{-1} .

O estande inicial da cultivar IRGA 417 foi determinado aos 10 DAE, através da contagem da população de plantas em um metro linear da linha de semeadura. Neste local, efetuou-se a determinação do número de colmos de arroz aos 29 e 49 DAE. Ainda nessa área demarcada para obtenção do estande inicial, determinou-se o número de panículas por planta e coletou-se 10 panículas para obtenção do número de grãos por panícula, da massa de mil grãos e da esterilidade de espiguetas.

A avaliação de fitotoxicidade às plantas de arroz foi realizada aos 10 e 37 DAE, sendo que os valores foram estimados visualmente através da escala de 0 a 100%, onde 0% corresponde à ausência de fitotoxicidade e 100% correspondem à morte das plantas de arroz.

Para a avaliação da re-infestação de arroz-vermelho, foi realizada, na pré-colheita, a contagem do número de panículas de arroz-vermelho em uma área de 0,5 x 0,5 m. A avaliação da produtividade de grãos foi realizada através de colheita manual da área útil de cada parcela (6,8 m^2), quando os grãos atingiram umidade média de 20%. Este material foi submetido à trilha, pesagem e determinação da umidade de colheita, sendo esta corrigida para 13%, para estimativa da produtividade de grãos.

As variáveis determinadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$). Os dados em porcentagem foram transformados para $yt = \sqrt{y + 1}$.

Tabela 4. Temperaturas mínimas, máximas e médias, precipitação pluvial e insolação, por decêndio, ocorridas durante o período de avaliação do residual no solo dos herbicidas Only e Gamit na cultura do azevém e do arroz. Santa Maria, RS. 2006.

Mês	Ano	Decêndios	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)	Insolação (horas)
			Máxima	Mínima	Média		
Abr.	2005	01 – 10	27,9	17,8	22,8	122,8	3,9
		11 – 20	25,2	15,6	20,4	71,6	4,1
		21 – 30	22,2	11,5	16,8	29,7	5,2
Mai.	2005	01 – 10	24,7	14,1	19,4	39,6	4,8
		11 – 20	24,4	17,5	20,9	120,4	1,3
		21 – 31	21,3	10,0	15,7	23,0	6,4
Junh.	2005	01 – 10	28,1	17,9	23,0	3,0	6,2
		11 – 20	19,9	15,2	17,5	74,8	1,0
		21 – 30	19,8	11,2	15,5	36,7	3,9
Julh.	2005	01 – 10	21,1	10,6	15,9	12,9	7,3
		11 – 20	20,2	9,3	14,8	23,9	5,7
		21 – 31	19,3	9,2	14,3	19,4	5,1
Agos.	2005	01 – 10	24,6	13,8	19,2	9,3	7,1
		11 – 20	23,4	11,6	17,5	3,5	4,4
		21 – 31	21,3	11,5	16,4	68,3	3,0
Set.	2005	01 – 10	18,8	9,5	14,1	33,7	4,6
		11 – 20	16,6	9,5	13,1	116,8	1,1
		21 – 30	23,7	13,8	18,8	62,0	7,3
Out.	2005	01 – 10	21,7	14,0	17,8	172,6	3,2
		11 – 20	24,0	14,6	19,3	81,4	8,2
		21 – 31	23,7	15,6	19,6	30,3	9,1
Nov.	2005	01 – 10	25,2	12,6	18,9	33,4	8,2
		11 – 20	29,5	16,8	23,2	3,6	7,0
		21 – 30	33,3	17,6	25,5	20,2	10,0
Dez.	2005	01 – 10	29,1	16,6	22,8	84,2	9,1
		11 – 20	30,8	17,8	24,3	1,4	10,7
		21 – 31	30,8	17,4	24,1	16,3	8,3
Jan.	2006	01 – 10	33,4	20,3	26,9	51,2	8,7
		11 – 20	31,9	21,5	26,7	81,9	6,5
		21 – 31	30,1	20,5	25,3	64,9	7,9
Fev.	2006	01 – 10	31,9	19,8	25,9	3,2	8,6
		11 – 20	29,2	19,4	24,3	3,3	8,3
		21 – 28	30,4	17,7	24,0	39,0	8,4
Mar.	2006	01 – 10	30,3	18,2	24,2	29,0	7,8
		11 – 20	32,9	19,5	26,2	3,9	7,3
		21 – 31	28,0	16,8	22,4	48,3	6,9

*Dados coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria/RS/Brasil.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no experimento não evidenciaram diferença entre os tratamentos quanto à massa seca da cultura do azevém, que produziu em média 1377 kg ha^{-1} . Esse baixo acúmulo pode ser explicado pelas altas precipitações ocorridas no mês de maio de 2005 (Tabela 4), que afetaram o estabelecimento do azevém, e à escassez de chuva durante os meses de julho e agosto, que prejudicou o desenvolvimento da cultura. De acordo com Difante et al. (2005), o excesso hídrico interfere negativamente no estabelecimento das plantas de azevém em áreas sistematizadas de várzea.

O residual no solo dos herbicidas Only e Gamit, aplicados na safra precedente, causou fitotoxicidade na cultivar IRGA 417, semeada 367 dias após a aplicação dos herbicidas em PRE (Tabela 5). Essa fitotoxicidade foi observada tanto na avaliação realizada aos 10 DAE quanto aos 37 DAE da cultivar. Os resultados evidenciaram diferença na fitotoxicidade de acordo com a dose e a época de aplicação dos herbicidas, sendo que maiores fitotoxicidades foram observadas com a aplicação de Only em relação ao Gamit.

Nas duas avaliações de fitotoxicidade realizadas aos 10 DAE e aos 37 DAE, dentre os tratamentos com Only, maiores fitotoxicidades ocorreram com a aplicação sequencial ($0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em PRE seguida de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em POS) e com a utilização de 1 L ha^{-1} em POS do herbicida. Já a menor fitotoxicidade foi observada com a aplicação de 1 L ha^{-1} em PRE de Only.

A menor fitotoxicidade encontrada no tratamento com a aplicação de 1 L ha^{-1} de Only em PRE pode ser explicada pelo maior período de biodegradação do herbicida em ambiente aeróbico, condição satisfeita durante os 26 dias decorridos entre a aplicação do herbicida e a entrada da água no ensaio, na safra de 2004/05. Isto ocorreu porque tanto o imazethapyr quanto o imazapic, herbicidas que compõem o Only, sofrem limitada biodegradação em condições anaeróbicas (Vencill, 2002). Logo, os tratamentos com aplicação de 1 L ha^{-1} de Only em POS e sequencial, por passarem mais tempo sob condições anaeróbicas, tiveram possibilidade de biodegradação reduzida e, em consequência, apresentaram maior residual no solo.

Quanto aos tratamentos com Gamit, na avaliação realizada aos 10 DAE não foi verificada diferença entre as doses do herbicida, que apresentaram em média 16% de fitotoxicidade. Já na avaliação realizada aos 37 DAE, nenhuma fitotoxicidade foi observada nos tratamentos com a aplicação de Gamit.

Tabela 5. Fitotoxicidade no arroz aos 10 e 37 dias após a emergência (DAE), estande de plantas (EP), colmos por planta aos 29 e 49 DAE, infestação por arroz-vermelho (IAV), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) e produtividade de grãos (PG) da cultivar IRGA 417, em resposta ao residual no solo de doses e épocas de aplicação dos herbicidas utilizados para o controle do arroz-vermelho na safra anterior. Santa Maria-RS, 2006.

Tratamentos ^{1/}	Doses L ha ⁻¹		Fitotoxicidade (%) ^{2/}		EP (m ²)	Colmos por planta		IAV (panic. m ⁻²)	NP (m ⁻²)	NEP	MMG (g)	EE (%) ^{7/}	PG (kg ha ⁻¹)
	PRE ^{2/}	POS ^{3/}	10 DAE ^{8/}	37 DAE ^{8/}		29 DAE ^{8/}	49 DAE ^{8/}						
Testemunha*	0	1,0	0 d ^{10/}	0 c	295 a	4,5 a	3,7 ^{ns}	0 c	648 a	79 a	27 a	11 ^{ns}	8928 a
Only ^{4/}	0,7	0,7	87 a	90 a	191 b	1,6 d	2,3	33 bc	358 b	73 b	23 b	10	5262 b
Only	1,0	0	68 b	60 b	199 b	1,8 cd	3,0	117 b	338 b	72 b	22 b	12	3989 bc
Only	0	1,0	92 a	86 a	171 b	1,5 d	2,5	93 b	303 b	71 b	23 b	12	4158 bc
Gamit ^{5/} c/ Permit ^{6/}	3,0	0	17 c	0 c	204 b	3,0 b	2,7	232 a	219 b	55 b	21 b	17	2694 c
Gamit c/ Permit	6,0	0	16 c	0 c	204 b	3,3 b	2,9	256 a	273 b	62 b	21 b	15	2665 c
Gamit s/ Permit	3,0	0	17 c	0 c	231 b	2,4 bc	2,1	286 a	169 b	60 b	22 b	19	2253 c
Média			42	34	214	2,6	2,7	145	330	68	22	14	4278
CV (%)			10,19	14,63	15,67	24,61	29,72	32,23	28,27	10,36	6,75	23,12	23,64

^{1/} Residual no solo dos tratamentos aplicados na safra de 2004/05 e avaliados na safra de 2005/06; ^{2/} Aplicação em pré-emergência; ^{3/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{4/} Mistura formulada de imazethapyr (75 g i.a. L⁻¹) + imazapic (25 g i.a. L⁻¹); ^{5/} Clomazone (500 g i.a. L⁻¹); ^{6/} 0,0-dietil-0-fenil fosforotioato (500 g i.a. kg⁻¹); ^{7/} Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y+1}$, (dados apresentados são valores não transformados); ^{8/} Dias após a emergência do arroz; ^{10/} Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P≥0.05)

* IRGA 422 CL, com aplicação de 1 L ha⁻¹ em POS do herbicida Only na safra de 2004/05 e 2005/06.

Essa baixa fitotoxicidade pode ter decorrido da degradação do herbicida durante o período de 100 dias de inundação do solo, na safra de 2004/05. Segundo Vencill (2002), a degradação do clomazone é mais rápida em condições anaeróbicas que em condições aeróbicas, sendo que, em solo aeróbico, a meia-vida do herbicida varia de 90 a 276 dias e, em solo anaeróbico, sua meia-vida média cai para 60 dias (California Department of Pesticides Regulation, 2003).

Além do residual dos herbicidas no solo, a fitotoxicidade encontrada pode ter sido potencializada pela baixa temperatura no período inicial de desenvolvimento do arroz (Tabela 4), pois, segundo Masson & Webster (2001), temperaturas mais baixas são responsáveis pela diferença na fitotoxicidade do arroz, sendo que uma menor injúria foi observada sob temperaturas mais altas.

O estande de plantas da cultivar IRGA 417 foi maior na testemunha em relação aos demais tratamentos, demonstrando que a utilização dos herbicidas Only e Gamit na safra de 2004/05 afetou negativamente o estande de plantas, devido ao efeito de seu residual no solo. A testemunha apresentou uma população de 295 plantas m^{-2} , enquanto os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si e tiveram média de 200 plantas m^{-2} . Estes resultados vão ao encontro das avaliações de Villa (2006), que verificou menor estande da cultivar IRGA 417 nos tratamentos com aplicação de Only no ano anterior, indicando que havia quantidade de herbicida no solo suficiente para causar fitotoxicidade ao arroz não-tolerante. Scherder et al. (2004) também verificaram redução no estande de plantas e atraso na maturidade das plantas de arroz, advindas da aplicação de clomazone.

Além do efeito no estande, a fitotoxicidade encontrada aos 29 DAE, em função do residual dos herbicidas, afetou também o número de colmos por planta. Nessa avaliação, a testemunha apresentou maior número de colmos por planta em relação aos demais tratamentos, seguida da aplicação de Gamit e da utilização de Only, que apresentaram, respectivamente, médias de 2,9 e 1,6 colmos por planta. Por outro lado, na avaliação realizada aos 49 DAE, as plantas compensaram a diminuição do número de colmos através da emissão de novos perfilhos e foram observadas diferenças significativas entre as doses e épocas de aplicação dos herbicidas. Yoshida (1981) afirma que as plantas de arroz podem compensar o menor estande através da emissão de um maior número de colmos.

Os resultados da avaliação da re-infestação de arroz-vermelho apontam para a importância do controle da planta daninha na safra 2004/05, uma vez que os tratamentos que apresentaram maior controle nesta safra responderam pelos menores índices de re-infestação. Nos tratamentos com a aplicação de Only na safra 2004/05, foi observada uma média de 81

panículas de arroz-vermelho m^{-2} . Já nos tratamentos com Gamit, a re-infestação de arroz-vermelho foi em torno de 258 panículas m^{-2} . Embora esses resultados evidenciem uma maior eficiência do Only em relação ao Gamit no controle do arroz-vermelho, cabe ressaltar que os índices de re-infestação encontrados demonstram que a utilização do Sistema Clearfield durante apenas uma safra não é suficiente para o controle dessa planta daninha. Destaca-se ainda que, devido à possibilidade de fluxo gênico, parte das plantas re-infestantes podem ser oriundas do cruzamento da cultivar Clearfield com as plantas de arroz-vermelho.

A avaliação dos componentes da produção de grãos apontou para uma relação direta entre o número de panículas m^{-2} e o estande de plantas, sendo que o tratamento com o maior número de panículas foi a testemunha, que obteve também a maior população de plantas. Observa-se ainda que o menor número de panículas m^{-2} encontrado nos tratamentos com o herbicida Only, em relação à testemunha, pode ter decorrido do residual no solo deste herbicida. Na segunda avaliação de fitotoxicidade, ainda foram observadas plantas que não conseguiram se recuperar da intoxicação causada por resíduos do agroquímico e que, em consequência, sofreram necrose total.

Já nos tratamentos com Gamit, o menor número de panículas m^{-2} pode ser atribuído à competição do arroz com a população re-infestante de arroz-vermelho, uma vez que, na segunda avaliação de fitotoxicidade, esses tratamentos já não apresentavam nenhum sintoma de injúrias causadas pela aplicação de Gamit na safra precedente. Balbinot Jr. et al. (2003) também se referem à relação entre o controle da planta daninha e o número de panículas m^{-2} , afirmando que menores números de colmos por planta de arroz são obtidos quando estas se encontram em competição com o arroz-vermelho, resultando, assim, em menor número de panículas m^{-2} . Essa mesma relação observada por Balbinot Jr. et al. (2003) para o número de panículas m^{-2} , foi detectada para o número de espiguetas por panícula e para a massa de mil grãos. Nos tratamentos com maior re-infestação de arroz-vermelho, o desenvolvimento das plantas de arroz foi prejudicado, devido ao sombreamento ocasionado pela planta daninha sobre a cultivar IRGA 417.

A esterilidade de espiguetas não foi afetada em nenhum dos tratamentos, apresentando média de 15%, considerada normal para a cultivar IRGA 417. Terres & Galli (1985) destacam que a temperatura mínima do ar, crítica à fecundação das flores de arroz, está na faixa de 15°C , sendo que a percentagem de esterilidade de espiguetas tende a aumentar com o aumento da duração e da intensidade destas temperaturas. Observando a Tabela 2, verifica-se temperatura favorável ao desenvolvimento da cultivar de arroz durante o mês de janeiro e início de fevereiro, período que coincidiu com o florescimento da cultura.

Quanto às médias de produtividade, os resultados obtidos no experimento demonstram maior produção de grãos, 8928 kg ha^{-1} , na testemunha (IRGA 422 CL), tratamento que apresentou também maior estande inicial, número de panículas m^{-2} , número de espiguetas por panícula e massa de mil grãos. Os tratamentos com a utilização do herbicida Only na safra precedente produziram, em média, 4470 kg ha^{-1} , não apresentando diferenças significativas entre as doses e épocas de aplicação. Destaca-se, ainda, uma redução de 53% na produtividade de grãos entre a dose recomendada, $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em POS, e a testemunha. Essa redução de produtividade, em decorrência da fitotoxicidade causada pelo resíduo de imazethapyr, foi anteriormente observada por Loux & Reese (1993), para a cultura do milho.

A produtividade de grãos foi menor nos tratamentos com Gamit, em comparação à utilização de Only. Isso decorreu da alta competição do arroz cultivado com o arroz-vermelho, que afetou negativamente a produtividade de grãos nos tratamentos com Gamit, ocasionando redução de 72% na produtividade em relação à testemunha. Pesquisas anteriores mostram que cada panícula de arroz vermelho m^{-2} reduz a produtividade de grãos de arroz em 16 a 18 kg ha^{-1} (Souza & Fischer, 1986; Avila et al., 1999). Cabe ressaltar também que a alta re-infestação de arroz-vermelho nos tratamentos com Gamit originou acamamento de 65%, fator que prejudicou a produtividade de grãos nesses tratamentos.

4.4 CONCLUSÃO

Há efeito residual no solo do herbicida Only um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionam redução na produtividade de grãos de cultivares não-tolerantes implementadas na safra posterior à sua utilização, sem revolvimento do solo. Quanto ao Gamit, os resultados não evidenciaram residual significativo um ano após sua aplicação nas doses de 3 e 6 L ha^{-1} . Contudo, a alta re-infestação de arroz-vermelho, ocasionada pelo baixo controle da planta daninha nas parcelas onde foi aplicado o Gamit na safra precedente, causou a diminuição na produtividade de grãos da cultivar IRGA 417, em decorrência da competição do arroz cultivado com o arroz-vermelho.

4.5 LITERATURA CITADA

AVILA, L. A. et al. Interferência do arroz-vermelho sobre o arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ

- IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.594-596.
- BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.53-59, 2003.
- BALL, D.A.; YENISH, J.P.; ALBY, T. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotational crops. **Weed Technology**, v.17, n.1, p.161-165, 2003.
- BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v.44, n.2, p.380-382, 1996.
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF PESTICIDE REGULATION. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.
- CLAY, D.V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J.C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, Inc, 1993, p. 153-171.
- COBUCCI, T.H.T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**. v.46, p.258-263, 1998.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.
- DIFANTE, G.S. et al. Produção de forragem e rentabilidade da recria de novilhos de corte em área de várzea. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.2, p.433-441, 2005.
- DUKE, S.O. et al. Clomazone causes accumulation of sesquiterpenoids in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Weed Science**, v.39, p.339-346, 1991.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p.412.
- HATZIOS, K.K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v.52, n.3, p.454-467, 2004.
- LEE, D.J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, n.52, p.310-318, 2004.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, p.452-458, 1993.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v.40, n.3, p.490-496, 1992.
- MASSON, J.A.; WEBSTER, E.P. Use of Imazethapyr in Water-Seeded Imidazolinone-Tolerant Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.15, p.103-106. 2001.
- RENNER, K.A.; SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J. Effect of tillage application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v.12, n.2, p.281-285, 1998.
- SANTOS, R.L. de B.; SPEHAR, C.R.; VIVALDI, L. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.6, p.771-776, 2003.

- SCHERDER, E.F.; TALBERT, R.E.; CLARK, S.D. Rice (*oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone. **Weed Technology**, v.18, p.140–144, 2004.
- SOUZA, A.P.de et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I – Método de Bioensaio. **Planta Daninha**, v. 18, n.1, 2000.
- SOUZA, P.R.; FISCHER, M.M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v.39, n.368, p.19-20, 1986.
- STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, n.1, p.67-73, 1990.
- TERRES, A.L.; GALLI, J. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do sul. Campinas: Fundação Cargil, 1985, p. 83-94.
- VENCILL, W. K. (Ed.). **Herbicide handbook**. 8 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2002.
- VILLA, S.C.C. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo gênico. 2006. 53f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst., 269p, 1981.
- YORK, A.C. et al. Cotton response to imazapic and imazethapur applied to a preceding peanut crop. **The Journal of Cotton Science**, v.4, p.210-216, 2000.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A utilização do Sistema Clearfield consiste em uma alternativa eficiente no controle do arroz-vermelho, principalmente quando aplicada a dose seqüencial de 0,7 L ha⁻¹ de (imazethapyr + imazapic) em pré-emergência, seguida de 0,7 L ha⁻¹ em pós-emergência, utilização que proporciona controle de 100% da planta daninha. Contudo, essa aplicação seqüencial de (imazethapyr + imazapic), dentre todos os tratamentos avaliados, gerou maior período de detecção do herbicida na lâmina da água, resíduos esses que podem extravasar para mananciais hídricos à jusante da lavoura caso haja ocorrência de precipitações. Além disso, cabe ressaltar que a própria utilização dos herbicidas em pré-emergência, frente à intensa precipitação, pode levar ao extravasamento de resíduos de agroquímicos para mananciais hídricos.

Os resultados obtidos no segundo ano de experimento revelaram a existência de residual no solo do herbicida (imazethapyr + imazapic) um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionaram redução na produtividade de grãos da cultivar susceptível IRGA 417, cultivada na safra posterior à utilização do herbicida. Diante disso, podem ser adotadas estratégias de manejo que visem aumentar a possibilidade de degradação microbiana do herbicida (imazethapyr + imazapic), tais como o revolvimento do solo durante o período de inverno, o que possibilita a aeração do solo e o desenvolvimento de maior número de microorganismos em suas diferentes camadas. Outra alternativa importante, e já recomendada nos EUA, é o pousio da área por um ano após a aplicação de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

Já a aplicação de clomazone, tanto na dose de 3 quanto de 6 L ha⁻¹, não proporcionou controle satisfatório do arroz-vermelho e, portanto, não constitui-se em alternativa eficiente no controle da planta daninha. Em contrapartida, o período de detecção do clomazone na lâmina da água foi menor que o período do imazethapyr e as análises realizadas após um ano de sua aplicação evidenciaram também ausência de residual do clomazone no solo.

Diante desses resultados, a presente Dissertação demonstra a necessidade de estudos futuros acerca de estratégias de manejo posterior da área onde foi aplicado herbicida do grupo químico das imidazolinonas. Recomendam-se pesquisas sobre diferentes preparos do solo durante o período de inverno em áreas nas quais será semeado culturas não-tolerantes a herbicidas de tal grupo químico.

6. BIBLIOGRAFIA GERAL

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v. 31, nº 2, p. 341-349, Santa Maria/RS: 2001

AHRENS, W.H.; FUERST, E.P. Carryover injury of clomazone applied in soybeans (*Glycine max*) and fallow. **Weed Technology**, v.4, p.855– 861, 1990.

AVILA, L.A. Imazethapyr: red rice control and resistance, and environmental fate. **Ph.D. Dissertation**. Graduate Studies of Texas A&M University, Agosto de 2005.

AVILA, L. A. Evolução do banco de sementes e controle do arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.) em diferentes sistemas de manejo do solo de várzea. 1999. 86f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

AVILA, L.A. et al. Imazethapyr aqueous photolysis, reaction quantum yield, and hydroxyl radical rate constant. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.2635-2639, 2006.

AVILA, L.A. et al. The effect os flooding time and red rice control with Newpath applied at different rice stages. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY MEETING, 56., 2003. **Proceedings...** SWSSA, 2003, p. 48.

AVILA, L.A. et al. Interferência do arroz-vermelho sobre o arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 594-596.

BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, nº 1, p. 53-59, janeiro de 2003.

BALL, D.A; YENISH, J.P.; ALBY, T. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotational crops. **Weed Technology**, v. 17, n.1, p.161-165, 2003.

BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v. 44, p.380-382, 1996.

BOLLICH, P. K. et al. Rice (*Oryza sativa*) response to the microencapsulated formulation of clomazone. **Weed Technology**, v.14, p.89–93, 2000.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF PESTICIDE REGULATION. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.

CHE, M. et al. Effect of pH on sorption and desorption of imazaquin and imazethapyr on clays and humic acid. **J. Environ. Qual.**, v.21, p.698-703, 1992.

CLAY, D. V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J. C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, Inc, 1993, p. 153-171.

COBUCCI, T. H. T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**, v. 46, p. 258-263, 1998.

CORADINI, J.Z. et al. Sistemas de manejo em solo de várzea no controle do arroz-vermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ-IRRIGADO, 23, 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 293-295.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.

CRAIGMILES, J.P. **Introduction**. Red Rice Research and Control. Texas Agricultural Experiment. Station Bul. 1978. 46p.

CUMMING, J. P.; DOYLE, R. B. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Science**, v.50, p.405-409, 2002.

CURRAN, W.S.; LIEBL, R.A.; SIMMONS, F.W. Effects of tillage and application method on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. **Weed Science**, v.40, p.482-489, 1992.

CURRAN, W.S.; KNAKE, E.L.; LIEBL, R.A. Corn (*Zea mays*) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr. **Weed Technology**, v.5, p.539-544, 1991.

DE DATTA, S. K. **Produccion de arroz**: fundamentos y practicas. México: Editorial Limusa, 1986. 543p.

DEPARTAMENTO DE REGULAMENTAÇÃO DE PESTICIDAS DA CALIFÓRNIA. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.

DESCHAMPS, F.C. et al. Resíduos de agroquímicos em água nas áreas de arroz irrigado, em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2003, p. 683-685.

DIARRA, A.; SMITH JUNIOR, R.J.; TALBERT, R.E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n.3, p.310-314, 1985.

DIFANTE, G. S. et al. Produção de Forragem e Rentabilidade da Recria de Novilhos de Corte em Área de Várzea. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n.2, p.433-441, 2005.

DORES, E.F.G.C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E.M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – análise preliminar. **Química Nova**, v.24, n.1, p. 27-36, 2001.

DUKE, S.O. et al. Clomazone causes accumulation of sesquiterpenoids in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Weed Science**, v.39, p.339-346, 1991.

DUKE, S.O.; PAUL, R.N. Effects of dimethazone (FMC-57020) on chloroplast development. I. Ultrastructure effects in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) primary leaves. **Pestic Biochem. Physiol.** v.25, p. 1-10, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p. 412.

FAO. Faostat database results. 2003. Disponível em: www.fao.org/faostat. Acesso em: novembro de 2005.

FLINT, J.L.; WITT, W.W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.45, p.586-591, 1997.

GBUREK, W.J.; SHARPLEY, A.N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal Environmental Quality**, Madison, n.27, p.267-277, 1997.

GEALY, D.R.; MITTEN, D.H.; RUTGER, J.N. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v.17, n.3, p.627-645, 2003.

GBLER, L.; SPADOTTO, C. A. Comportamento Ambiental dos Herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Org.). **Manual de Manejo e Controle de Plantas Daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004, v.1, p.57-87.

GENNARI, M.; NÉGRE, M.; VIDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and imazaquin on soils and humic acids. **Journal Environmental Science Health**. v.33, p.547-567, 1998.

GOETZ, A. J.; LAVY, T. L.; GBUR, E. E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v.38, p.421-428, 1990.

GUNSOLUS, J. L. et al. Carryover potential of AC-263,449, DPX-F6025, FMC 57020, and imazaquin in Minnesota. Proc. North. Cent. **Weed Control Conf.** p. 41:52. 1986.

HACKWORTH, H.M.; SAROKIN, L.P.; WHITE, R.H. 1997 field evaluation of imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 51:221. 1998.

HAMILTON, D.J. et al. Regulatory limits for pesticide residues in water. **Pure Applying Chemistry**, v.75, n.8, p.1123-1155, 2003.

HATZIOS, K.K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v.52, n.3, p.454-467, 2004.

HUEY, B. A.; BALDWIN, F. L. Red rice control. In: RED RICE RESEARCH AND CONTROL. 1978, Beaumont. **Proceedings** Beaumont: Texas A&M University, 1978. p. 19-25.

IRGA - Instituto Brasileiro do Arroz Irrigado. Acompanhamento Semanal de Colheita do Arroz Irrigado/RS – Safra 2005/2006. Disponível em: www.irga.rs.gov.br. Acesso em: julho de 2006.

JOHNSON, D.H. et al. Nicolsulfuron, primusulfuron, imazethapyr, and DPX-PE350 injury to succeeding crops. **Weed Technology**, v.7, p.641–644, 1993.

KIRKSEY, K.B. et al. Clomazone dissipation in two Tennessee soils. **Weed Science**, v.44, p. 959–963, 1996.

KOLPIN, D.W., THURMAN, E.M., LINHART, S.M. The environmental occurrence of herbicides: The Importance of degradates in ground water. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.35, p.385-390, 1998.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J.B. Comportamento de Pesticidas em solos - Fundamentos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.3, p.291-334, 2003.

LEE, D. J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, v.52, p.310-318, 2004.

LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinonesherbicides . **Weed Technology**, v.7, p.452–458, 1993.

LOUX, M.M.; REESE, K. D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v. 40, n.3, p. 490-496, 1992.

LOUX, M.M.; SLIFE, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, p.259–267, 1989.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; JUNIOR, S.A.G. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, Balneário Camboriú – SC, 2003. **Anais...** Camboriú: Epagri, 2003. p.686-688.

MACHADO, S.L.O. Sistemas de estabelecimento do arroz irrigado, consumo de água, perdas de nutrientes, persistência de herbicidas na água e efeitos do jundiá. **TESE (Doutoramento)**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2003.

MACHADO, S.L.O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.65-71, 2006.

MACHADO, S.L.O. et al. Persistência de herbicidas na água de irrigação no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, 2003, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2003. p.692-694.

MACHADO, S.L.O. et al. Persistência de alguns herbicidas em lâmina de água de lavoura de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24, 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Instituto Riograndense do Arroz, 2001. p.775-777.

MACHADO, S.L.O.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L.A. Manejo do arroz-vermelho através da rotação de culturas e herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO,

1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23, 1999, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.285-289.

MACHADO, S.L.O. et al. Arroz-vermelho: Levantamento do banco de sementes e potencial de infestação em lavouras comerciais de arroz irrigado da Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO NACIONAL DO ARROZ IRRIGADO, 6, 1998, Goiânia. **Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzea e terras baixas**. Goiânia: Embrapa CNPAF, 1998. p.384-386.

MALEFYT, T.; QUAKENBUSH, L. Influence of environmental factors on the biological activity of the imidazolinone herbicides. In: SHANER, D.L.; O'CONNER, S.L. eds. *The Imidazolinone Herbicides*. Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 104-127. 1991.

MALLIPUDI, N.M.; STOUT, S.J.; DACUNHA, A.R.; LEE, A. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, n.2, p.412-417, 1991.

MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.2, p.415-421, 1994.

MARCHEZAN, E. et al. Controle do arroz-vermelho. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.547-577.

MARCHEZAN, E. et al. Dispersão de herbicidas nas águas da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim, no período de cultivo do arroz. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA, 1., e REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 7, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EMBRAPA/ABRARROZ/EPAGRI, 2002, p.670-673.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; JUNIOR, S.A.G. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3, REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, Balneário Camboriú – SC, 2003. **Anais...** Itajaí: Epagri, 2003. p. 686-688.

MASSON, J.A.; WEBSTER, E.P. Use of Imazethapyr in Water-Seeded Imidazolinone-Tolerant Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.15, p.103-106. 2001.

MATTOS, M.L.T. A cultura do arroz irrigado e o meio ambiente. In: GOMES, A. da S. & MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.861-899.

MERVOSH, T.L.; SIMMS, G.K.; STOLLER, E.W. Clomazone fate as affected by microbial activity, temperature, and soil moisture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, p.537-543, 1995.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 21 de outubro de 2006.

MINISTÉRIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLO TERRITORIAL. REPÚBLICA DE COLOMBIA. **Resolução n. 681, de 02 de junho de 2005**. “Por la cual se

expide um dictamen técnico ambiental para el producto Saat Minuetto ® 480 EC del ingrediente activo clomazone dentro del trámite administrativo de registro”. Colômbia, 2005.

NOLDIN, J. A. Controle de arroz-vermelho no sistema de semeadura em solo inundado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.41, n.377, p.11-13, 1988.

NOLDIN, J.A.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, p.12-18, 1999.

NOLDIN, J.A. et al. Persistência do herbicida clomazone em arroz irrigado em arroz irrigado em sistema pré-germinado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, Balneário Camboriú – SC, 1997. **Anais...** Itajaí: Epagri, 1997. p.363-364.

O'DELL, J.D.; WOLT, J.D.; JARDINE, P.M. Transport of imazethapyr in undisturbed soil columns. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.56, p.1711-1715, 1992.

OTTIS, B.V.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, Champain, p.526-533, 2003.

PARAÍBA, L.C.; LUIZ, A.J.B.; PÉREZ, D.V. Estimativa da Superfície Específica de Solos e do Coeficiente de Sorção de Pesticidas. In: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 29, Jaguariúna/SP: Embrapa, 2005. 19p.

PETRINI, J.A. et al. **Manejo para redução do banco de sementes de arroz-irrigado no solo**. Pelotas: Embrapa, 1998. 8p. (Embrapa Clima Temperado, Comunicado Técnico, 19).

QURESHI, F.A. **Herbicide carry-over**. Alberta: Alberta Environmental Center Vegreville, 1987. 31p. Relatório Técnico.

RENNER, K.A.; SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J. Effect of tillage application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v.12, n.2, p.281-285, 1998.

SANTOS, R.L.B.; SPEHAR, C.R.; VIVALDI, L. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.6, p.771-776, 2003.

SCHERDER, E.F.; TALBERT, R.E.; CLARK, S.D. Rice (*oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone. **Weed Technology**, v.18, p.140–144, 2004.

SHANER, D.L.; O'CONNER, S. **The Imidazolinone Herbicides**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1991.

SHAW, D.; WIXSON, M. Postemergence combinations of imazaquin or imazethapyr with AC 263,222 for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v.39, p.644–649, 1991.

SMITH Jr., R. J. Red rice control. In: Agribusiness worldwide, 1992, Merriam. **Proceedings**. Merriam: Sosland publishing Co, 1992. p.18-23.

SNYDER, C.S.; SLATON, D.N. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. **News and Views**, p.1-3, 2002.

SOUZA, A.P. et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I – Método de Bioensaio. **Planta Daninha**, v.18, n.1, 2000.

SOUZA, P.R. Arroz-vermelho: um grande problema na orizicultura gaúcha. **Seed News**, Pelotas, n.19, 1999, p.14-16.

SOUZA, P.R.; FISCHER, M.M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.39, n.368, p.19-20, 1986.

SPADOTTO, C. A. **Comportamento e Destino Ambiental de Herbicidas**. Comitê de Meio Ambiente, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. 2002. [online] Disponível: <http://www.cnpma.embrapa.br/herbicidas/>. Acesso em: 10 de maio de 2006.

STEELE, G.L. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. Proc. South. **Weed Science**, v.53, p.19, 2000.

STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Evaluation of imazethapyr rates and application times on red rice (*Oryza sativa*) control in imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**, v.52, p.237, 1999.

STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, p.627-630, 2002.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, p.67-73, 1990.

TAYLOR, M. Rotational weed control practices in rice. Rural Industries Research and Development Corporation. **Publication n.04/001**. 2004. Disponível no site: www.rirdc.gov.au. Acesso em: 01 de outubro de 2004.

TERRES, A. L.; GALLI, J. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do sul. Campinas: Fundação Cargil, 1985, p. 83-94.

THELEN, K.D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. **Weed Technology**, v.2, p.323–326, 1988.

TOMITA, R.Y.; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. In: **Biológico**. v.64, n.2. São Paulo, 2002. p. 135-142.

VENCILL, W. K. (Ed.). **Herbicide handbook**. 8 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2002.

VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R. A. Vidal, 1997. 165p.

VILLA, S.C.C. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo gênico. 2006. 53f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

VILLA, S.C.C. et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerante/resistente a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Revista Planta Daninha**, (no prelo), 2006.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst., 269p, 1981.

YORK, A.C. et al. Cotton response to imazapic and imazethapur applied to a preceding peanut crop. **The Journal of Cotton Science**, v.4, p.210-216, 2000.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v.45, p.16-17, 2002.

ZANELLA, R. et al. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicide residues in surface and agriculture waters. **Journal of Separation Science**, v.26, p.935-938, 2003.

ZHANG, W. et al. Differential Tolerance of Rice (*Oryza sativa*) Varieties to Clomazone. **Weed Technology**, v.18, p.73-76, 2004.

**UNIVERSIDADE DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS:
CONTROLE DO ARROZ-VERMELHO, PERSISTÊNCIA
DE HERBICIDAS E FLUXO GÊNICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Silvio Carlos Cazarotto Villa

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2006

**ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS: CONTROLE DO
ARROZ-VERMELHO, PERSISTÊNCIA DE HERBICIDAS E
FLUXO GÊNICO**

por

Silvio Carlos Cazarotto Villa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchezan

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2006

V712a	<p>Villa, Silvio Carlos Cazarotto, 1981-</p> <p>Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo gênico / por Silvio Carlos Cazarotto Villa; orientador Enio Marchezan. – Santa Maria, 2006. 53 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2006.</p> <p>1. Agronomia 2. Arroz irrigado 3. Sistema Clearfield 4. Imazapic 5. Imazethapyr 6. IRGA 422 CL 7. Only® 8. Tuno CL. I. Marchezan, Enio, orient. II. Título</p> <p>CDU: 633.18.03</p>
-------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2006

Todos os direitos autorais reservados a Silvio Carlos Cazarotto Villa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Roraima, Depto de Fitotecnia, prédio 44, sala 5335. Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900

Fone (0xx)55 2208451; (0xx)55 99355092; End. Eletr: silviovilla@msn.com

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado

**ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS: CONTROLE DO ARROZ-
VERMELHO, PERSISTÊNCIA DE HERBICIDAS E FLUXO GÊNICO**

elaborada por
Silvio Carlos Cazarotto Villa

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Enio Marchezan, Dr.
(Presidente/Orientador)

Hector Vicente Ramirez Benitez, Dr. (IRGA)

Sérgio Luiz de Oliveira Machado, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 30 de março de 2006.

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais

Ademir Villa
Cleci Cazarotto Villa

Aos meus irmãos

Cledemir
Mateus

Aos meus afilhados

Rafael
Bruna

AGRADECIMENTOS

À DEUS.

À toda minha família, pelo apoio, carinho, dedicação em minha formação e pelas horas de convivência que lhes foram suprimidas.

À minha namorada Fernanda, pela compreensão, amor, carinho e constante incentivo.

Ao professor Enio Marchezan, pela amizade, dedicação, ensinamento e orientação durante os cursos de Graduação e Pós-Graduação. Aos professores Sérgio Luiz de Oliveira Machado, Luis Antonio de Avila e a professora Lia Reiniger pela co-orientação e amizade.

À Universidade Federal de Santa Maria, por ter me acolhido desde a formação Técnica até a conclusão do curso de Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Aos estagiários e ex-estagiários do Setor de Agricultura da Universidade Federal de Santa Maria, em especial aos bolsistas Gustavo Mack Telo e Paulo Fabrício Sachet Massoni pelo apoio nos trabalhos de pesquisa e aos meus sempre amigos, Gelson Difante, Tommi Segabinazzi e Ricardo Posser da Silva.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia, em especial aos colegas Edinalvo Rabaioli Camargo, Fernando Machado dos Santos e Victor Marzari, pelo convívio e amizade de vários anos.

À TODOS meus amigos que tornaram a minha vida em Santa Maria, durante esses anos, mais feliz e agradável.

À todos aqueles que, direta ou indiretamente contribuíram pelo êxito do trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado em Agronomia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS: CONTROLE DO ARROZ-VERMELHO, PERSISTÊNCIA DE HERBICIDAS E FLUXO GÊNICO

AUTOR: SILVIO CARLOS CAZAROTTO VILLA

ORIENTADOR: ENIO MARCHEZAN

Santa Maria, 30 de março de 2006.

O arroz-vermelho (*Oryza* spp.) é um dos principais fatores limitantes da produtividade de grãos do arroz irrigado (*O. sativa* L.). Após várias décadas de busca de alternativas para o controle seletivo do arroz-vermelho, desenvolveram-se genótipos de arroz tolerante a herbicida do grupo químico das imidazolinonas, o qual controla eficiente e seletivamente esta planta daninha. Para estudar e melhor entender esta tecnologia, conduziu-se dois experimentos em Santa Maria-RS no ano agrícola 2004/05. O primeiro experimento (Capítulo I) teve como objetivos: 1) avaliar a eficiência do controle de arroz-vermelho com o herbicida Only[?] (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹), 2) avaliar o residual do herbicida no solo através dos danos causados no azevém e em arroz não tolerante e 3) avaliar a taxa de ocorrência de cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado. O herbicida testado controla eficientemente o arroz-vermelho em arroz tolerante. Embora tenha-se observado fitotoxicidade, não houve redução na produtividade da cultivar tolerante. O estande inicial da cultivar IRGA 417 é afetado pelo residual do herbicida presente no solo. Ocorre cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado, sendo que a taxa de ocorrência obtida no experimento foi de 0,065%. O segundo experimento (Capítulo II) teve como objetivo avaliar o controle de arroz-vermelho e o desempenho de dois genótipos de arroz irrigado, IRGA 422 CL e Tuno CL, tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas a doses e épocas de aplicações do herbicida Only[?], em áreas com alta infestação de arroz-vermelho. Constata-se que o híbrido é mais tolerante ao herbicida Only[?], quando comparado à cultivar IRGA 422 CL, sendo possível a utilização de dose total de até 2,0 L ha⁻¹ no híbrido, em áreas com alta infestação de arroz-vermelho, sem afetar a produtividade. O controle de arroz-vermelho é total com aplicação fracionada do herbicida em pré e pós-emergência (PRE + POS), desde que o total aplicado não seja inferior a 1,25 L ha⁻¹. Esta condição é atendida pelo tratamento com 0,75 L ha⁻¹ em PRE mais 0,5 L ha⁻¹ em POS, o qual propicia a menor dose total dentre aqueles com 100% de controle, não afetando a produtividade e com fitotoxicidade semelhante ao tratamento com 1,0 L ha⁻¹ em POS, utilizado como referência.

Palavras-chave: Sistema Clearfield, imazapic, imazethapyr, IRGA 422 CL, Only[®], Tuno CL.

ABSTRACT

M.S. Dissertation in Agronomy
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

IMIDAZOLINONE TOLERANT RICE: RED RICE CONTROL, HERBICIDE PERSISTENCE AND OUTCROSSING

AUTHOR: SILVIO CARLOS CAZAROTTO VILLA

ADVISER: ENIO MARCHEZAN

Santa Maria March 30, 2006.

Red rice (*Oryza* spp.) is one of the main limiting factors to rice (*O. sativa* L.) yield. After several decades searching for red rice control tools, it was developed imidazolinone tolerant rice, to selectively control red rice. To better understand this technology it were conducted two experiments in 2004/05, in Santa Maria, Rio Grande do Sul state, Brazil. The first experiment (Chapter I) had the objective of: 1) evaluate red rice control by imidazolinone herbicides in Clearfield rice; 2) evaluate the imidazolinone herbicide carryover effect on rygrass and non-tolerant rice (IRGA 417) and 3) evaluate the outcrossing rates between Clearfield rice and red rice. The herbicides tested control red rice. Although injury to Clearfield rice was observed, the herbicide did not affected yield. It was observed herbicide carryover to non-tolerant rice, reducing plant stand. There was natural outcrossing between Clearfield rice and red rice, at rates of 0.065%. The second experiment (Chapter II) had the objective of evaluate the herbicide Only[®] (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹) in different application rates and timing on two genotypes, IRGA 422 CL and Tuno CL, to the imidazolinones herbicides. When compared with the cultivar, the hybrid was more tolerant to the herbicide Only[®]. It was possible to apply rates of up to 2.0 L ha⁻¹ in the hybrid, without affecting rice yield. Red rice control was total with split application of Only[®] in PRE and POST, with rates above 1.25 L ha⁻¹. The most efficient treatment was with application of 0.75 L ha⁻¹ in PRE followed by 0.5 L ha⁻¹ in POS, because, it was the lowest rate that promoted 100% control, with relatively low toxicity to the cultivar and without affecting rice yield.

Key words: Clearfield System, imazapic, imazethapyr, IRGA 422 CL, Only[®], Tuno CL.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
CAPÍTULO	
I ARROZ CLEARFIELD: CONTROLE DO ARROZ-VERMELHO, FLUXO GÊNICO E EFEITO RESIDUAL DO HERBICIDA ONLY® EM CULTURAS SUCESSORAS NÃO TOLERANTES	16
Resumo	16
Abstract	17
Introdução	17
Material e Métodos	19
Resultados e discussão	22
Conclusão	27
Referências bibliográficas	27
II CONTROLE DE ARROZ-VERMELHO EM DOIS GENÓTIPOS DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i>) TOLERANTES A HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS	31
Resumo	31
Abstract	32
Introdução	32
Material e Métodos	34
Resultados e discussão	35
Conclusão	41
Referências bibliográficas	41
LITERATURA CITADA GERAL	43
ANEXOS	49

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz é uma das culturas mais importantes no mundo sendo a principal fonte nutricional para pessoas que moram em países em desenvolvimento (CHANG & LUH, 1991). No Brasil, representa cerca de 15% a 20% do total de grãos. A produção de arroz no Brasil é originária, principalmente, de lavouras irrigadas do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), que contribuem com cerca de 60% da produção nacional. Somente o RS, com 25% da área cultivada do País, contribui com mais de 50% do total do arroz produzido e com 6,8% da safra de grãos, além de representar 77% do arroz irrigado colhido no País (AZAMBUJA et al., 2004). Apesar do Rio Grande do Sul ser o maior produtor nacional e apresentar produtividade superior a 6 t ha^{-1} , tem enfrentado sérios problemas devido a ocorrência de arroz-vermelho, estando presente quase na totalidade das áreas arrozeiras do Estado.

Dentre as principais razões para a crescente infestação de arroz-vermelho, citam-se o cultivo sucessivo de arroz, o uso de sementes não isentas de arroz-vermelho e a ineficácia das práticas isoladas de manejo adotadas pelos agricultores. Ainda, no Estado, os principais sistemas de semeadura do arroz são o cultivo mínimo e cultivo convencional, o que sabidamente não são os melhores sistemas para o controle do arroz-vermelho. Já em SC, este problema é minimizado pela utilização do sistema pré-germinado, o qual consiste em semear, sob lâmina de água, as sementes já germinadas do arroz cultivado. Assim, as sementes de plantas daninhas, principalmente as gramíneas, presentes no solo encharcado e com o oxigênio praticamente ausente, não conseguem germinar.

O arroz-vermelho é considerado planta daninha, causando sérios problemas na maior parte das áreas cultivadas com arroz irrigado do mundo. Não é aceito como arroz tipo comercial devido a coloração avermelhada do pericarpo que não é completamente removida durante o processo de polimento no beneficiamento, depreciando a qualidade, e conseqüentemente, o valor comercial do arroz cultivado (OLIVEIRA & BARROS, 1986; MENEZES et al., 1997). Segundo LEITÃO FILHO et al. (1972), além da coloração avermelhada do pericarpo, o arroz-vermelho apresenta alta debulha natural, com plantas mais altas do que as cultivares de arroz de porte moderno sendo mais suscetíveis ao acamamento, apresenta maior perfilhamento e a

suas sementes possuem altos índices de dormência. Estas características fazem do arroz-vermelho a mais importante planta daninha do arroz irrigado.

Botanicamente, o arroz-vermelho pertence a mesma espécie do arroz cultivado. Devido à semelhança entre ambos, o controle com herbicidas torna-se difícil (LORENZI, 1991), sendo inviável o uso de herbicidas seletivos ao arroz (COBUCCI & NOLDIN, 1999). Assim, seu controle requer a combinação de múltiplas ações, como: emprego de sementes isentas de arroz-vermelho, mudança no sistema de cultivo, uso da rotação de culturas, manejo adequado da água de irrigação e adoção de técnicas culturais alternativas (FISCHER & RAMIREZ, 1993).

O desenvolvimento de plantas de arroz tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, apresenta-se como alternativa para o controle seletivo de arroz-vermelho na lavoura de arroz. Estas plantas foram oriundas de mutação induzida por radiação gama e/ou transformação química por etil metanosulfonato – EMS (CROUGHAN, 1998). Os herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas são inibidores da enzima acetolactato sintetase (ALS), a qual é essencial para a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada (valina, isoleucina e leucina). Estes herbicidas são no geral móveis tanto no xilema como no floema, podendo ser absorvidos e translocados tanto a partir das folhas como das raízes, com níveis diferentes para os vários produtos. Com a inibição da síntese dos aminoácidos há paralisação no crescimento celular e na síntese de DNA. Também inibem o transporte de fotossintetizados a partir das folhas verdes. O uso desses herbicidas em genótipos tolerantes constitui-se, assim, numa ferramenta eficiente para o controle de arroz-vermelho (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003; WEBSTER et al., 1998).

O grupo químico das imidazolinonas, ao qual pertencem os herbicidas imazapic e imazethapyr, apresenta como principais mecanismos de dissipação a degradação microbiana (GOETZ et al., 1990) e a decomposição fotolítica, especialmente quando exposto à luz ultravioleta (MALLIPUDI et al., 1991). O comportamento das imidazolinonas no solo é fortemente afetado por propriedades do solo como o pH (LOUX & REESE, 1992), a umidade (BAUGHMAN & SHAW, 1996), o teor de matéria orgânica (STOUGAARD et al., 1990) e a textura (LOUX & REESE, 1993). Já, a mobilidade e a eficiência geralmente decrescem com o aumento da sorção pelos colóides do solo. A variabilidade das propriedades físicas e químicas do solo pode provocar uma retenção diferencial dos herbicidas que, por

sua vez, reflete numa disponibilidade diferencial do herbicida na solução do solo, podendo gerar uma variação no controle das plantas daninhas (GERSTL, 2000), especialmente em grandes áreas cultivadas onde a aplicação do herbicida é feita numa única dose. A retenção diferencial também pode acarretar numa variabilidade no potencial de lixiviação do produto (OLIVEIRA Jr. et al., 1999) ou na sua permanência no solo por um determinado período.

Segundo RENNERT et al. (1998) herbicidas do grupo das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos e, dependendo da cultura sucessora, podem causar fitotoxicidade (BALL et al., 2003). MONKS & BANKS (1991) observaram danos leves no milho e severo no algodão quando o imazaquin foi aplicado na cultura da soja no ano anterior. RENNERT et al. (1988) observaram dano significativo no milho quando aplicado imazaquin um ou dois anos antes. Para o imazethapyr, foram observados danos moderados no milho (MILLS & WITT, 1989). JOHNSON et al. (1992) observou danos leves, mas significantes na cultura do arroz quando aplicou-se imazethapyr na soja no ano anterior.

Os resultados de persistência do imazethapyr no solo, se baseiam em estudos realizados nos Estados Unidos e Europa, onde as condições edafoclimáticas são diferentes das encontradas no Brasil, o que modifica o comportamento no solo e, conseqüentemente, a resposta de culturas não tolerantes semeadas em sucessão. No Brasil, há indícios de que resíduos de imazethapyr possam afetar o milho e sorgo cultivados após a soja (SILVA et al., 1999a, 1999b). Em solos de várzea, onde é cultivado o arroz irrigado, a persistência destes herbicidas pode ocorrer por um período maior, pois a dissipação é rápida em solos com temperatura e conteúdo de umidade que favorecem atividade microbiana (GOETZ et al., 1990, LOUX & REESE 1993). Assim, deve-se utilizar o preparo do solo e manter a área drenada sempre que possível para que a radiação solar aumente a temperatura do solo e os microorganismos atuem na degradação destes herbicidas.

A utilização de culturas de inverno como pastagem, na rotação lavoura-pecuária, ou a escolha por implementar cultivares de arroz não tolerante podem ser prejudicadas pela presença de herbicidas no solo. Segundo WILLIAMS et al. (2002), a produção de culturas não tolerantes pode ser comprometida caso o intervalo entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura da cultura em rotação não for observado. Os autores ainda salientam que o arroz não tolerante deve ser semeado a partir do

18º mês após a aplicação de imazethapyr. O uso continuado de arroz tolerante, sem rotação, provocará grande pressão de seleção no arroz-vermelho, gerando biótipos de arroz-vermelho tolerantes a esse herbicida. Por isso, preconiza-se, que após o uso do imazethapyr por dois anos, deva-se deixar o solo em pousio por, no mínimo, um ano ou utilizar uma cultura sucessora tolerante.

A eficiência do controle de arroz-vermelho com o uso do imazethapyr varia, entre outros fatores, com a dose e a época de aplicação do produto. Doses de 36 a 140 g/ha aplicados em vários estágios de desenvolvimento do arroz-vermelho mostram-se eficientes (DILLON et al., 1998; STEELE et al., 2000; WHITE & HACKWORTH 1999), mas quando a dose aplicada em pós-emergência é elevada pode causar injúria às plantas de arroz de cultivares com menor tolerância, resultando em redução da produtividade.

O controle de arroz-vermelho pelo herbicida imazethapyr é afetado pelo manejo da água, que é o fator que determina a quantidade de imazethapyr disponível para ser absorvido pela planta, tornando-se mais disponível com umidade do solo elevada (SCIUMBATO et al., 2003). AVILA et al. (2005) citam como sendo necessário o estabelecimento de lamina de água até 14 dias após a aplicação do herbicida, quando o mesmo é aplicado em pós-emergência (POS) precoce e aos sete dias após a emergência, quando aplicado em POS-médio. Já WILLIAMS et al. (2002) relata que se a umidade do solo baixar demais após a aplicação em pré-emergência (PRE) ou quando o intervalo entre a aplicação em POS e a irrigação definitiva for maior, o controle de arroz-vermelho é reduzido drasticamente, comprometendo o sucesso deste sistema.

Neste sistema, para o controle de 100% do arroz-vermelho há necessidade de duas aspersões de imazethapyr, uma em PRE e outra em POS (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003). Embora o controle de arroz-vermelho seja eficiente, geralmente não chega a 100%. Em vista disso, a longo prazo, pode comprometer o sistema pelo fato de que o arroz-vermelho não controlado, pode cruzar com o arroz cultivado. Diversos estudos têm mostrado que o arroz-vermelho pode cruzar naturalmente com o arroz cultivado (GEALY et al., 2003) produzindo híbridos que poderiam incorporar características de ambos, aumentando a sua agressividade como planta daninha (NOLDIN et al., 2002). Apesar do arroz ser uma planta autógama, a literatura menciona a ocorrência de fecundação cruzada, em taxas ao redor de 1% (GEALY et al., 2003; MESSEGUER et al., 2001), variando com o

ambiente e genótipos, tendo sido relatadas taxas de cruzamento superiores a 50% (LANGEVIN et al., 1990).

Recentemente, pela introdução de plantas transgênicas na agricultura, muitos estudos têm-se desenvolvido com o objetivo de avaliar o fluxo gênico entre o arroz geneticamente modificado (GM) e o arroz comercial não GM. Estes estudos mostraram que ocorre fluxo gênico entre o arroz-vermelho e o arroz GM quando cultivados lado a lado ou em distâncias curtas (SANDERS et al., 1998; MESSEGUER et al., 2001; NOLDIN et al., 2002). Sob condições de plena sincronia na floração entre a planta daninha e o arroz GM e considerando este arroz como doador ou receptor de pólen, os autores reportaram taxas de cruzamento que variaram de 0,02 a 0,26% (NOLDIN et al., 2002). MESSEGUER et al. (2001) detectaram taxas de fluxo gênico entre o arroz GM e o não GM inferiores a 0,1% em parcelas localizadas lado a lado. Assim, qualquer gene de tolerância introduzido em cultivares comerciais de arroz poderá em curto espaço de tempo ser incorporado ao complexo de arroz-vermelho infestante das lavouras comerciais, através do fluxo de pólen das cultivares geneticamente modificados. Para isso, é necessária a avaliação do comportamento dos híbridos resultantes, visando gerar conhecimento sobre possíveis alterações nas características das plantas híbridas originárias do cruzamento entre o arroz transgênico e o arroz-vermelho (NOLDIN et al., 2004).

Nas condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, MAGALHÃES et al. (2001) fizeram análise de mais de 250 mil sementes de arroz-vermelho e os resultados indicam que a taxa de cruzamento entre os genótipos de arroz testados foi baixa, variando de 0,1% a 0,04%. De acordo com os mesmos autores, a taxa de cruzamento é dependente da coincidência da floração entre os genótipos e a probabilidade da ocorrência de cruzamento é maior a curta distância, não existindo em distâncias superiores a cinco metros. Nos Estados Unidos, DILLON et al. (2002) encontraram três plantas de arroz-vermelho híbridas em 12 mil sementes analisadas e ESTORNINOS et al. (2003) mencionam que as taxas de cruzamento entre o arroz tolerante e o arroz-vermelho variam com a cultivar e, embora numericamente pequeno, podem resultar em centenas ou milhares de plantas, dependendo do nível de infestação na área. Para DILLON et al. (2002), o fluxo gênico só ocorre caso aconteça deficiência no controle de arroz-vermelho; por isso as aplicações de herbicidas devem ser monitoradas visando preservar esta tecnologia. Assim, com

possível surgimento de biótipos de arroz-vermelho tolerante a imidazolinonas, a longevidade do sistema pode ser reduzida.

Em vista do exposto, faz-se necessário estudar a melhor combinação de épocas e doses destes herbicidas para o controle do arroz-vermelho e os seus efeitos no solo, além da taxa de cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado.

CAPÍTULO I

ARROZ CLEARFIELD: CONTROLE DO ARROZ-VERMELHO, FLUXO GÊNICO E EFEITO RESIDUAL DO HERBICIDA ONLY® EM CULTURAS SUCESSORAS NÃO TOLERANTES

CLEARFIELD RICE: RED RICE CONTROL, OUTCROSSING AND HERBICIDE CARRYOVER TO NON-TOLERANTS CROPS

Resumo

Após várias décadas de busca de alternativas para o controle do arroz-vermelho, desenvolveram-se genótipos de arroz tolerante a herbicida do grupo químico das imidazolinonas, o qual controla eficientemente esta planta daninha no Sistema Clearfield. O experimento teve como objetivos: 1) avaliar a eficiência do controle de arroz-vermelho com o herbicida Only[®] (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹), 2) avaliar o residual do herbicida no solo através dos danos causados no azevém e em arroz não tolerante e 3) avaliar a taxa de ocorrência de cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três tratamentos e 12 repetições. Para determinar o fluxo gênico entre o arroz tolerante a imidazolinonas e o arroz-vermelho, coletou e analisou-se as panículas de arroz-vermelho não controladas. O efeito residual do herbicida em culturas não tolerante foi verificado através de coleta de fitomassa de azevém e do estande inicial da cultivar de arroz não tolerante semeada no ano seguinte. O herbicida testado controla eficientemente o arroz-vermelho em arroz tolerante e a fitotoxicidade inicial não reduz a produtividade da cultivar tolerante. O estande inicial da cultivar IRGA 417 é afetado pelo residual do herbicida presente no solo. Os resultados mostram também que ocorre cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado sendo que a taxa obtida no experimento foi de 0,065%.

Palavras-chave: IRGA 422 CL, imazethapyr, imazapic, persistência.

Abstract

After several decades searching for tools to control red rice, it was developed imidazolinone tolerant rice, to selectively control red rice. To better understand this technology it were conducted two experiments in 2004/05, in Santa Maria, Rio Grande do Sul state, Brazil. The experiment had the objective of: 1) evaluate red rice control by imidazolinone herbicides in Clearfield rice; 2) evaluate the imidazolinone herbicide carryover effect on rygrass and non-tolerant rice (IRGA 417) and 3) evaluate the outcrossing rates between Clearfield rice and red rice. The experimental design was a randomized block design, with 3 treatments and 12 replications. To determine the outcrossing rates between Clearfield rice and red rice, it was collected and analyzed virtually all red rice panicle in the area. The carryover affect we tested using rygrass and a non-tolerant rice cultivar (IRGA 417). The herbicides tested control red rice. Although injury to Clearfield rice was observed, the herbicide did not affected yield. It was observed herbicide carryover to non-tolerant rice, reducing plant stand. There was natural outcrossing between Clearfield rice and red rice, at rates of 0.065%.

Key words: IRGA 422 CL, imazethapyr, imazapic, persistence.

Introdução

A produtividade média de arroz no Rio Grande o Sul cresceu, nas últimas décadas, atingindo médias acima de 6 t ha⁻¹. No entanto, o fator que mais se destaca como limitante ao aumento do potencial de rendimento é o controle insatisfatório de plantas daninhas, especialmente do arroz-vermelho, o que ainda causa elevadas reduções na produção do cereal. No Sul do Brasil, o arroz-vermelho (*Oryza sativa*) constitui-se na principal planta daninha de áreas cultivadas com arroz irrigado por inundação (AGOSTINETTO et al., 2001). Por pertencerem à mesma espécie, o arroz-vermelho e o cultivado apresentam elevada similaridade morfofisiológica, o que dificulta o controle seletivo, fazendo-se necessário utilizar métodos culturais de controle, dentre os quais se destaca a utilização de cultivares que detêm elevada capacidade competitiva (BALBINOT Jr. et al., 2003b).

Como alternativa de controle químico do arroz-vermelho, desenvolveu-se plantas de arroz tolerantes a herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas, através de mutação induzida por radiação gama e/ou transformação química por etil metanosulfonato – EMS (CROUGHAN, 1998). A partir da safra 1998/1999, pesquisadores do Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) iniciaram o processo de transferência dessa característica, através de retrocruzamento, para seus genótipos (LOPES et al., 2001). Os herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas são inibidores da acetolactato sintetase (ALS), que é a enzima chave na biossíntese dos aminoácidos isoleucina, leucina e valina. Esses herbicidas são absorvidos pelas raízes e partes aéreas das plantas e translocados pela via apoplástica, acumulando-se nos tecidos meristemáticos (VIDAL, 1997). Podem também possuir residual no solo (RENNER et al., 1998), o que impede a emergência de novas plântulas por um determinado período. O uso desses herbicidas em genótipos de arroz tolerante permite o controle seletivo do arroz-vermelho e outras plantas daninhas (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003; WEBSTER et al., 1998).

Segundo RENNER et al. (1998) herbicidas do grupo das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos e, dependendo da cultura sucessora, podem causar fitotoxicidade (BALL et al., 2003). A utilização de culturas de inverno como pastagem, na rotação lavoura-pecuária, ou a escolha por implementar cultivares de arroz não tolerante podem ser prejudicadas pela presença de herbicidas no solo. Segundo WILLIAMS et al. (2002), a produção de culturas não tolerantes pode ser comprometida caso o intervalo entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura da cultura em rotação não for observado. O arroz não tolerante deve ser semeado, por exemplo, a partir do 18º mês após a aplicação de imazethapyr. Porém, o uso continuado de arroz tolerante, sem rotação, provocará grande pressão de seleção no arroz-vermelho, gerando biótipos de arroz-vermelho tolerantes a esses herbicidas. Por isso, recomenda-se, após o uso do herbicida por dois anos, deixar o solo em pousio por, no mínimo, um ano.

Para que se possa atingir o nível máximo de controle nesse sistema, há a necessidade de duas aspersões de imazethapyr, uma em pré-emergência e uma em pós-emergência (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003). A eficiência do controle de arroz-vermelho com o uso do imazethapyr varia, entre outros fatores, com a dose e a época de aplicação do produto. Embora o controle de arroz-vermelho, através do uso desses herbicidas, seja eficiente, geralmente não chega a 100%. Isso pode

ocasionar, a longo prazo, problemas ao sistema, pois por menor que seja a percentagem de arroz-vermelho não controlado, este pode cruzar com o arroz cultivado. Estudos indicam que pode ocorrer fluxo gênico entre o arroz tolerante a herbicidas e o arroz-vermelho, fluxo que fica em menos de 1,0% (GEALY et al., 2003). Nas condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, MAGALHÃES et al. (2001) fizeram análise de mais de 250 mil sementes de arroz-vermelho e os resultados indicam que a taxa de cruzamento entre os genótipos de arroz testados foi baixa, variando de 0,1% a 0,04%. De acordo com os mesmos autores, a taxa de cruzamento é dependente da coincidência da floração entre os genótipos e a probabilidade da ocorrência de cruzamento é maior a curta distância, não existindo em distâncias superiores a cinco metros.

Já nos Estados Unidos, DILLON et al. (2002) encontraram três plantas de arroz-vermelho híbridas em 12 mil sementes analisadas e ESTORNINOS et al. (2003) citam que as taxas de cruzamento entre o arroz tolerante e o arroz-vermelho variam dependendo da cultivar e, embora numericamente pequeno, podem resultar em centenas ou milhares de plantas, dependendo do nível de infestação na área. Segundo DILLON et al. (2002), o fluxo gênico só ocorre caso aconteça um fracasso no controle de arroz-vermelho no campo, por isso as aplicações dos herbicidas devem ser monitoradas em nível de campo para preservar esta tecnologia. Com o possível surgimento de biótipos de arroz-vermelho tolerante a imidazolinonas, a longevidade do sistema de controle pode ser reduzida.

Em vista do exposto, foi conduzido um experimento com o objetivo de 1) avaliar a eficiência do controle de arroz-vermelho com o herbicida Only⁷ (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹), 2) avaliar o residual do herbicida no solo através dos danos causados no azevém e em arroz não tolerante e 3) avaliar a taxa de ocorrência de cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, em um Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico (pH_{água}(1:1)= 5,0; P= 8,0 mg dm⁻³; K= 32 mg dm⁻³; argila= 20%; M.O.= 1,6%; Ca= 3,3 cmol_c dm⁻³; Mg= 1,0 cmol_c dm⁻³ e Al= 0,6 cmol_c dm⁻³), localizado na área de pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria em

Santa Maria-RS. O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com três tratamentos e doze repetições (Tabela 1).

Para homogeneizar o banco de sementes de arroz-vermelho, um dia antes da semeadura do arroz, distribuiu-se a lanço e incorporou-se ao solo a quantidade de 200 kg ha^{-1} de sementes de arroz-vermelho, obtendo-se população média de 260 plantas de arroz-vermelho m^{-2} . A semeadura da cultivar tolerante, IRGA 422 CL, foi realizada no dia 28/10/2004, utilizando-se 120 kg ha^{-1} de sementes com semeadora de 11 linhas espaçadas em 0,175 m. A cultura foi implantada no sistema convencional de semeadura. A adubação de base foi aplicada junto à semeadura e constou de 7 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 70 de P_2O_5 , e 105 de K_2O . A emergência ocorreu dia 10/11/2004.

A aplicação do herbicida em pré-emergência (PRE), um dia após a semeadura, foi efetuada com um pulverizador costal pressurizado com CO_2 munido de pontas leque 11002, com uma vazão de 125 L ha^{-1} . O grau de umidade do solo no momento dessa aplicação encontrava-se adequado para a germinação das sementes, sendo que na semana seguinte ocorreu precipitação pluvial de 50 mm, constituindo-se numa condição favorável para aplicação em PRE desse herbicida. A aplicação em pós-emergência (POS), foi efetuada aos 14 dias após a emergência (DAE) quando as plantas do arroz cultivado encontravam-se no estágio V4 (COUNCE et al., 2000) e as de arroz-vermelho encontravam-se em V5. A vazão utilizada foi de 150 L ha^{-1} , com adição de $0,5\% \text{ v.v.}^{-1}$ de óleo mineral emulsionável.

Um dia após a aplicação do tratamento em POS, a área foi inundada, mantendo-se lâmina d'água constante de aproximadamente 5 cm de altura. Entre os blocos havia isolamento por taipas confeccionadas por taipadeira acoplada a um trator. As parcelas testemunhas (T1) foram isoladas das demais por placas de PVC (0,3 m de altura), as quais foram enterradas 0,15 m no solo. Deixou-se uma borda livre nas taipas para reter a água proveniente da chuva, evitando que a água das parcelas extravasasse. Com isso, foi retido todo o herbicida das parcelas, para verificar o efeito máximo do produto nas culturas sucessoras não tolerantes. O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia e parcelado em três épocas: 7 kg ha^{-1} de N na semeadura; 60 kg ha^{-1} de N no estágio V4, um dia antes da inundação; e 60 kg ha^{-1} de N na inicia  o da panícula (R0). Juntamente com a segunda aplica  o de N em cobertura, foi utilizado 500 g ha^{-1} do inseticida carbofuran para controlar larvas do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

Aos 19 dias após a emergência (DAE), determinou-se o estande inicial através da contagem da população de plantas em um metro de comprimento da linha de semeadura. No mesmo local, efetuou-se a contagem do número colmos aos 23 e 48 DAE. Nessa mesma área, determinou-se o número de panículas por planta e coletou-se 10 panículas, das quais determinou-se o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos. A avaliação de fitotoxicidade ao arroz tolerante foi realizada aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos em POS. As avaliações do controle de arroz-vermelho foram realizadas aos 62 dias após a aplicação do tratamento em POS (DAT), no dia da colheita, sendo os valores estimados visualmente utilizando uma escala de 0 a 100%, onde 0= sem fitotoxicidade ou controle e 100= morte das plantas ou controle completo.

A produtividade de grãos foi determinada através da colheita manual, em área de 5,25 m² (5,0 x 1,05 m), quando os grãos apresentavam umidade média de 20%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha⁻¹.

Para determinar o fluxo gênico entre arroz-vermelho e arroz tolerante a imidazolinonas, coletou-se todas as panículas das plantas não controladas, nas parcelas, onde foram aplicados os herbicidas para controle de arroz-vermelho. O fluxo gênico foi determinado através do número de sementes de arroz-vermelho, oriundas do cruzamento deste com o arroz tolerante, sendo utilizada a metodologia baseada no teste de germinação (SILVA, 2003). Aos quatro dias após a semeadura em papel de germinação foi realizada a avaliação, na qual foram consideradas oriundas do cruzamento as plantas que germinaram normalmente.

O efeito residual dos herbicidas em culturas não tolerante foi verificado através de coleta de fitomassa da cultura do azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e da avaliação do estande inicial da cultivar não tolerante (IRGA 417) semeada no ano subsequente em um terço das parcelas. A coleta da fitomassa do azevém foi realizada em um quadrado de 50x50 cm, aos 119 e 137 DAS, o qual foi semeado durante o período de inverno, após a colheita do arroz, na densidade de 40 kg ha⁻¹. A avaliação do estande inicial da cultivar não tolerante foi realizada através da contagem da população de plantas em um metro de comprimento da linha de semeadura. No referido ano foi utilizado o sistema plantio direto para não haver contaminação do solo entre as parcelas caso fosse realizado o preparo convencional.

Os dados foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P=0,05$). Para a análise estatística, os dados de controle de arroz-vermelho e fitotoxicidade foram transformados para $yt = \arcseno\sqrt{(y - 0,5)/100}$ e os demais dados em porcentagem foram transformados para $yt = \sqrt{y - 1}$.

Resultados e discussão

Não houve influência dos tratamentos com herbicidas no estande inicial do arroz (Tabela 1), demonstrando que a aplicação em PRE de Only⁹, não afetou a emergência do arroz tolerante. O número de colmos por planta do arroz, aos 23 DAE, foi menor quando se aplicou o herbicida apenas em POS, porém o número de colmos por planta avaliado aos 48 DAE não foi afetado pelo herbicida. Isto indica que a fitotoxicidade do herbicida, que foi superior no tratamento com a aplicação apenas em POS, retardou a emissão de perfilhos. No entanto as plantas compensaram essa diminuição através da emissão de novos colmos mais tardiamente. Aos 48 DAE, a testemunha apresentou menor número de colmos por plantas, isso se deve provavelmente à competição por espaço físico com as plantas de arroz-vermelho (MARCHEZAN, 1994), que apresenta maior capacidade de perfilhamento que o arroz cultivado (DIARRA et al., 1985).

O controle do arroz-vermelho obtido no experimento foi, em torno de 98-99%, contudo o controle não foi total, possibilitando escape da planta daninha, o que pode resultar em seu cruzamento natural com o arroz cultivado, gerando biótipos tolerantes ao herbicida (GEALY et al., 2003). Devem ser ressaltadas duas práticas de manejo que contribuíram para esses índices de controle do arroz-vermelho, a aplicação precoce dos herbicidas e a irrigação imediatamente após a aplicação do herbicida em POS, estando de acordo com relatos de WILLIAMS et al. (2002), pois a irrigação proporciona maior disponibilidade e absorção do herbicida pelas plantas. Além disso, a água atua como barreira física para a emergência das plantas de arroz-vermelho, auxiliando no controle e evitando o surgimento de novas plantas.

Tabela 1. Estande inicial (EI), número de colmos por planta, fitotoxicidade (FITO) às plantas de arroz irrigado aos 15 dias após a aplicação do tratamento em POS (DAT) e controle de arroz-vermelho (AV) aos 62 DAT e na colheita da cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria, RS. 2006.

Tratamentos			EI	Colmos por planta		FITO	Controle de AV	
	Herbicida	PRE ^{1/} POS ^{2/}		23 DAE	48 DAE		62 DAT	Pré-colheita
		g de i.a. ha ⁻¹	plantas m ⁻²	----- n° -----			-----% ^{4,5/} -----	
Testemunha	0	0	250 ^{ns}	2,1 ab ^{6/}	2,3 b	---	---	---
Imazethapyr +imazapic ^{3/}	0	100	246	1,9 c	5,3 a	23 a	99 ^{ns}	98 ^{ns}
Imazethapyr +imazapic	50	50	234	2,3 a	5,3 a	17 b	99	98
Média			243	2,1	4,3	13	99	98
C.V.(%)			12,5	15,3	6,8	14,0	8,8	1,4

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Recomendação para o cultivo do arroz Clearfield no Brasil; ^{4/} Para a análise, os dados foram transformados para $y' = \arccos(\sqrt{(y - 0,5)/100})$; ^{5/} Controle de AV e a fitotoxicidade no arroz foram avaliados visualmente em percentagem, onde 0 corresponde a ausência de controle ou fitotoxicidade e 100 para controle total ou morte de plantas de arroz; ^{6/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra, diferem pelo teste de Tukey (P=0,05);

^{ns} Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

A estatura de plantas, avaliada no momento da colheita, não foi afetada pela aplicação do herbicida (Tabela 2). Para os componentes do rendimento, panículas por metro quadrado, espiguetas por panícula, esterilidade de espiguetas e massa de mil grãos, não houve diferença significativa entre os tratamentos. A produtividade de grãos da cultivar IRGA 422 CL não foi afetada pelos tratamentos com o herbicida, ainda que na avaliação de fitotoxicidade inicial tenha ocorrido diferenças entre os tratamentos, evidenciando que houve recuperação das plantas. Relatos da literatura demonstram resultados semelhantes, utilizando herbicidas do mesmo grupo (OTTIS et al., 2003 e AGOSTINETTO et al., 2005). O tratamento com aplicação do herbicidas apenas em POS ocasionou maior fitotoxicidade, mas sem reflexos na produtividade. Porém, em condições adversas para o desenvolvimento da cultura, essa fitotoxicidade pode afetar a produtividade de grãos. HACKWORTH et al. (1998) e STEELE et al. (2000) também afirmam que a injúria causada pelo imazethapyr é mais severa após a aplicação em POS, se comparado à aplicação em PRE.

Tabela 2. Estatura de plantas (Estatura), panículas por metro quadrado (PMQ), espiguetas por panícula (EP), esterilidade de espiguetas (EE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos da cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria, RS. 2006.

Tratamentos			Estatura	PMQ	EP	EE	MMG	Produtividade de grãos
HERBICIDA	PRE ^{1/}	POS ^{2/}						
	g de i.a. ha ⁻¹		cm	nº	nº	% ^{4/}	g	kg ha ⁻¹
Testemunha	0	0	--- ^{5/}	---	---	---	---	---
Imazethapyr +imazapic ^{3/}	0	100	74 ^{ns}	662 ^{ns}	74 ^{ns}	24 ^{ns}	28 ^{ns}	5765 ^{ns}
Imazethapyr +imazapic	50	50	73	632	81	25	28	5764
Média			74	647	78	25	28	5765
C.V.(%)			3,5	10,8	14,0	12,3	3,8	9,8

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Recomendação para o cultivo do arroz Clearfield no Brasil; ^{4/} Para a análise, os dados foram transformados para $y\sqrt{t} \sqrt{y} \sqrt{t}$; ^{5/} Dados não coletados devido ao alto grau de acamamento das plantas, afetando drasticamente o crescimento e desenvolvimento da cultura;

^{ns} Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro

Devido ao alto grau de acamamento das plantas na parcela testemunha, afetando o crescimento e desenvolvimento da cultura, não foi possível avaliar os parâmetros apresentados na Tabela 2 para este tratamento.

Para determinar o fluxo gênico entre arroz-vermelho e arroz tolerante a imidazolinonas, coletou-se e analisou-se todas as 4637 sementes oriundas de plantas não controladas pelo herbicida. Destas, três sementes germinaram normalmente depois de embebidas em solução de imazethapyr, sendo consideradas oriundas do cruzamento (SILVA, 2003). Tais resultados indicam que a taxa de cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz tolerante a imidazolinonas foi de 0,065%. Já DILLON et al. (2002) encontraram três plantas de arroz-vermelho híbridas em 12 mil sementes analisadas e ESTORNINOS et al. (2003) citam que as taxas de cruzamento entre o arroz tolerante e o arroz-vermelho variam de 0,0045% a 0,0014%, dependendo da cultivar. Segundo MAGALHÃES et al. (2001), a taxa de cruzamento é dependente da coincidência da floração entre os genótipos e a probabilidade da ocorrência de cruzamento é maior a curta distância, não existindo em distâncias superiores a cinco metros. Cabe ressaltar que as sementes coletadas

foram oriundas das plantas que estavam na parcela, ou seja, a distância entre o arroz-vermelho e a cultivar tolerante era pequena. Embora numericamente pequenos, esses percentuais podem resultar em centenas ou milhares de plantas, dependendo do nível de infestação na área. Utilizando-se o número de plantas remanescentes na parcela, calculou-se um número de cerca de 700 sementes de arroz-vermelho tolerantes por hectare, apenas no primeiro ano de cultivo.

O efeito residual dos herbicidas em culturas não tolerantes foi mensurado através da coleta de massa seca de azevém (Tabela 3) e estande inicial da cultivar IRGA 417, semeados em sucessão a aplicação dos herbicidas (Tabela 4). Verificou-se que, nas avaliações de massa seca do azevém, o tratamento com menor valor foi a testemunha. Isto se deve a grande quantidade de palha de arroz na superfície do solo, oriunda das plantas de arroz-vermelho e do arroz cultivado, os quais não puderam ser colhidos devido o alto grau de acamamento das plantas na parcela testemunha. Essa palha dificultou o estabelecimento e o desenvolvimento da cultura do azevém, afetando a produção de massa seca.

Tabela 3. Efeito residual do herbicida imazethapyr + imazapic na massa seca (MS) do azevém (*Lolium multiflorum*) coletada aos 119 e 137 dias após a semeadura (DAS). Santa Maria, RS. 2006.

Tratamentos			MS 119 DAS	MS 137 DAS
HERBICIDA	PRE ^{1/}	POS ^{2/}		
	g de i.a. ha ⁻¹		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Testemunha	0	0	1997 b ^{4/}	2760 b
Imazethapyr +imazapic ^{3/}	0	100	2509 a	3130 ab
Imazethapyr +imazapic	50	50	2506 a	3320 ab
Média			2337	3070
C.V.(%)			12,5	13,4

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Recomendação para o cultivo do arroz Clearfield no Brasil; ^{4/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra para cada parâmetro analisado, diferem pelo teste de Tukey (P=0,05).

O estande inicial da cultivar IRGA 417 foi afetado negativamente nos tratamentos com aplicação do herbicida no ano anterior (Tabela 4), indicando que havia quantidade de herbicida no solo suficiente para causar fitotoxicidade ao arroz não tolerante. Em geral, a persistência dos herbicidas do grupo das imidazolinonas

aumenta conforme aumenta o teor de argila e matéria orgânica do solo, diminuindo com o aumento do pH (MANGELS, 1991; OLIVEIRA Jr. et al., 1999; STOUGAARD et al., 1990). Segundo MARSH & LLOYD (1996), para a cultura do milho os maiores danos de persistência do herbicida imazaquin ocorrem quando o pH for menor ou igual a 5,5, sendo assim, nas condições do experimento, com baixo teor de argila e de matéria orgânica, o principal fator de solo que atua na persistência destes herbicidas é o pH. Comparando o estande inicial da cultivar IRGA 417 com o estande da cultivar IRGA 422 CL, observa-se que este foi menor na cultivar não tolerante. Mesmo o estande da cultivar tolerante foi afetado quando no ano anterior utilizou-se herbicidas do grupo das imidazolinonas. Os principais mecanismos à degradação destes herbicidas no solo são a degradação microbiana (GOETZ et al., 1990) e a decomposição fotolítica, especialmente quando exposto à luz ultravioleta (MALLIPUDI et al., 1991). Portanto, deve-se levar em conta o sistema de cultivo utilizado, que foi o plantio direto, assim sendo, ocorre uma menor exposição das partículas do solo a luz e a ação dos microorganismos, diminuindo consequentemente a degradação destes herbicidas.

Tabela 4. Efeito residual do herbicida imazethapyr+imazapic no estande inicial (EI) das cultivar IRGA 417 e IRGA 422 CL, na safra 2005/06, semeada um ano após a utilização de herbicidas do grupo das imidazolinonas. Santa Maria, RS. 2006.

Tratamentos utilizados na safra 04/05			EI		Redução EI	
HERBICIDA	PRE ^{1/}	POS ^{2/}	IRGA 417		IRGA 422 CL	
	g ha ⁻¹ de i.a.		plantas m ⁻²	%	plantas m ⁻²	%
Testemunha	0	0	189 a ^{4/}	0	159 ^{ns}	0
Imazethapyr +imazapic ^{3/}	0	100	137 b	28	147	7,5
Imazethapyr +imazapic	50	50	142 b	25	149	6,0
Média			156	26,5	152	6,75
C.V.(%)			17,4		18,4	

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Recomendação para o cultivo do arroz Clearfield no Brasil; ^{4/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra, diferem pelo teste de Tukey (P=0,05).

Conclusão

O herbicida Only², controla eficientemente o arroz-vermelho em arroz tolerante, e, embora apresente alta fitotoxicidade inicial no primeiro ano de aplicação, não afeta a produtividade da cultivar tolerante.

O estande inicial da cultivar IRGA 417 é afetado pelo residual do herbicida Only² presente no solo.

Ocorre cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado, sendo que a taxa obtida no experimento foi de 0,065%.

Referências bibliográficas

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz-vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 341-349, 2001.

_____. A época de aplicação de imazethapyr afeta o controle de arroz daninho e o desenvolvimento e a produtividade de genótipo de arroz tolerante ao herbicida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. 567p. p.143-145. v. 1.

BALBINOT JR., A.A. et al. Características de plantas de arroz e a habilidade competitiva com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.165-174, 2003b.

BALL, D.A. et al. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotationl crops. **Weed Technology**, vol. 17, n. 1, p. 161-165, 2003.

COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

CROUGHAN, T.P. **Herbicide resistant rice**. In: United States Patent [5,773,704], 1998. Disponível em: <<http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=/netahtml/srchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=5,773,704.WKU.&OS=PN/5,773,704&RS=PN/5,773,704/>>. Acesso em: 19 jan. 2006.

DIARRA, A. et al. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n. 3, p. 310-314, 1985.

DILLON, T.L. et al. Gene flow from Clearfield rice to red rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 29., 2002, Little Rock. **Proceedings...** Little Rock: RTWG, 2002, p. 161.

ESTORNINOS Jr., L.E. et al. Simple sequence repeats analysis of hybridization between IMI rice and red rice. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 56., 2003, Houston. **Proceedings...** Houston: SWSS, 2003, p. 184.

GEALY, D.R. et al. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 627-645, 2003.

GOETZ, A.J.; LAVY, T.L.; GEBUR Jr., E.E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v. 38, n. 2, p. 421-428, 1990.

HACKWORTH, H. M. et al. 1997 field evaluation of imidazolinone tolerant rice. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 51., 1998, **Proceedings...** SWSS, 1998, p.221.

LOPES, M.C.B. et al. Transferência de genes de resistência ao herbicida BAS 68800H para genótipos de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 108-109.

MAGALHÃES Jr., A.M. et al. Avaliação do fluxo gênico entre arroz transgênico, cultivado e arroz-vermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 768-771.

MALLIPUDI, N.M. et. al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 2, p. 412-417, 1991.

MANGELS, G. Behavior of the imidazolinones herbicides in the aquatic environment. In: SHANER, D.L.; O'CONNER, S.L. **The Imidazolinone Herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 183-190

MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, v. 24, n. 2, p. 415-421, 1994.

MARSH, B.H.; LLOYD, R.W. Soil pH effect on imazaquin persistence in soil. **Weed Technology**, v. 10, n. 2, p. 337-340, 1996.

OLIVEIRA Jr., R.S. et al. Spatial variability of imazethapyr sorption in soil. **Weed Science**, v. 47, n. 2, p. 243-248, 1999.

OTTIS, B.V. et al. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 526-533, 2003.

RENNER, K.A. et al. Effect of tillage and application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v. 12, n. 2, p. 281-285, 1998.

SILVA, M.P. **Identificação de sementes de arroz mutante tolerante ao princípio herbicida imazethapyr**. 2003. 30f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

STEELE, G.L. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 53., 2000, Tulsa. **Proceedings...** Tulsa: SWSS, 2000, p. 19.

_____. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 627-630, 2002.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, Champaign, v. 36, n. 1, p. 67-73, 1990.

VIDAL, R.A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R.A. Vidal, 1997. 165p.

WEBSTER, E.P.; BALDWIN, F.L. Weed control systems for imidazolinone-rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 27., 1998, Little Rock. **Proceedings...** Little Rock: RTWG, 1998, p. 215.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v. 45, n. 1. p. 16-17, 2002.

CAPÍTULO II

CONTROLE DE ARROZ-VERMELHO EM DOIS GENÓTIPOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) TOLERANTES A HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS

RED RICE CONTROL IN TWO RICE GENOTYPES TOLERANT/RESISTENT TO THE IMIDAZOLINONES HERBICIDES

Resumo

O arroz-vermelho (*Oryza* spp.) é um dos principais fatores limitantes da produtividade de grãos do arroz irrigado (*O. sativa* L.). Este trabalho teve como objetivo avaliar o controle de arroz-vermelho e o desempenho de dois genótipos de arroz irrigado, IRGA 422 CL e Tuno CL, a herbicidas do grupo das imidazolinonas a doses e épocas de aplicações do herbicida Only[?] (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹), em áreas com alta infestação de arroz-vermelho. O experimento foi conduzido em Santa Maria-RS no ano agrícola 2004/05. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial (2x10) com quatro repetições. O fator A foi composto por dois genótipos de arroz tolerantes as imidazolinonas, uma cultivar (IRGA 422 CL) e um híbrido (Tuno CL); e o fator D pelos tratamentos para o controle de arroz-vermelho oriundo de combinações de doses e épocas de aplicação do herbicida. Constata-se que o híbrido é mais tolerante ao herbicida Only[?], quando comparado à cultivar, sendo possível a utilização de dose total de até 2,0 L ha⁻¹ no híbrido, em áreas com alta infestação de arroz-vermelho, sem afetar a produtividade. O controle de arroz-vermelho é total com aplicação fracionada do herbicida em pré e pós-emergência (PRE + POS), desde que o total aplicado não seja inferior a 1,25 L ha⁻¹. Esta condição é atendida pelo tratamento com 0,75 L ha⁻¹ em PRE mais 0,5 L ha⁻¹ em POS, o qual propicia a menor dose total dentre aqueles com 100% de controle, não afetando a produtividade e apresentando fitotoxicidade semelhante ao tratamento com 1,0 L ha⁻¹ em POS, utilizado como referência.

Palavras-chave: Clearfield, imazapic, imazethapyr, IRGA 422 CL, Only[®], Tuno CL.

Abstract

Red rice (*Oryza* spp.) is one of the main limiting factors to rice (*O. sativa* L.) yield. It was conducted an experiment with the objective of evaluate red rice control and the behavior of two rice genotypes, one tolerant and one resistant, to the imidazolinones herbicides to Only[®] (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹) application rates and timing. The experiment was conducted in Santa Maria, RS, Brazil, in 2004/05. The experimental was a factorial in randomized block design with four replications. The factor A included the rice genotypes: a tolerant cultivar (IRGA 422 CL) and a resistant hybrid (Tuno CL); and the factor D included the treatments for red rice control which was a combination of rates and herbicide application timing. When compared with the cultivar, the hybrid was more tolerant to the herbicide Only[®]. It was possible the application of rates up to 2.0 L ha⁻¹ in the hybrid, without affecting rice yield. Red rice control was total with split application of Only[®] in PRE and POST, with the total rate above 1.25 L ha⁻¹. The most efficient treatment was with application of 0.75 L ha⁻¹ in PRE followed by 0.5 L ha⁻¹ in POS, because, it was the lowest rate that promoted 100% control, with relatively low toxicity to the cultivar and without affecting rice yield.

Key words: Clearfield, imazapic, imazethapyr, IRGA 422 CL, Only[®], Tuno CL.

Introdução

O arroz-vermelho é a principal planta daninha da cultura do arroz irrigado no mundo, reduzindo a produtividade e a qualidade do produto colhido. Após várias décadas de busca de alternativas para o controle seletivo do arroz-vermelho, desenvolveram-se genótipos de arroz tolerantes a herbicida do grupo químico das imidazolinonas, através de mutação induzida por radiação gama e/ou transformação química por etil metanosulfonato – EMS (CROUGHAN, 1998). O uso destes herbicidas em genótipos com essa característica, constitui-se numa ferramenta eficiente para o controle de arroz-vermelho (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003; WEBSTER et al., 1998).

A eficiência do controle de arroz-vermelho com o uso do imazethapyr varia,

entre outros fatores, com a dose e a época de aplicação do produto. O controle pode atingir 100% neste sistema, mas para que este nível seja alcançado há a necessidade de duas aspersões de imazethapyr, uma em pré-emergência (PRE) e uma em pós-emergência (POS) (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003). Em diferentes estádios de desenvolvimento, doses de 36 a 140 g ha⁻¹ foram eficientes no controle de arroz-vermelho, mas em pós-emergência a toxicidade nas plantas é elevada em genótipos com menor tolerância podendo resultar na redução da produtividade (STEELE et al., 2002; PELLERIN e WEBSTER, 2004).

Nos EUA, preconiza-se à utilização de aplicações sequenciais de imazethapyr: uma com 70 g ha⁻¹, em pré-plantio incorporado ou PRE, seguido de 70 g ha⁻¹ em POS, com o arroz no estádio de três a cinco folhas, independente da textura do solo (OTTIS et al., 2003). Por outro lado, no Brasil, preconiza-se uma única aplicação de 1,0 L ha⁻¹ de Only[®] em POS quando as plantas de arroz-vermelho encontram-se no estádio de até quatro folhas. À medida que a aplicação é atrasada, a eficiência de controle diminui, principalmente em áreas com alta infestação, podendo ocorrer cruzamento natural entre o genótipo de arroz tolerante ao herbicida e o arroz-vermelho (GEALY et al., 2003). O fluxo gênico ocorre quando há deficiente controle, podendo causar o surgimento de biótipos de arroz-vermelho tolerante a imidazolinonas, abreviando a longevidade dessa tecnologia. Por isso, é importante também a utilização de práticas integradas de manejo visando aumentar o controle do arroz-vermelho e reduzir a possibilidade deste cruzamento natural.

Em vista do exposto, foi conduzido um experimento com o objetivo de avaliar o controle de arroz-vermelho e o desempenho de dois genótipos de arroz irrigado, IRGA 422 CL e Tuno CL, a herbicidas do grupo das imidazolinonas a doses e épocas de aplicações do herbicida Only[?] (imazethapyr 75 g L⁻¹ + imazapic 25 g L⁻¹), em áreas com alta infestação de arroz-vermelho.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, em um Planossolo Hidromófico eutrófico arênico (pH_{água}(1:1)= 5,0; P= 8,0 mg dm⁻³; K= 32 mg dm⁻³; argila= 20%; M.O.= 1,6%; Ca= 3,3 cmol_c dm⁻³; Mg= 1,0 cmol_c dm⁻³ e Al= 0,6 cmol_c dm⁻³), localizado na área de pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria em

Santa Maria-RS. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial (2 x 10), com quatro repetições. O fator A foi composto por dois genótipos de arroz tolerantes as imidazolinonas, uma cultivar (IRGA 422 CL) e um híbrido (Tuno CL), e o fator D pelos tratamentos com Only[®] que é uma mistura formulada de 75 g L⁻¹ de imazethapyr e 25 g L⁻¹ de imazapic (Tabela 5).

Para homogeneizar o banco de sementes de arroz-vermelho, juntamente com a aplicação da adubação de base (6, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente), dois dias antes da semeadura do arroz, distribuiu-se a lanço e incorporou-se ao solo a quantidade de 125 kg ha⁻¹ de sementes de arroz-vermelho, obtendo-se população média de 219 plantas de arroz-vermelho m⁻². A semeadura do arroz cultivado foi realizada em linhas espaçadas de 20cm, no dia 29/10/2004, utilizando-se 108 e 45 kg ha⁻¹ de sementes, para a cultivar e para o híbrido, respectivamente.

A aplicação do herbicida em PRE, um dia após a semeadura, foi efetuada com um pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas leque 11002, com uma vazão de 125 L ha⁻¹. O grau de umidade do solo no momento dessa aplicação encontrava-se adequado para a germinação das sementes, sendo que na semana seguinte ocorreu precipitação pluvial de 50 mm, constituindo-se numa condição favorável para aplicação em PRE desse herbicida. A aplicação em POS, foi efetuada aos 14 dias após a emergência (DAE) quando as plantas do arroz cultivado encontravam-se no estágio V4 (COUNCE et al., 2000) e as de arroz-vermelho encontravam-se em V5. A vazão utilizada foi de 150 L ha⁻¹, com adição de 0,5% v.v.⁻¹ de óleo mineral emulsionável.

Um dia após a aplicação do tratamento em POS, a área foi inundada, mantendo-se lâmina d'água constante de aproximadamente 5 cm de altura. O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia e parcelado em três épocas: 6 kg ha⁻¹ de N na semeadura; 60 kg ha⁻¹ de N no estágio V4, um dia antes da inundaçãõ; e 60 kg ha⁻¹ de N na iniciaçãõ da panícula (R0). Juntamente com a terceira aplicação de N, foi aplicado 500 g ha⁻¹ do inseticida carbofuran para controlar larvas do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

Efetuuou-se a contagem do número de colmos em um metro linear na linha de semeadura, previamente demarcada em cada parcela, aos 24, 36 e 48 DAE. Nessa mesma área, determinou-se o número de panículas por planta e coletou-se 10 panículas, das quais determinou-se o número de grãos por panícula e a massa de

mil grãos. A avaliação de fitotoxicidade ao arroz tolerante foi realizada aos 16 dias após a aplicação dos tratamentos em POS. A avaliação do controle de arroz-vermelho foi realizada no dia da colheita, sendo os valores estimados visualmente utilizando uma escala de 0 a 100%, onde 0= sem fitotoxicidade ou controle e 100= morte das plantas ou controle completo.

A produtividade de grãos foi determinada através da colheita manual em área de 8,0m² (5,0 x 1,6m), quando os grãos apresentavam umidade média de 20%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha⁻¹. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (P=0,05). Para a análise estatística, os dados de controle de arroz-vermelho e fitotoxicidade foram transformados para $y_t = \arcseno \sqrt{(y - 0,5)/100}$ e os demais dados em porcentagem foram transformados para $y_t = \sqrt{y - 1}$.

Resultados e discussão

Para produtividade de grãos, fitotoxicidade e controle de arroz-vermelho (Tabela 4), houve interação entre genótipos e tratamentos do herbicida. O híbrido (Tuno CL) destacou-se como genótipo mais produtivo do que a cultivar (IRGA 422 CL), independente da dose ou época de aplicação do herbicida, com exceção da testemunha (D1). A utilização do herbicida proporcionou aumento da produtividade de grãos em relação a testemunha, com acréscimo de 55% para a cultivar e de 121% para o híbrido. No híbrido, as doses e épocas não afetaram a produtividade de grãos, porém para a cultivar, houve redução nos tratamentos D7 e D8 em relação a D2. Apesar dessa diferença na produtividade deve-se considerar que a dose utilizada em D2, abaixo da recomendada, pode não reproduzir os mesmos resultados em diferentes condições de ambiente e manejo, ocorrendo risco de escape de arroz-vermelho.

Tabela 5. Produtividade de grãos, fitotoxicidade aos 16 dias após a aplicação do tratamento em POS e controle de arroz-vermelho (AV) no dia da colheita, em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only^{2/} utilizando genótipos de arroz tolerante. Santa Maria-RS, 2006

Código do tratamento	Doses de Only ^{1/}			Genótipos					
	PRE ^{2/}	POS ^{3/}	Total	Produtividade de grãos		Fitotoxicidade		Controle de AV	
				IRGA 422 CL	Tuno CL	IRGA 422 CL	Tuno CL	IRGA 422 CL	Tuno CL
	----- L ha ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----		----- % ^{4,5/} -----			
D1	0	0	0	A 4.720 c ^{6/}	A 4.978 b	---	---	---	---
D2	0,75	0	0,75	B 8.346 a	A 11.200 a	A 4 e	A 5 cd	A 97 b	A 98 b
D3	0	1,0	1,0	B 7.046 ab	A 10.646 a	A 22 d	B 14 bc	A 97 b	A 98 b
D4	1,0	0	1,0	B 8.131 ab	A 11.452 a	A 6 e	A 4 d	A 97 b	A 98 b
D5	0,5	0,5	1,0	B 7.511 ab	A 11.190 a	A 11 e	A 6 cd	B 97 b	A 99 a
D6	0,75	0,5	1,25	B 7.495 ab	A 11.143 a	A 26 cd	B 8 cd	A 100 a	A 100 a
D7	0,75	0,75	1,5	B 6.725 b	A 10.792 a	A 40 b	B 12 bcd	A 100 a	A 100 a
D8	1,0	0,5	1,5	B 6.766 b	A 11.409 a	A 33 bc	B 8 cd	A 100 a	A 100 a
D9	1,0	1,0	2,0	B 7.016 ab	A 10.809 a	A 54 a	B 19 ab	A 100 a	A 100 a
D10	0	2,0	2,0	B 6.806 ab	A 10.491 a	A 57 a	B 28 a	A 100 a	A 100 a
	Média			7.056	10.411	25	10	99	99
	C.V. (%)			7,6		3,3		0,2	

^{1/} Mistura formulada de imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹); ^{2/} Aplicação em pré-emergência; ^{3/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de COUNCE et al. (2000); ^{4/} Para a análise, os dados foram transformados para $yt \cdot \arccos(\sqrt{(y \cdot 0,5)/100})$; ^{5/} Controle de AV e a fitotoxicidade no arroz foram avaliados visualmente em percentagem, onde 0 corresponde a ausência de controle ou fitotoxicidade e 100 para controle total ou morte de plantas de arroz; ^{6/} Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna, e de letras maiúsculas na linha diferem pelo teste de Tukey (P=0,05).

Na cultivar, a aplicação em POS nas maiores doses (D9 e D10) não afetou a produtividade do arroz, ainda que a fitotoxicidade inicial tenha sido superior a 50%, evidenciando que houve recuperação das plantas. Relatos da literatura demonstram resultados semelhantes, utilizando herbicidas do mesmo grupo (OTTIS et al., 2003 e AGOSTINETTO et al., 2005). Deve-se levar em conta que aumentando a dose acima do recomendado, pode-se ter problemas de persistência destes herbicidas no solo, o que pode causar danos a culturas sucessoras não tolerantes (WILLIAMS et al., 2002).

O híbrido foi mais tolerante que a cultivar quando aplicou-se $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS (D3) e naqueles tratamentos com dose total superior a $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ (D6, D7, D8, D9 e D10). O híbrido é mais tolerante, pois é resultado da introgressão por retrocruzamento do gene mutante de segunda geração para tolerância a herbicidas do grupo das imidazolinonas (RENATO LUZZARDI¹, comunicação pessoal). Para os tratamentos com dose total de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ o aumento da dose em POS ocasionou maior fitotoxicidade (Figura 1), não se refletindo na produtividade. Porém, em condições adversas para o desenvolvimento da cultura, essa fitotoxicidade poderá afetar a produtividade de grãos.

Para a cultivar (Tabela 5), os tratamentos com as doses de $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ em PRE (D2), $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em PRE (D4) e a dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ fracionada (D5), proporcionaram menor fitotoxicidade que o tratamento referência com a dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS (D3). Verificou-se também que o tratamento D3 apresentou fitotoxicidade semelhante aos tratamentos com dose total de $1,25$ a $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ (D6, D7 e D8). Para o híbrido, os tratamentos que proporcionaram menor fitotoxicidade foram D2, D4, D5, D6 e D8 e o tratamento referência (D3) apresentou fitotoxicidade semelhante a D7 e D9.

O controle de 100% do arroz-vermelho foi obtido com os tratamentos com dose total aplicada a partir de $1,25 \text{ L ha}^{-1}$ (D6, D7, D8, D9 e D10) onde ocorreu a maior fitotoxicidade para ambos os genótipos. Deve-se ressaltar duas práticas de manejo que contribuíram para o controle do arroz-vermelho, a aplicação precoce dos herbicidas e a irrigação imediatamente após a aplicação do herbicida em POS, estando de acordo com relatos de WILLIAMS et al. (2002), pois, a irrigação proporciona maior disponibilidade e absorção do herbicida pelas plantas. Além

¹ Eng. Agrônomo, M. Sc. – Gerente de Pesquisa da RiceTec Sementes LTDA– Av. São Paulo, 877, Bairro São Geraldo, Porto Alegre, RS. CEP 90230-161.

disso, a água atua como barreira para a emergência das plantas de arroz-vermelho, auxiliando no controle. Também, a área do experimento sendo sistematizada auxilia na manutenção da lâmina da água uniforme e constante, e não havendo taipas, diminui-se o problema de reinfestação. Com isso, devemos ter cuidado, pois, em lavouras sem essas características o controle de 100% do arroz-vermelho torna-se mais difícil.

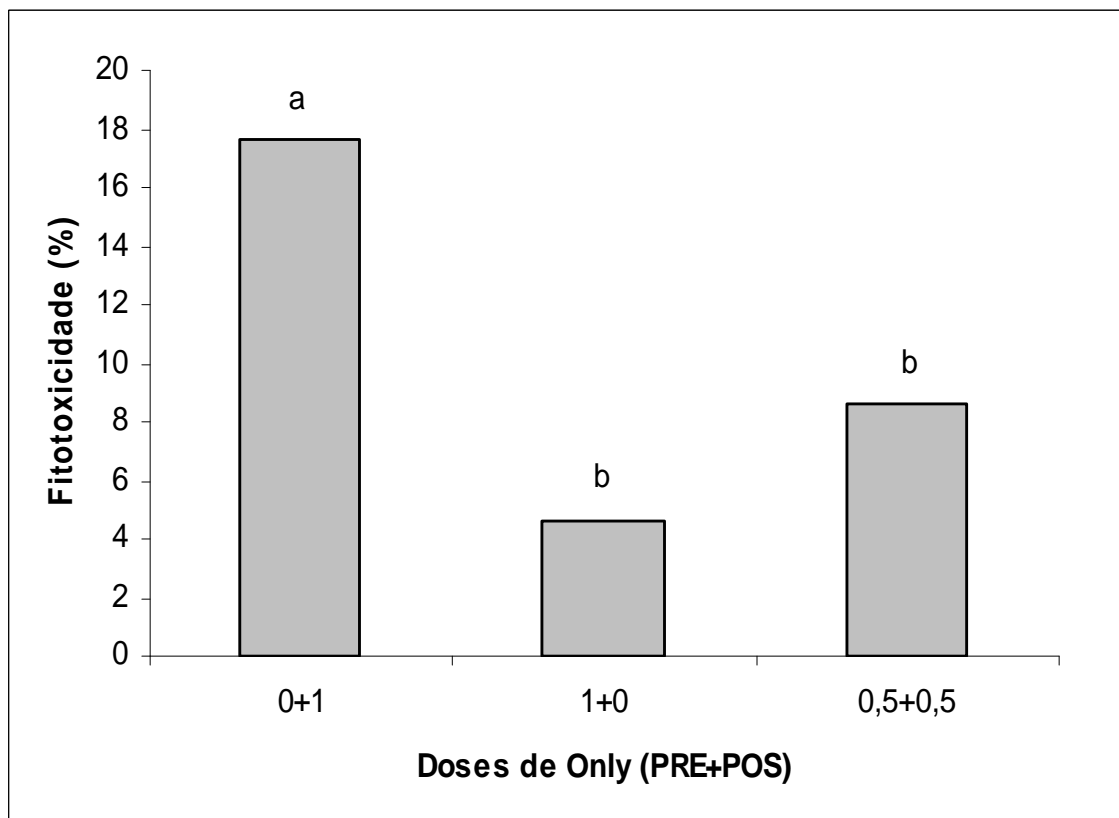


Figura 1. Fitotoxidade do herbicida Only em genótipos de arroz tolerante, medida aos 16 dias após a aplicação dos tratamentos em POS, em resposta a época de aplicação do herbicida. Santa Maria, RS, 2005.

Para as variáveis colmos por planta, estatura de plantas, panículas por metro quadrado, grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas, não houve interação entre genótipos e tratamentos do herbicida (Tabela 6).

O número de colmos por planta do arroz (24 e 36 DAE) foi menor quando aplicou-se $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS ou com doses maiores que $1,0 \text{ L ha}^{-1}$, porém não foi afetado na avaliação aos 48 DAE. Isto indica que a fitotoxidade do herbicida retardou a emissão de perfilhos, no entanto as plantas compensaram através da emissão de colmos após o efeito fitotóxico. Independente da época de avaliação, o híbrido apresentou maior número de colmos por planta.

Tabela 6. Número de colmos por planta, estatura de plantas (Estatura), número de panículas por metro quadrado (PMQ), número de grãos por panícula (GP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) de genótipos de arroz tolerante em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only^{2/}. Santa Maria-RS, 2006

Código do tratamento	Doses de Only ^{1/}			Colmos por planta			Estatura	PMQ	GP	MMG	EE ^{5/}
	PRE ^{2/}	POS ^{3/}	Total	24 DAE ^{4/}	36 DAE ^{4/}	48 DAE ^{4/}					
	----- L ha ⁻¹ -----			----- n° -----			cm	n°	n°	g	%
D1	0	0	0	2,7 ab ^{6/}	3,7 ab	3,5 ^{ns}	74 ^{ns}	321 b	73 b	25 ^{ns}	21 ^{ns}
D2	0,75	0	0,75	2,9 a	4,1 ab	4,2	78	491 a	84 ab	27	17
D3	0	1,0	1,0	2,1 bc	3,3 b	3,7	78	538 a	80 ab	26	17
D4	1,0	0	1,0	2,9 a	5,0 a	4,6	80	536 a	99 a	26	15
D5	0,5	0,5	1,0	2,9 a	4,8 ab	4,8	77	513 a	91 ab	26	15
D6	0,75	0,5	1,25	2,7 ab	4,8 ab	4,7	79	528 a	84 ab	26	18
D7	0,75	0,75	1,5	2,0 bc	3,7 ab	4,6	79	471 a	81 ab	27	18
D8	1,0	0,5	1,5	2,8 ab	4,7 ab	4,8	78	510 a	94 a	27	14
D9	1,0	1,0	2,0	1,8 c	3,6 ab	4,0	78	414 ab	87 ab	27	15
D10	0	2,0	2,0	1,4 c	3,2 b	3,9	79	478 a	85 ab	27	17
Genótipos											
IRGA 422 CL				2,0 b	3,7 b	3,9 b	70 b	489 ^{ns}	64 b	29 a	20 a
Tuno CL				2,9 a	4,5 a	4,7 a	86 a	470	108 a	24 b	14 b
Média geral				2,4	4,1	4,3	78	480	86	26	17
C.V. (%)				19,3	24,0	25,0	4,5	15,8	14,0	3,5	14,1

^{1/} Mistura formulada de imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹); ^{2/} Aplicação em pré-emergência; ^{3/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de COUNCE et al. (2000); ^{4/} Dias após a emergência do arroz; ^{5/} Para a análise, os dados foram transformados para $y\sqrt{t} \sqrt{y+1}$; ^{6/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra para cada parâmetro analisado, (dentro de cada fator), diferem pelo teste de Tukey (P=0,05).

^{ns} Teste F não significativo (P=0,05).

A estatura de plantas, avaliada no momento da colheita, não foi afetada pela aplicação do herbicida, diferindo apenas entre genótipos. Na presença de arroz-vermelho, AGOSTINETTO et al. (2005) verificaram que a estatura de planta reduziu apenas quando o herbicida foi aplicado aos 45 dias após a emergência.

Os diferentes tratamentos com o herbicida não afetaram o número de panículas por metro quadrado e de grãos por panícula. Por outro lado, a testemunha sem a aplicação do herbicida (D1) afetou negativamente estes parâmetros devido a alta infestação de arroz-vermelho (219 plantas m⁻²), planta daninha que, em competição com o arroz cultivado, reduziu a produtividade de grãos, pelo fato de afetar justamente os componentes do rendimento (BALBINOT Jr. et al., 2003a).

A massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas não foram afetadas pelo herbicida. O maior número de grãos por panícula e a menor esterilidade observada no híbrido, proporcionou maior produtividade de grãos em relação a cultivar. BALBINOT Jr. et al. (2003a), trabalhando com competição de genótipos com o arroz-vermelho, também observaram que a cultivar híbrida obteve um maior número de grãos por panícula, tanto na presença quanto na ausência arroz-vermelho. É importante destacar a alta capacidade de perfilhamento do híbrido, que embora semeado em densidade inferior a cultivar, apresentou valor equivalente para o número de panículas por metro quadrado na colheita.

A utilização de genótipos de arroz tolerante com o herbicida Only[?] não pode ser considerado uma solução definitiva para eliminar as infestações de arroz-vermelho, constituindo-se em alternativa a ser complementada com outras técnicas de manejo. Fatores edafoclimáticos e de manejo da lavoura são decisivos na resposta dos herbicidas. Nesse sentido o melhor entendimento do efeito destes fatores no desenvolvimento da planta de arroz tolerantes e no controle do arroz-vermelho nesse sistema é fundamental para o sucesso dessa tecnologia. Práticas de manejo, como por exemplo, a época de semeadura, o manejo do nitrogênio e da irrigação, entre outras devem ser melhor entendidas.

Conclusão

O Tuno CL é mais tolerante ao herbicida Only[?], quando comparado à cultivar IRGA 422 CL, tolerando dose total de até 2,0 L ha⁻¹, sem afetar a produtividade.

O controle de arroz-vermelho é total com aplicação fracionada do herbicida (PRE + POS), desde que o total aplicado não seja inferior a 1,25 L ha⁻¹. Esta condição é atendida pelo tratamento com 0,75 L ha⁻¹ em PRE mais 0,5 L ha⁻¹ em POS (D6), o qual propicia a menor dose total dentre aqueles com 100% de controle, não afetando a produtividade e apresentando fitotoxicidade semelhante ao tratamento com 1,0 L ha⁻¹ em POS (D3), utilizado como referência.

Referências bibliográficas

AGOSTINETTO, D. et al. A época de aplicação de imazethapyr afeta o controle de arroz daninho e o desenvolvimento e a produtividade de genótipo de arroz tolerante ao herbicida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. 567p. p.143-145. v.1.

BALBINOT JR., A.A. et al. Competitividade de genótipos de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 53-59, 2003a.

COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

CROUGHAN, T.P. **Herbicide resistant rice**. In: United States Patent [5,773,704], 1998. Disponível em: <<http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=/netahtml/srchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=5,773,704.WKU.&OS=PN/5,773,704&RS=PN/5,773,704/>>. Acesso em: 19 jan. 2006.

GEALY, D.R. et al. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v. 17, n. 3,

p. 627-645, 2003.

OTTIS, B.V. et al. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 526-533, 2003.

PELLERIN, K.J.; WEBSTER, E.P. Imazethapyr at different rates and timings in drill- and water-seeded imidazolinone-tolerant rice. **Weed Technology**, v. 18, n. 2, p. 223-227, 2004.

STEELE, G.L. et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 627-630, 2002.

WEBSTER, E.P.; BALDWIN, F.L. Weed control systems for imidazolinone-rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 27., 1998, Little Rock. **Proceedings...** Little Rock: RTWG, 1998, p. 215.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v. 45, n. 1, p. 16-17, 2002.

LITERATURA CITADA GERAL

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz-vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 341-349, 2001.

_____. A época de aplicação de imazethapyr afeta o controle de arroz daninho e o desenvolvimento e a produtividade de genótipo de arroz tolerante ao herbicida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. 567p. p.143-145. v. 1.

AVILA, L.A. Effect of Flood Timing on Red Rice (*Oryza* spp.) Control with Imazethapyr Applied at Different Dry-Seeded Rice Growth Stages. **Weed Technology**, v. 19, n. 2, p. 476-480, 2005.

AZAMBUJA, I. H. V., VERNETTI Jr. F. J. de, MAGALHÃES Jr. A. M. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. da S.; JÚNIOR, A. M. de M. eds. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899 p.

BALBINOT JR., A.A. et al. Competitividade de genótipos de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 53-59, 2003a.

_____. Características de plantas de arroz e a habilidade competitiva com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.165-174, 2003b.

BALL, D.A. et al. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotationl crops. **Weed Technology**, vol. 17, n. 1, p. 161-165, 2003.

BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v. 44, n. 2, p. 380-382, 1996.

CHANG, T.T.; LUH, B.S. Overview and prospects of rice production. In: LUH, B. S. (Ed.) **Rice Production**, 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. p. 1-11.

COBUCCI, T.; NOLDIN, J.A. Plantas daninhas e seu controle. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA arroz e feijão, 1999. p. 375-415.

COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

CROUGHAN, T.P. **Herbicide resistant rice**. In: United States Patent [5,773,704], 1998. Disponível em: <<http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=/netahtml/srchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=5,773,704.WKU.&OS=PN/5,773,704&RS=PN/5,773,704/>>. Acesso em: 19 jan. 2006.

DIARRA, A. et al. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n. 3, p. 310-314, 1985.

DILLON, T.L.; BALDWIN, F.L.; WEBSTER, E.P. Weed control in imi-tolerant rice. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 51., 1998. **Proceedings...** SWSS, 1998, p. 268.

DILLON, T.L. et al. Gene flow from Clearfield rice to red rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 29., 2002, Little Rock. **Proceedings...** Little Rock: RTWG, 2002, p. 161.

ESTORNINOS Jr., L.E. et al. Simple sequence repeats analysis of hybridization between IMI rice and red rice. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 56., 2003, Houston. **Proceedings...** Houston: SWSS, 2003, p. 184.

FISCHER, A.J.; RAMIREZ, A. Red rice (*Oryza sativa*): competition studies for management decisions. **International Journal of Pest Management**, v. 39, n. 2, p. 133-138, 1993.

GEALY, D.R. et al. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 627-645, 2003.

GERSTL, Z. An update on the K_{oc} concept in regard to regional scale management. **Crop Protection**, v. 19, n. 8, p. 643-648, 2000.

GOETZ, A.J.; LAVY, T.L.; GEBUR Jr., E.E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v. 38, n. 2, p. 421-428, 1990.

HACKWORTH, H. M. et al. 1997 field evaluation of imidazolinone tolerant rice. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 51., 1998, **Proceedings...** SWSS, 1998, p.221.

JOHNSON, D.H. et al. 1992. Rice response following imazaquin, imazethapyr, chlorimurion, and clomazone use. **Southern Weed Science Society**, v. 45, p. 371, 1992.

LANGEVIN, S. A.; CLAY, K.; GRACE, J. B. The incidence and effects of hybridization between cultivated rice and its related weed red rice (*Oryza sativa* L.). **Evolution**, v. 44, n. 4, p. 1000-1008, 1990.

LEITÃO FILHO, H.F. et al. Estudo de competição entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado. **Bragantia**, v. 31, n. 20, p. 249-258, 1972.

LOPES, M.C.B. et al. Transferência de genes de resistência ao herbicida BAS 68800H para genótipos de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 108-109.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1991.

LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v. 40, n. 3, p. 490-496, 1992.

_____ Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v. 7, n. 2, p. 452-458, 1993.

MAGALHÃES Jr., A.M. et al. Avaliação do fluxo gênico entre arroz transgênico, cultivado e arroz-vermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 768-771.

MALLIPUDI, N.M. et. al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 2, p. 412-417, 1991.

MANGELS, G. Behavior of the imidazolinones herbicides in the aquatic environment. In: SHANER, D.L.; O'CONNER, S.L. **The Imidazolinone Herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 183-190

MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, v. 24, n. 2, p. 415-421, 1994.

MARSH, B.H.; LLOYD, R.W. Soil pH effect on imazaquin persistence in soil. **Weed Technology**, v. 10, n. 2, p. 337-340, 1996.

MENEZES, V.G. et al. Interferência do arroz-vermelho no rendimento de engenho de cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 27, n. 1, p. 27-30, 1997.

MESSEGUER, J.; et al. Field assessments of gene flow from transgenic to cultivated rice (*Oryza sativa* L.) using a herbicide resistance gene as tracer marker. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 103, n. 8, p. 1151-1159, 2001.

MILLS, J.A.; WITT, W.W. Efficacy, phytotoxicity, and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in no-till double-crop soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 37, n. 2, p. 353-359, 1989.

MONKS, C.D.; BANKS, P.A. Rotational crop response to chlorimuron, clomazone, and imazaquin applied the previous year. **Weed Science**, v. 39, n. 4, p. 629-633, 1991.

NOLDIN, J. A.; et al. Potencial de cruzamento natural entre o arroz transgênico resistente ao herbicida glufosinate de amônio e o arroz-daninho. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 243-251, 2002.

NOLDIN, J.A.; et al. Desempenho de populações híbridas F2 de arroz-vermelho (*Oryza sativa*) com arroz transgênico (*O. sativa*) resistente ao herbicida amonio-glufosinate. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 381-395, 2004

OLIVEIRA, M.A.B.; BARROS, I.A.I. Influência da quantidade de arroz-vermelho no percentual de grãos inteiros. **Lavoura Arrozeira**, n. 39, n. 368, p 26-27, 1986.

OLIVEIRA Jr, R.S. et al. Spatial variability of imazethapyr sorption in soil. **Weed Science**, v. 47, n. 2, p. 243-248, 1999.

OTTIS, B.V. et al. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 17, n. 3, p. 526-533, 2003.

PELLERIN, K.J.; WEBSTER, E.P. Imazethapyr at different rates and timings in drill- and water-seeded imidazolinone-tolerant rice. **Weed Technology**, v. 18, n. 2, p. 223-227, 2004.

RENNER, K.A. et al. Effect of tillage and application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v. 12, n. 2, p. 281-285, 1998.

_____. Response of corn (*Zea mays*) cultivars to imazaquin. **Weed Science**. v. 36, p. 625-628, 1988.

SANDERS, D. E. et al. Outcrossing potential of Liberty Link rice to red rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 27., 1998. **Proceedings...** Texas: College Station/Texas Agricultural Experiment Station, 1998. p. 214-215.

SCIUMBATO, A.S. et al. Plant available imazethapyr in soil solution and red rice (ORYSA) efficacy as influenced by herbicide rate and soil moisture. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 56., 2003, Huston. **Proceedings...** Houston: SWSS, 2003, p. 351.

SILVA, A.A. et al. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 345-354, 1999a.

SILVA, A.A. et al. Persistência de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas e efeitos sobre as culturas sucessoras de milho e sorgo. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 3, p. 459-465, 1999b.

SILVA, M.P. **Identificação de sementes de arroz mutante tolerante ao princípio herbicida imazethapyr**. 2003. 30f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

STEELE, G.L. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 53., 2000, Tulsa. **Proceedings...** Tulsa: SWSS, 2000, p. 19.

STEELE, G.L. et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 627-630, 2002.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, Champaign, v. 36, n. 1, p. 67-73, 1990.

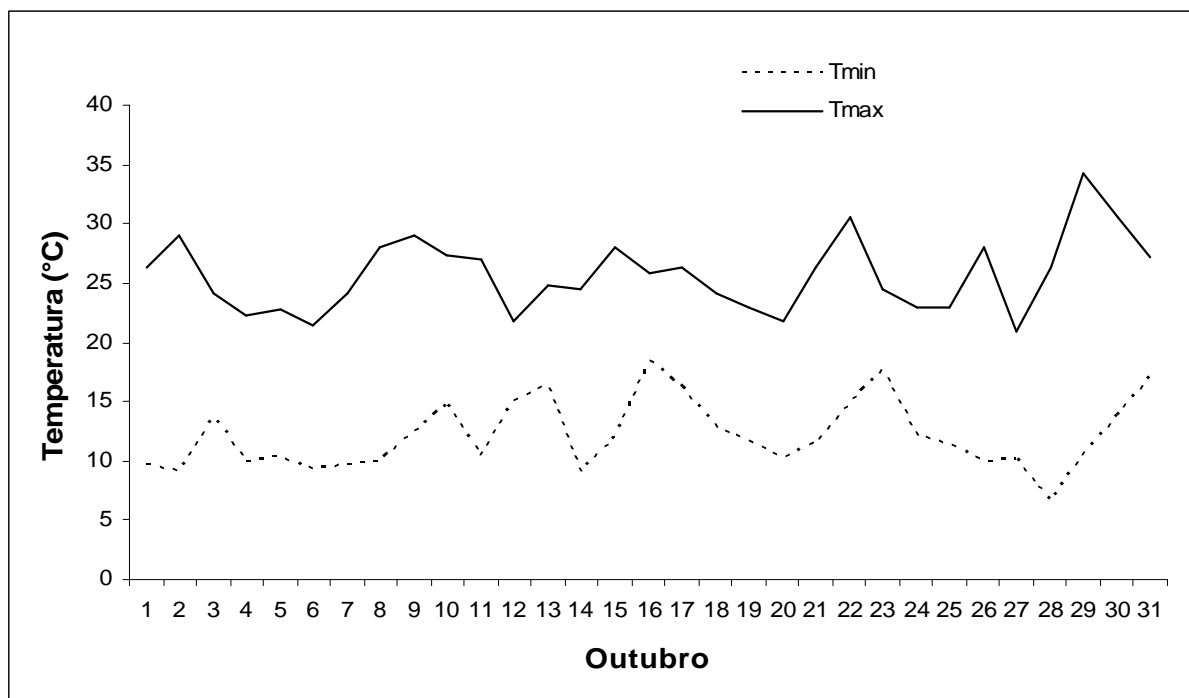
VIDAL, R.A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R.A. Vidal, 1997. 165p.

WEBSTER, E.P.; BALDWIN, F.L. Weed control systems for imidazolinone-rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 27., 1998, Little Rock. **Proceedings...** Little Rock: RTWG, 1998, p. 215.

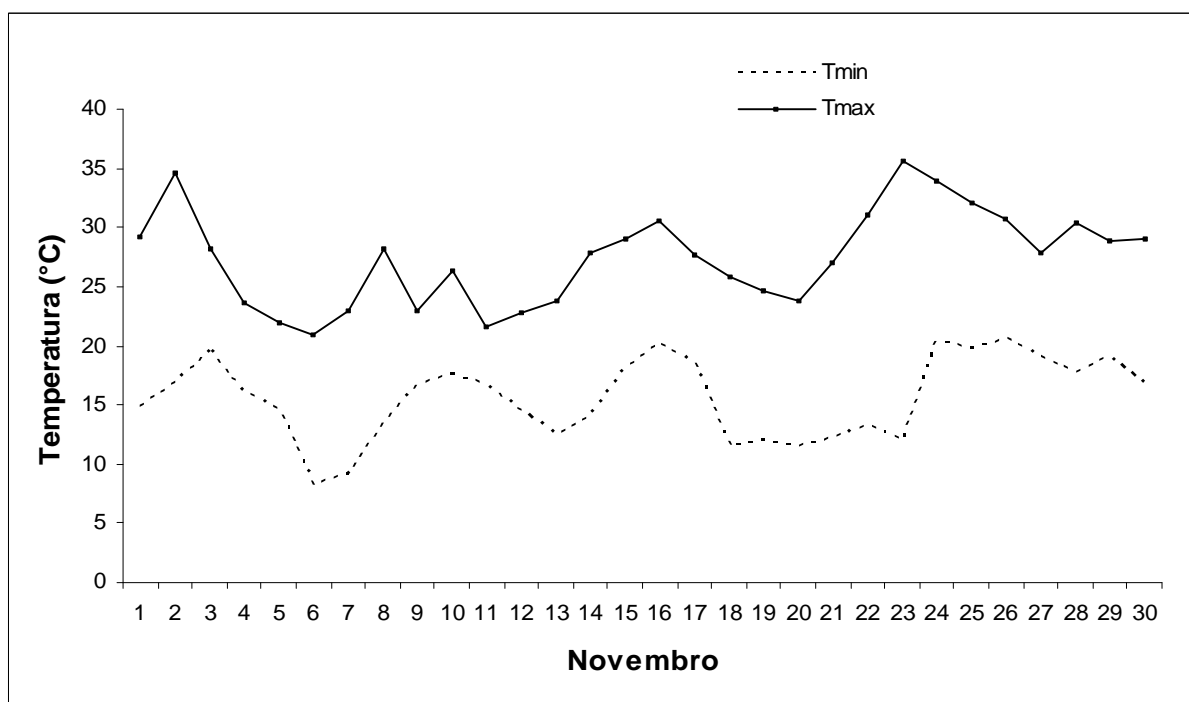
WHITE, R.H; HACKWORTH, H.M. Weed control with imidazolinone tolerant rice. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY ANNUAL MEETING, 52., 1999. **Proceedings...** SWSS, 1999, p. 185.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v. 45, n. 1, p. 16-17, 2002.

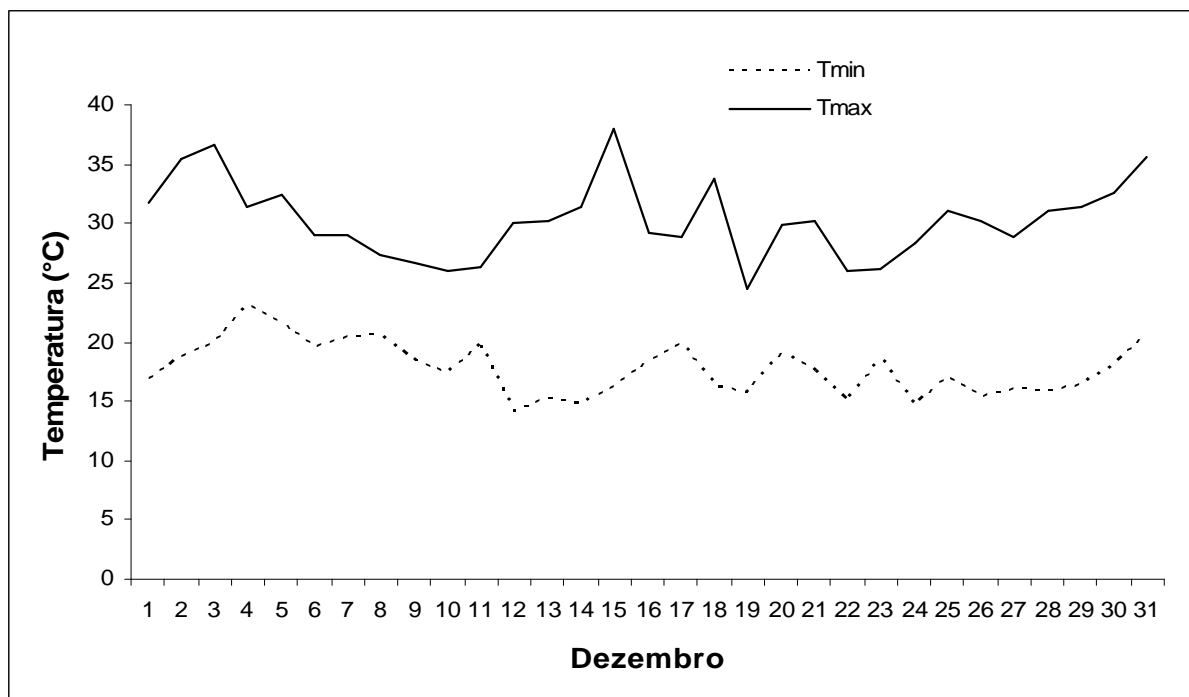
ANEXOS



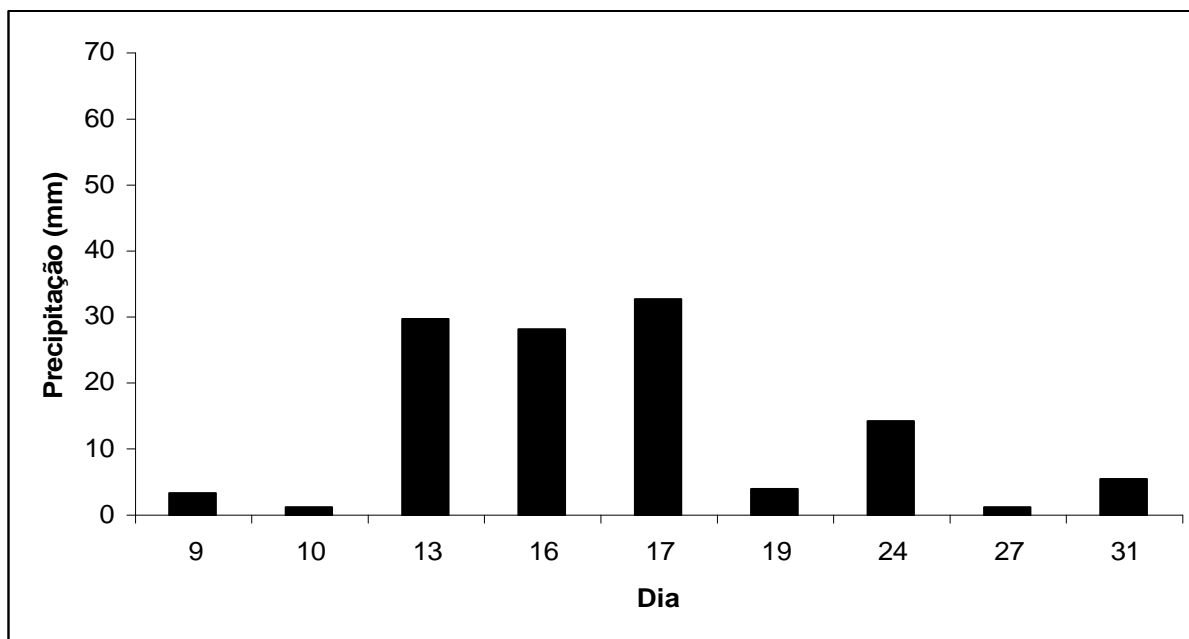
Anexo I – Temperaturas mínimas e máximas ocorridas durante o mês de outubro de 2004. Santa Maria, RS. 2006.



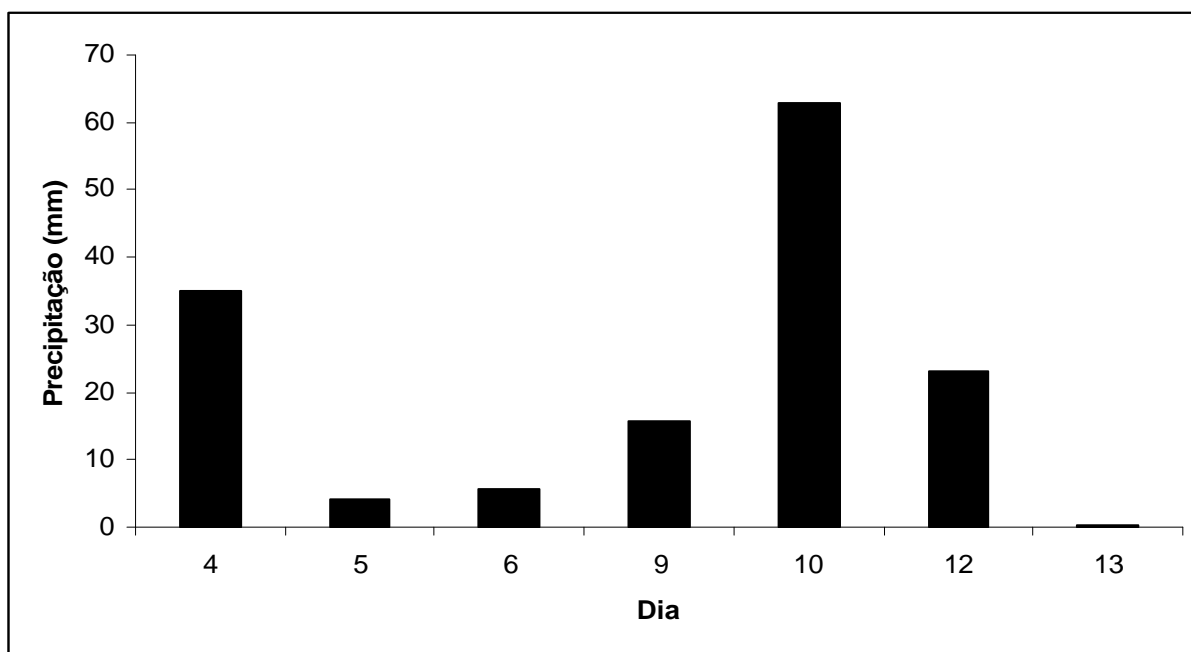
Anexo II – Temperaturas mínimas e máximas ocorridas durante o mês de novembro de 2004. Santa Maria, RS. 2006.



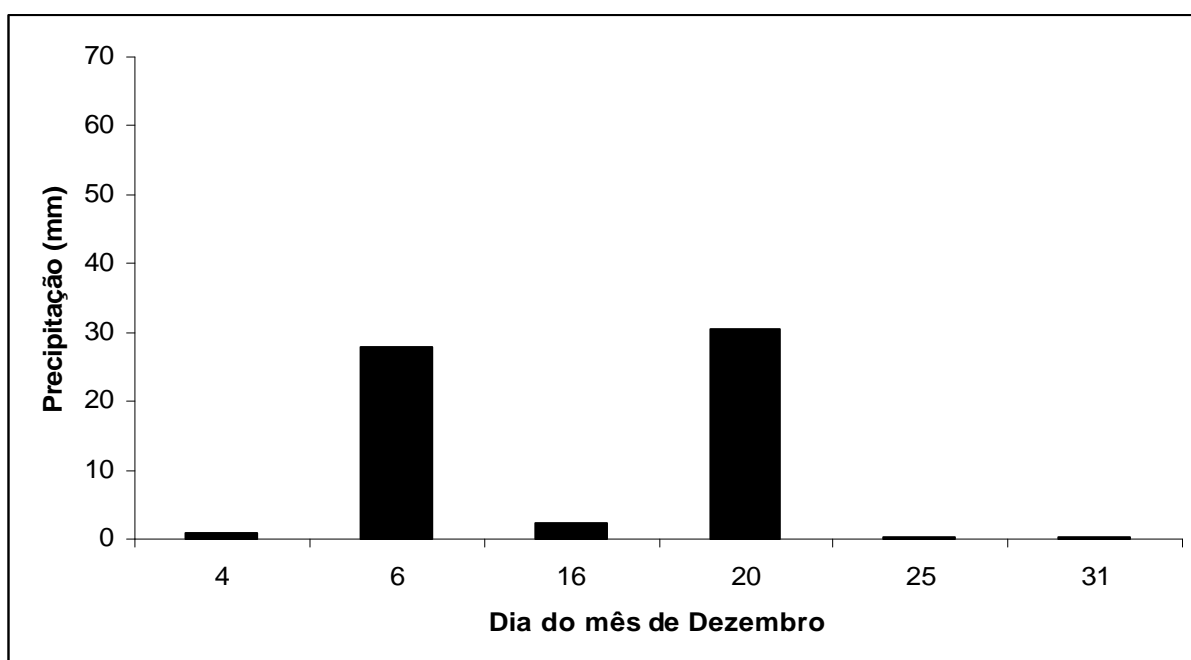
Anexo III – Temperaturas mínimas e máximas ocorridas durante o mês de dezembro de 2004. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo IV – Precipitação pluvial diária ocorrida no mês de outubro de 2004. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo V – Precipitação pluvial diária ocorrida no mês de novembro de 2004. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo VI – Precipitação pluvial diária ocorrida no mês de novembro de 2004. Santa Maria, RS. 2006.



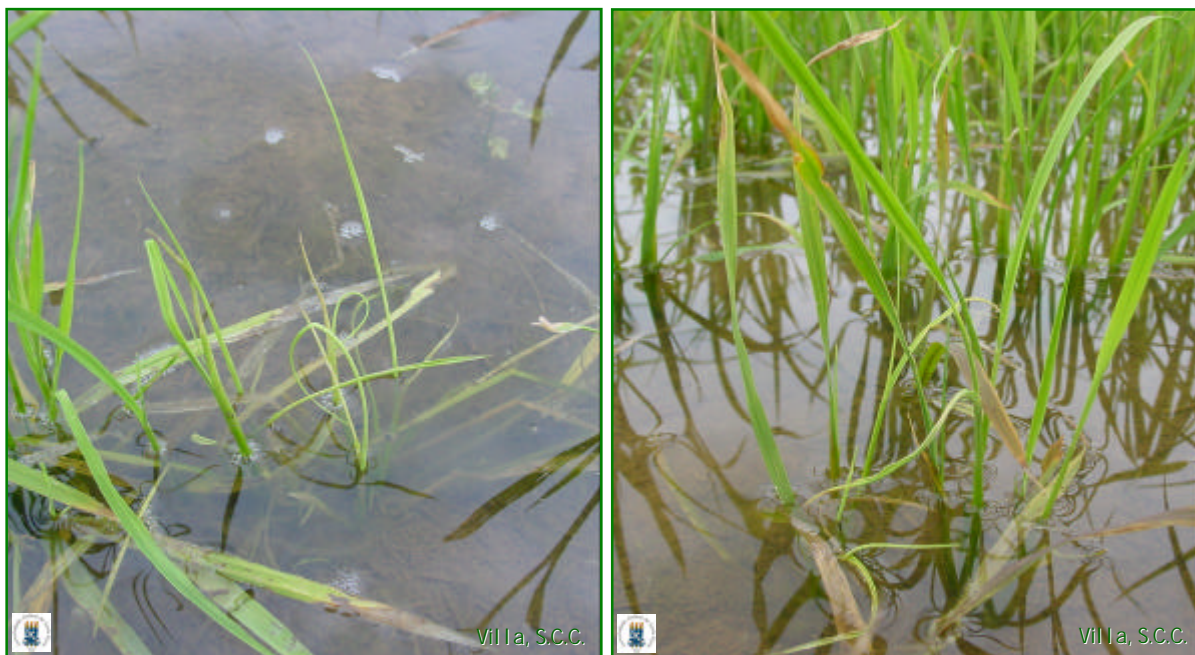
Anexo VII – Efeito da aplicação de doses do herbicida Only® em PRE no arroz-vermelho aos 2 DAE. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo VIII – Efeito da aplicação de doses do herbicida Only® em PRE na cultivar IRGA 422 CL aos 2 DAE. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo IX – Efeito da aplicação de doses do herbicida Only® em PRE no híbrido Tuno CL aos 2 DAE. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo X – Sintomas de fitotoxicidade do herbicida Only® na cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria, RS. 2006.



Anexo XI – Plantas submetidas ao teste de germinação utilizando a metodologia descrita por SILVA (2003) para determinar a taxa de cruzamento entre o arroz-vermelho e a cultivar IRGA 422 CL, considerando-se oriundas do cruzamento apenas as plantas que germinaram normalmente (a). Santa Maria, RS. 2006.

**UNIVERSIDADE DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS
HERBICIDAS IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM
ÁREAS DE ARROZ SOB DIFERENTES MANEJOS DE
SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alejandro Fausto Kraemer

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2008

**RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS HERBICIDAS
IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM ÁREAS DE ARROZ SOB
DIFERENTES MANEJOS DE SOLO**

por

Alejandro Fausto Kraemer

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado

**RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS HERBICIDAS
IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM ÁREAS DE ARROZ SOB
DIFERENTES MANEJOS DE SOLO**

elaborada por
Alejandro Fausto Kraemer

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Comissão Examinadora

Enio Marchesan, Dr.
(Presidente/Orientador)

José Alberto Noldin, Dr. (EPAGRI)

Luis Antonio de Avila, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 03 de abril de 2008.

DEDICATÓRIA

A minha esposa

Florencia Galdeano

Aos meus filhos

Simon Kraemer

Alejandro Jacques Kraemer

Aos meus Pais

Simon Jacques Syme Kraemer

Paola Massoli

Aos produtores, técnicos e pesquisadores que trabalham com arroz de várzea

AGRADECIMENTOS

À DEUS.

À minha esposa e filhos, pelo apoio, carinho, dedicação neste período e pelas horas de convivência que lhes foram suprimidas.

Ao Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA Argentina), a Universidade Federal de Santa Maria, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Enio Marchesan, pela amizade, e inestimável dedicação, ensinamento e orientação durante o curso de Pós-Graduação.

Aos professores Luis Antonio de Avila e Sérgio Luiz de Oliveira Machado, pela co-orientação e amizade.

Aos professores das diferentes disciplinas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos qualificados ensinamentos oferecidos.

Aos colegas da EEA INTA Corrientes, pela amizade e colaboração durante estes dois anos.

Aos estagiários e ex-estagiários do Setor de Agricultura da Universidade Federal de Santa Maria, em especial aos bolsistas, Mara Grohs, Jefferson Fontoura, Paulo Fabrício Sachet Massoni e Gerson Meneguetti pelo apoio nos trabalhos de pesquisa.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia, em especial aos colegas Edinalvo Rabaioli Camargo, Melissa Walter e Ramon Méndez La Rosa, pelo convívio, amizade e colaboração.

Ao Senhor Alex Fabiano Guiliani, Funcionário do Departamento de Fitotecnia; da UFSM pelo apoio e colaboração oferecida nos trabalhos em campo.

À todos meus novos amigos que tornaram minha vida em Santa Maria, mais feliz e agradável, contribuindo direta ou indiretamente com o êxito do trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado em Agronomia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM ÁREAS DE ARROZ SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO

AUTOR: Alejandro Fausto Kraemer

ORIENTADOR: ENIO MARCHESAN

Santa Maria, 27 de março de 2008.

O arroz-vermelho (*Oryza* spp.) é um dos principais fatores limitantes da produtividade de grãos do arroz irrigado (*O. sativa* L.) no mundo e em particular do estado do Rio Grande do Sul (RS) Brasil. A tecnologia Clearfield® é uma ferramenta viável e eficiente para o controle desta planta daninha, mediante o uso de herbicidas da família das imidazolinonas junto com cultivares tolerantes a estes herbicidas. No entanto, os herbicidas podem permanecer no solo após o cultivo, em quantidade que pode comprometer a utilização futura da área com outras culturas, ou mesmo com cultivares de arroz não tolerante (NT). A permanência destes herbicidas no solo é muito dependente das condições ambientais e de solo, aumentando sua persistência em solos com pH baixos, com altos conteúdos de matéria orgânica (MO), argila e em condições de anaerobioses. A principal via de dissipação destes herbicidas é a microbiana, podendo também, sofrer fotólises ou serem lixiviados para fora da área de absorção das raízes. Foram conduzidos dois experimentos sob solo de várzea, em Santa Maria-RS no ano agrícola 2006/07. O primeiro experimento (Capítulo II) teve como objetivo determinar o efeito de nove manejos de solo (quatro sob plantio direto ou semidireto e cinco sob plantio convencional), na fitotoxicidade do arroz não tolerante. O efeito residual do herbicida Only® afetou o estande de plantas, perfilhamento, número de panículas e a estatura da cultivar não tolerante IRGA 417, porém não afetou a produtividade de grãos. O revolvimento do solo diminuiu a atividade do herbicida na camada superficial de solo (0-3 cm), embora não tenha afetado as variáveis analisadas. O segundo experimento (Capítulo III) teve como objetivo determinar o efeito de dois manejos de solo, plantio direto (PD) e plantio convencional (PC), na degradação e lixiviação do imazethapyr. Ocorreu maior degradação de imazethapyr no PC do que no PD. Imazethapyr lixiviou até 20 cm, independente do sistema de cultivo. No PC existe uma distribuição uniforme do imazethapyr nos primeiros 15 cm de solo e no PD existe menor concentração de imazethapyr de 0-5 cm, e acúmulo do herbicida de 5-15 cm de profundidade.

Palavras-chave: imidazolinonas, degradação de herbicidas, residual de herbicida, preparo de solo, percolação de herbicidas, lixiviação, *Oryza sativa*

ABSTRACT

M.S. Dissertation in Agronomy
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

RESIDUALS FROM TWO HERBICIDES IMAZETHAPYR AND IMAZAPIC ON PADDY RICE WITH DIFFERENTS SOIL MANAGEMENTS

AUTHOR: ALEJANDRO FAUSTO KRAEMER

ADVISER: ENIO MARCHESAN

Santa Maria March 27, 2008.

Red rice (*Oryza* spp.) is one of the main limiting factors of rice yield (*O. sativa* L.) in the world and particularly in the Rio Grande do Sul (RS) state Brazil. The Clearfield® technology is a viable and efficient tool for controlling such harmful plant by using imidazolinone herbicides in tolerant cultivars. However, herbicides may persist on the soil after the crop season in amount that could affect the future use of the area with other crops as well as with non tolerant rice cultivars. The persistence of this kind of herbicides is highly dependent on the soil's environmental conditions. It increases in low pH soils with high organic matter (MO) content, and under anaerobic conditions. The main way of herbicide dissipation is the biodegradations; they can be photolysis or be lixiviated bellow the roots absorption region.

Two field experiments were carried out on lowland soil in Santa Maria-RS during 2006/2007. The first experiment (Chapter II) had the objective of determining the effect of nine soil tillages (four on no till or minimum till seeping and five, on conventional tillage) on the phytotoxicity of non tolerant rice.

The residual effect of the herbicide Only® affected plants stand, tillering, panicle number and plant heights of cultivar IRGA 417, but did not affect the grain yield. Soil plowing decreased herbicide activity on the soil surface (0-3 cm) without affecting the variables assayed. The second experiment (Chapter III) had the objective of determining the effect of two soil tillages (no till- PD- and conventional tillage-PC) on imazethapyr degradation and leaching. Higher degradation of imazethapyr was registered on PC than on PD. Imazethapyr leaching until 20 cm regardless the tillage system. In PC, a uniform distribution of imazethapyr was observed in the first 15 cm of soil while in PD there was a lower concentration of imazethapyr at 0-5 cm, which accumulated at 5-15 cm deep.

Key words: imidazolinone, herbicide degradation, herbicide residual, soil preparation, herbicide percolation, lixiviation, *Oryza sativa*

LISTA DE TABELAS

- TABELA - 1** Estande de plantas por m² aos 10 e 17 dias após emergência (planta m⁻² 10 DAE) (planta m⁻² 17DAE), número de colmos por m² (colmos m⁻²), estatura de plantas em cm (estatura (cm)), número de panículas por m² (panículas m⁻²), esterilidade de espiguetas (% esterilidade), número de grãos por panículas (grãos/panícula), peso de 1000 grãos em g (peso 1000 grãos) e produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (produtividade de grãos.), para nove preparos do solo (PS) e duas cultivares em resposta ao efeito residual de dois anos dos herbicidas imazethapyr e imazapic (75+25 g a.i. ha⁻¹) (Only®). Santa Maria, RS. 2006/07.....35
- TABELA - 2** Dados do bioensaio. Fitotoxicidade residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic e estatura de plantas (cm) do tomateiro 15 dias após emergência, semeados sobre amostras de solo coletadas das parcelas plantio direto (PD), quatro preparos de solo, pousio e testemunha, a duas profundidades, 0-3 cm e 3-6 cm.....58
- TABELA - 3** Dados do bioensaio. Fitotoxicidade residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic e estatura de plantas (cm) do tomateiro 15 dias após emergência, semeados sobre amostras de solo coletadas das parcelas plantio direto (PD), quatro preparos de solo, pousio e testemunha, a duas profundidades, 0-3 cm e 3-6 cm.....59

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** - Herbicidas imidazolinonas: a) imidazolinona piridina, b) benzeno imidazolinona e c) imidazolinona quinolina. Imidazolinona piridina dividido segundo o radical (R) em imazapyr: R = H, imazapic: R = CH₃, imazethapyr: R = CH₃—CH₂, e imazamox: R = CH₃—O—CH₂. Extraído de Tan et al. (2005).....16
- FIGURA 2** - Curva teórica de titulação das imidazolinonas calculada com a equação de Henderson-Hasselbalch.....19
- FIGURA 3** - Fitotoxicidade da mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75+25 g ha⁻¹) na cultivar IRGA 417 semeada após um ano da última aplicação dos herbicidas, num sistema com dois anos de uso dos herbicidas, em cinco épocas de avaliação e nove preparos de solos: plantio direto (PD); plantio direto mais azevém (PDA); um preparo de solo (PS) em abril (1PSA); um PS em abril mais azevém (1PSAA); um PS em outubro (1PSO); dois PS em maio e outubro (2PSMO); dois PS em abril e outubro (2PS); três PS em abril, maio e outubro (3PS); quatro PS em abril, maio, agosto e outubro (4PS). Santa Maria, RS, 2006/07.....32
- FIGURA 4**- Concentração de imazethapyr, expressa em µg de ingrediente ativo por kg de solo (µg kg⁻¹), para dois manejos de solo, plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) e quatro profundidades 0-5, 5-10; 10-15 e 15-20 cm após a coleta do arroz no terceiro ano num sistema de rotação dois anos arroz Clearfield e um ano arroz convencional.....42
- FIGURA 5** - Profundidade do lençol freático durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006) em solo de várzea, registradas na área do experimento.....44

FIGURA 6 - Dados bioensaio. Fitotoxicidade residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic em tomateiro 15 dias após emergência, semeados sobre amostras de solo coletadas das parcelas plantio direto (PD), quatro preparos de solo, pousio e testemunha, a duas profundidades, 0-3 cm e 3-6 cm.....	59
FIGURA 7 - Temperaturas médias diárias do ar e temperatura média diária do solo aos três centímetros para os manejos de solo, plantio direto (PD) e plantio convencional com quatro preparos de solo (4PS) durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006).....	60
FIGURA 8 - Porcentagem de umidade do solo, nos primeiros 5 cm, para nove preparos de solo, durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006) em solo de várzea, registradas na área do experimento e o conteúdo de umidade a capacidade de campo (CC) determinada no laboratório de física de solos da UFSM.....	60
FIGURA 9 - Produção de azevém em kg/ha de massa seca para plantio direto (PD) e plantio convencional (PC), durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006) em solo de várzea, na área do experimento.....	61

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
-----------------	----

CAPÍTULO

I	COMPORTAMENTO AMBIENTAL DOS HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS.....	13
	Resumo	13
	Abstract	14
	Introdução	14
	Mecanismo de ação.....	15
	Estrutura química.....	15
	Fatores que afetam o comportamento das imidazolinonas no solo.....	16
	Sorção.....	16
	Fotólises.....	21
	Hidrólises.....	23
	Degradação microbiana.....	23
	Lixiviação.....	24
	Considerações finais.....	25
II	MANEJO DO SOLO DE VÁRZEA E A PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E IMAZAPIC	26
	Resumo	26
	Abstract	26
	Introdução	27
	Material e Métodos	29
	Resultados e discussão	31
	Conclusão	36

III	LIXIVIAÇÃO DO IMAZETHAPYR EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO DE VÁRZEA.....	37
	Resumo	37
	Abstract	38
	Introdução	38
	Material e Métodos	40
	Resultados e discussão	41
	Conclusão	44
	SUGESTÕES DE MANEJO.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
	APÊNDICES.....	58

INTRODUÇÃO

O arroz é uma das culturas mais importantes no mundo, cultivada em todos os continentes, somando em torno de 150 milhões de hectares no ano 2004 (AZAMBUJA et al., 2004) com uma produção mundial de 636,7 milhões de toneladas base casca (MÉNDEZ DEL VILLAR, 2007). É a principal fonte de alimento, sendo a responsável da alimentação de mais da metade da população mundial (LU, 2007). Contribui com 23% de todas as calorias, quase o mesmo que o aporte do milho e trigo juntos, transformando-o na principal fonte mundial de consumo direto de calorias (RIDEELL & GUJJA, 2007). O Brasil é o nono produtor mundial de arroz com cerca de 10,6 milhões de toneladas, das quais o 68% é originado de arroz irrigado, semeado principalmente nos estados de Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS) (AZAMBUJA et al., 2004). De acordo com os mesmos autores, no RS semeia-se em torno de um milhão de hectares, com uma produtividade média em torno das seis t ha⁻¹, representando 25% da área cultivada e contribuindo com mais de 50% do total do arroz produzido no Brasil.

Embora no RS a produtividade média seja relativamente alta, existem sérios problemas de infestação com arroz-vermelho, sendo o principal inconveniente das lavouras nesta região. Com o desenvolvimento da tecnologia Clearfield[®] foi possível controlá-lo eficientemente, mediante o uso conjunto de cultivares tolerantes às imidazolinonas e a mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (Only[®]) com 75 e 25 g i.a. L⁻¹, respectivamente (VILLA et al., 2006; SANTOS et al., 2006). No entanto, os herbicidas podem permanecer no solo após o cultivo, em quantidade que pode comprometer a utilização futura da área com outras culturas, ou mesmo com cultivares de arroz não tolerante. Os danos causados às culturas em sucessão são variáveis dependendo das condições físicas, químicas e de manejo do solo, entre outros fatores. Foram determinados diferentes níveis de danos por fitotoxicidade do residual de imazethapyr, imazapic ou Only[®] sobre, alfafa, algodão, aveia, azevém, batata, beterraba açucareira, canola, cebola, ervilha, girassol, linho, melão, milho, mostarda, pimenta, pimentão, repolho, sorgo, trigo e tomate (BOVEY & SENSEMAN, 1998; ALISTER & KOGAN, 2005; PINTO et al., 2007a). Em arroz não-tolerante, VILLA et al., (2006) determinaram menor estande de plantas por efeito residual do herbicida Only[®], porém sem efeito na produtividade. No entanto

MARCHESAN et al., (2007a e b) determinaram perdas de produtividade de 19 e 30% por efeito do residual desse herbicida sobre arroz suscetível, um ano após a aplicação do herbicida e os sintomas de fitotoxicidade foram observados dois anos após a aplicação. Nesse sentido, ZHANG et al., (2000) determinaram redução na produtividade de arroz de 69% pelo efeito residual de imazethapyr. PINTO et al., (2007b) determinaram redução na biomassa aérea e radicular de arroz suscetível, sendo que o efeito residual do herbicida relacionou-se com as doses aplicadas no último ano, não havendo acúmulo de efeito pelo emprego de anos consecutivos do sistema Clearfield®. MASSONI et al. (2007) observaram efeito residual desse herbicida sobre o arroz suscetível, 358 dias após a aplicação e para WILLIAMS et al., (2002), devem transcorrer 540 dias (18 meses) entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura de arroz não-tolerante.

A dissipação destes herbicidas no solo é muito dependente das condições ambientais e das características do solo, quando as condições favorecem a adsorção dos herbicidas à matriz do solo, a persistência destes aumenta e quando favorecem o desenvolvimento dos microorganismos a persistência diminui. Solos com pH inferiores a 6,5, e com maior conteúdo de matéria orgânica (MO), a adsorção e a persistência destes herbicidas aumenta (WANG & WEIPING, 1999; MADANI et al., 2003; FERNANDES DE OLIVEIRA et al., 2004). No entanto, solos bem aerados, com umidade adequada e temperatura em torno de 30 °C aumenta a degradação destes herbicidas (BASHAM & LAVY, 1987; FLINT & WITT, 1997). A principal via de degradação destes herbicidas no solo é por ação de microorganismos (LOUX & REESE, 1993; FLINT & WITT, 1997). Estes herbicidas também podem sofrer fotólises (CURRAN et al., 1992a) ou serem lixiviados para fora da região de absorção das plantas (JOURDAN et al., 1998; McDOWELL et al., 1997). A degradação biológica ocorre principalmente pela ação de microorganismos aeróbicos, sendo praticamente nula em condições de anaerobiose (SHANER & O'CONNOR, 1991). Devido a isto, em solos cultivados com arroz irrigado é de se esperar comportamentos diferentes aos observados em condições de sequeiro, existindo pouca degradação dos herbicidas durante o período de alagamento, aumentando a persistência e o risco de contaminação ambiental, sendo muito importante neste processo, o manejo da área durante o período de entressafra. Evidências teóricas sugerem que a utilização de práticas de manejo que estimulem a degradação de herbicidas no solo durante este período, possam reduzir o residual

destes e minimizam os danos aos cultivos subseqüentes e o risco de contaminação ambiental. Isso porque os processos biológicos estariam sendo influenciados por fatores ambientais, tais como umidade, temperatura e aeração, os quais estão relacionados às práticas de preparo do solo (SOON & ARSHAD, 2005; PEREZ et al., 2005), sendo que a atividade microbiana incrementa em média, 57%, após um preparo do solo (FRANCHINI et al., 2007).

Existem vários trabalhos de pesquisa que estudaram o comportamento das Imidazolinonas no solo em condições de sequeiro. No entanto, há poucos estudos na literatura nacional e internacional do comportamento destes herbicidas em condições de anaerobiose, sendo necessário estudar o comportamento destes herbicidas, em condições de solos alagados. Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo conhecer o comportamento das imidazolinonas no solo, determinar o efeito de diferentes manejos do solo, sobre a fitotoxicidade residual do herbicida Only[®], em arroz não tolerante e na degradação e posicionamento em profundidade do herbicida imazethapyr, em área de várzea cultivado com arroz.

CAPÍTULO I

COMPORTAMENTO AMBIENTAL DOS HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS

ENVIRONMENTAL FATE OF THE IMIDAZOLINONES HERBICIDES – A REVIEW

Resumo

Os herbicidas do grupo das imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, sendo absorvidos pelas raízes e folhas e translocados por floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. Atuam inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeia ramificada em plantas. Quando aplicados nas lavouras, uma proporção significativa deles atinge o solo, onde são passíveis de serem absorvidos pelas raízes das plantas, sorvidos aos colóides do solo, ou dissolvidos na solução do solo, podendo sofrer fotólise, hidrólise, ou degradação microbiana. Condições ambientais do solo como temperatura, umidade, aeração, textura, matéria orgânica (MO) e pH, entre outras, afetam o comportamento destes herbicidas. Podem ser transportados por escoamento superficial e/ou por lixiviação para fora da região de absorção das raízes, podendo atingir fontes de água superficiais e subterrâneas. Além disso, a alta persistência e solubilidade em água fazem com que apresentem alto potencial de contaminar o ambiente e afetar cultivos subsequentes.

Palavras-chave: degradação de herbicidas, degradação microbiana, fotólise, hidrólise, mecanismo de ação, persistência, sorção

Abstract

Imidazolinones is a group of herbicides that control a wide variety of weeds. They are absorbed by roots and leaves and transported through phloem and xylem, accumulating in the growing point. They inhibit the enzyme acetolactate synthase (ALS), which synthesizes the branched chain amino acids. When used in the field, a large portion of these herbicides reach the soil, where they can be absorbed by the roots of plants, sorbed into the soil colloids, or dissolved in soil solution, going through photolysis, hydrolysis or microbial degradation. Soil conditions such as temperature, moisture, aeration, texture, organic matter (OM), pH, and others, affect the behavior of these herbicides in the environment. They can be transported by runoff and/or leaching, and reaching superficial and ground water bodies. Besides, due to their high persistence and solubility in water they have a relatively high potential to contaminate the environment and affect rotational crops.

Key Words: herbicide degradation, biodegradation, photolysis, hydrolysis, mode of action, persistence, sorption.

Introdução

Existem evidências de que os lençóis subterrâneos e corpos de água superficiais são contaminados por pesticidas provenientes da agricultura. Segundo a agência de proteção ambiental dos EUA (USEPA 1992, 1993) 14% das amostras de água obtidas de lençóis freáticos, 165.000 km de rios e 830.000 ha de lagos e reservatórios de água dos EUA apresentam algum nível de contaminação. As imidazolinonas apresentam alto risco de contaminar fontes de água por sua alta persistência no ambiente e alta solubilidade em água. Nos EUA, foram encontrados 16 herbicidas pertencentes às famílias das sulfonilureias, sulfonamidas e imidazolinonas em amostras coletadas de águas superficiais e subterrâneas (BATTAGLIN et al., 2000). Foi determinado que ao menos um dos herbicidas esteve presente em 83% das amostras analisadas, e o herbicida mais frequentemente encontrado foi o imazethapyr, detectado em 71% das amostras. Também foram encontrados traços de imazapyr em águas subterrâneas após oito anos de sua aplicação para o controle de plantas em ferrovias (BORJESSON et al., 2004).

Além disto, existe o problema da permanência das imidazolinonas no solo, em quantidade que pode comprometer a utilização futura da área com culturas não tolerantes. Há relatos indicando danos de fitotoxicidade sobre alfafa, algodão, arroz, aveia, azevém, batata, beterraba açucareira, canola, ervilha, girassol, linho, melão, milho, pimenta, pimentão, repolho, sorgo, trigo e tomate (ALISTER & KOGAN, 2005; PINTO et al., 2007a).

Mecanismo de ação

As imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo gramíneas, ciperáceas e latifoliadas. São absorvidas pelas raízes e folhas, sendo translocadas pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. O controle é proporcionado pela inibição da enzima acetolactato sintetase (ALS), essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina). O efeito fitotóxico das imidazolinonas é causado pela deficiência destes aminoácidos, provocando a diminuição na síntese de proteínas e de DNA, na divisão celular, na translocação de fotossintatos aos pontos de crescimentos. Isto provoca redução no crescimento das plantas, no alongamento das folhas e cloroses entre as nervuras (SHANER & SINGH, 1993).

Estrutura química

Os herbicidas que fazem parte das imidazolinonas incluem imazapyr, imazapic, imazethapyr, imazamox, imazamethabenz e imazaquin, contendo em suas moléculas uma estrutura em comum, o imidazol, separando-se em três subgrupos baseados em uma segunda estrutura cíclica (Figura 1). Imazaquin tem um grupo quinolina, imazamethabenz tem um anel benzeno e as outras imidazolinonas um anel piridina. A este último grupo, piridina imidazolinonas, pertence quatro moléculas que se diferenciam por um radical unido ao carbono cinco do anel piridina. Imazapyr apresenta um hidrogênio (H) no lugar do radical (R), imazapic um grupo metil (CH_3), imazethapyr um grupo etil ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), e imazamox um grupo metoximetil ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$).

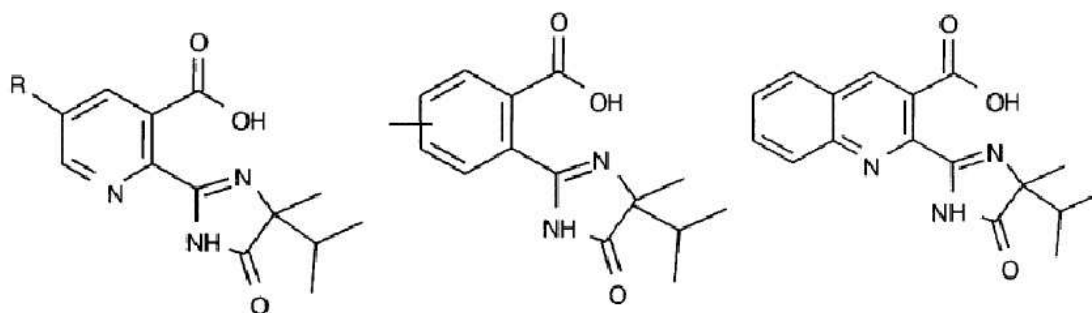


Figura 1 - Herbicidas imidazolinonas: a) imidazolinona piridina, b) benzeno imidazolinona e c) imidazolinona quinolina. Imidazolinona piridina dividido segundo o radical (R) em imazapyr: R = H, imazapic: R = CH₃, imazethapyr: R = CH₃—CH₂, e imazamox: R = CH₃—O—CH₂. Extraído de Tan et al. (2005).

Existem diferenças na intensidade de inibição da enzima ALS entre os grupos, (quinolina, benzeno e piridina), sugerindo que, além do grupo imidazol, estes também são importantes na inibição da ALS. Os diferentes radicais do grupo piridina apresentam pouca atividade na inibição da ALS, mas exerce um efeito diferencial sobre o comportamento no ambiente (TAN et al., 2005).

Fatores que afetam o comportamento das imidazolinonas no solo

Quando um herbicida é aplicado na lavoura, uma alta proporção atinge o solo, seja por contato direto, por escoamento das folhas, ou quando a planta morre e é incorporada ao solo. Uma vez no solo, o herbicida pode ser absorvido pelas raízes das plantas, sorvido pelos colóides do solo, dissolvido na solução do solo, sofrer fotólise, hidrólise, ou degradação microbiana. Também pode ser transportado para fora da região de absorção das raízes, por lixiviação ou escoamento superficial, podendo contaminar fontes de água superficiais ou subsuperficiais.

Sorção

A sorção dos herbicidas no solo é o processo mais importante, porque determina quanto do herbicida ficará retido na matriz do solo e quanto ficará disponível na solução do solo, afetando a absorção pelas plantas, degradação microbiana, fotólise, lixiviação e transporte. Vários estudos demonstram que a sorção das imidazolinonas aos colóides do solo depende de diversos fatores, como

pH, matéria orgânica (MO), textura, umidade e temperatura, e que por sua vez, variam em sua influência, dependendo do lugar e do momento. Isto dificulta a obtenção de uma recomendação única, tanto do ponto de vista agrônomo, como ambiental. A sorção acontece muito rápida, antecipando-se aos outros processos, regulando-os, sendo que para imazapyr, mais de 90% é alcançada na primeira hora e o equilíbrio sorção-desorção é atingido em 20 horas (WANG & WEIPING, 1999), e para imazethapyr, a sorção é completada entre 15 minutos e uma hora (MADANI et al., 2003).

A temperatura é um fator importante na sorção dos pesticidas. Em geral as quantidades sorvidas de pesticidas decrescem com aumentos da temperatura (BIGGAR & CHEUNG, 1973; FUSI et al., 1993). O contrário acontece com as imidazolinonas, sendo que para imazapyr as porcentagens de sorção aumentaram com o aumento da temperatura, sendo um processo endotérmico (JENKINS et al., 2000; WANG & WEIPING, 1999).

Outro fator importante é a umidade do solo, que favorece a sorção destes herbicidas, atuando como meio de difusão das moléculas para as superfícies externas e para os poros internos da matriz do solo (PIGNATELLO & XING, 1996; EHLERS & LOIBNER, 2006). Embora em condições de alta umidade seja favorecida a desorção, como efeito da maior diluição do herbicida (AVILA, 2005).

Os resultados de pesquisa sobre o efeito do conteúdo de argilas na retenção destes herbicidas são diferentes, alguns sugerem que aumenta a sorção (WEI & WEIPING, 1998; LOUX, et al., 1989) enquanto outros sugerem que o conteúdo de argila não afeta a sorção das imidazolinonas (LEON & CARL, 2001; MADANI et al., 2003). Estas diferenças podem estar relacionadas ao pH do solo. A MO e argila aumentam a sorção das imidazolinonas ao solo, por ter uma grande superfície específica. O principal mecanismo que envolve a sorção das moléculas de pesticida à MO é a partição hidrofóbica. No entanto, os mecanismos de interação, com as cargas positivas das argilas, e superfícies dos óxidos de Fe e Al, com as moléculas destes herbicidas ocorre principalmente por mecanismos de troca aniônica e/ou formação de ligantes. Porém, este tipo de interação passa a ter relevância apenas em solos com baixo teor de carbono orgânico, sendo desprezível em solos agrícolas.

O pH da solução do solo, juntamente com a MO, são os fatores que mais influenciam na dinâmica destes herbicidas (KOSKINEN & HARPER, 1990). As

moléculas das imidazolinonas apresentam um comportamento anfótero, possuindo um grupo carboxílico (ácido) e um grupo amino (básico) como grupos funcionais, comportando-se como ácidos ou bases fracas respectivamente. O coeficiente de ionização (pKa) para imazethapyr e imazapyr é de 3,9 e 3,6 no grupo carboxílico e de 2,1 e 1,9 no grupo amino, respectivamente; já para imazaquin 3,8, para imazamox 3,3, e para imazapic 3,9 no grupo carboxílico (SENSEMAN, 2007). Para ácidos fracos, quando o pH da solução do solo é igual ao pKa, as moléculas encontram-se 50% associadas ou neutras (COOH) e 50% dissociadas ou aniônicas (COO⁻). Caso o pH seja maior que o pKa, predominam as moléculas COO⁻, e se o pH for inferior ao pKa, predominam as moléculas COOH (Figura 2). Já para bases fracas, quando o pH da solução do solo for igual ao pKa 50% das moléculas estarão associadas e positivas e 50% delas sem carga. Quando o pH for menor que o pKa, predominam moléculas positivas e quando for maior que pKa predominam moléculas neutras.

Com valores de pH elevados, a sorção destes herbicidas é reduzida, em decorrência do predomínio da forma COO⁻ das moléculas, as quais seriam repelidas pelas cargas negativas da matriz do solo, permanecendo mais biodisponível na solução do solo. Com pH baixo, o número de moléculas COOH ou protonadas (NH⁺) aumenta (MADANI et al., 2003; FERNANDES DE OLIVEIRA et al., 2004). A protonação do grupo amino para imazethapyr e imazapyr só ocorreria com pH próximo de três, o que não é comum em solos agrícolas. Embora BRESNAHAM et al., (2000), consideram que na camada difusa perto das argilas o pH é dois pontos menor que o pH da solução do solo, gerando em solos ácidos condições propícias para acontecer a protonação da molécula, aumentando a adsorção aos colóides do solo, logo de transcorrido três meses de aplicado o herbicida. Quando a proporção de moléculas associadas aumenta, o herbicida fica menos solúvel, aumentando as interações hidrofóbicas com a MO, ficando menos biodisponível, aumentando a persistência. Quando o valor do pH da solução do solo está próximo ao pKa, pequenas variações no pH significam grandes mudanças nas proporções de moléculas COO⁻ e COOH (Figura 2), influenciando a persistência do herbicida no solo.

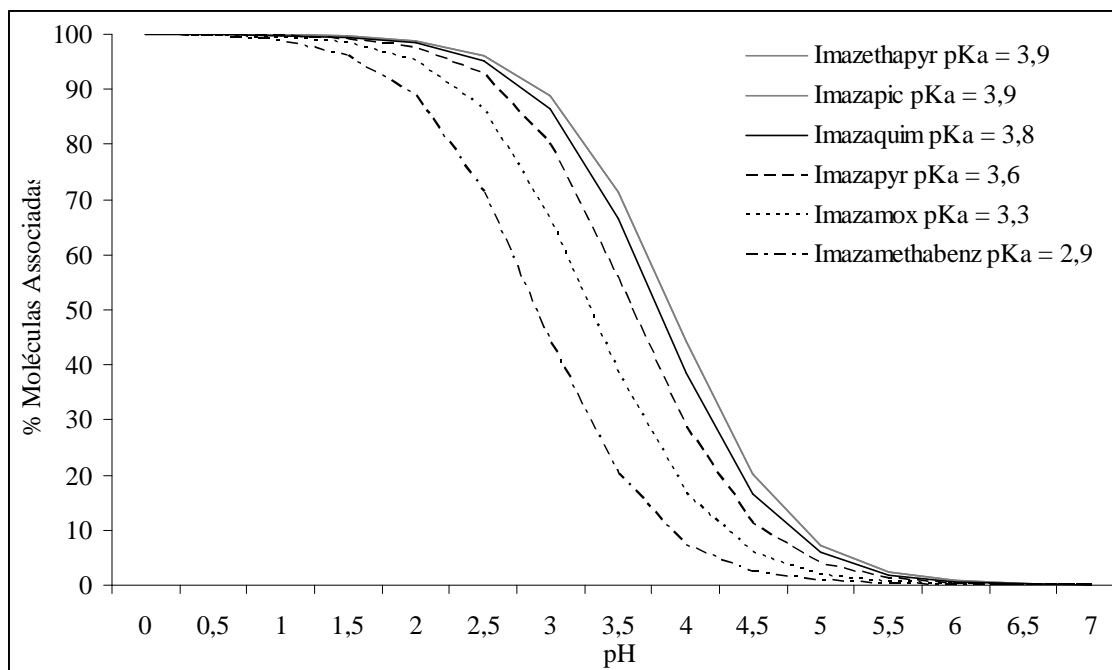


Figura 2 - Curva teórica de titulação das imidazolinonas calculada com a equação de Henderson-Hasselbalch.

O principal mecanismo envolvido na sorção do imazaquin é a partição hidrofóbica, sendo que o aumento do teor de carbono orgânico aumenta a sorção (REGITANO et al., 2001) e reduz a sua desorção do solo (WANG & WEIPING, 1999). Em vista da maior adsorção do herbicida em solos com maiores teores de MO, a taxa da degradação do imazapyr é menor quando comparado com solos com menores teores (McDOWEL et al., 1997). Incrementos nos conteúdos de MO e argila no solo também aumentam a sorção de imazethapyr, diminuindo sua biodisponibilidade (JOURDAN et al., 1998).

Comparativamente, a ordem decrescente de persistência no solo é de imazaquin > imazethapyr > imazamox (BHALLA et al., 1991). Em solos com pH superiores a 6,0 estes herbicidas encontram-se predominantemente na forma dissociada e na solução do solo (MANGELS 1991; AICHELE & PENNER, 2005). Quando o pH da solução do solo diminuiu, aparecem as formas associadas, em maior proporção para imazaquin e imazethapyr do que para imazamox, em decorrência do seu pKa, aumentando as proporções de compostos adsorvidos e diminuindo a proporção biodisponível na solução do solo (LOUX et al., 1989; AICHELE & PENNER, 2005). Para imazethapyr, a porcentagem de herbicida desorvido foi consideravelmente maior a pH 7,0 do que a pH 5,0.

Independentemente do valor de pH avaliado, sempre foi encontrado na solução do solo maior quantidade de imazamox do que imazaquin e imazethapyr, sendo que os dois últimos encontravam-se em quantidades similares (AICHELE & PENNER, 2005). Como imazamox tem pKa menor, maior proporções de moléculas estariam na forma eletronegativa que os demais para um mesmo pH, sendo mais biodisponível e menos persistente no solo (CANTWELL et al., 1989; AICHELE & PENNER, 2005). As mudanças na porcentagem de sorção em relação ao pH para imazapyr foram pequenas (WANG & WEIPING, 1999; AICHELE & PENNER, 2005). A sorção do imazethapyr ao solo aumentou em pH 5,0, e não variou significativamente quando este era superior a 6,0, bem como não foi encontrada interação significativa entre a retenção e o conteúdo de argila e MO do solo, com pH entre 7,5 e 8,5 (LITTLE et al., 1994, JOURDAN et al., 1998, MADAMI et al., 2003). A biodisponibilidade de imazethapyr em solo arenoso aumenta quando o pH incrementava de 3,7 para 6,5, porém, para valores superiores a este, o pH não tinha efeito sobre a bioatividade do herbicida (JOURDAN et al., 1998). A concentração de imazethapyr remanescente no solo após cinco meses foi menor com pH maiores. Quando o pH é baixo vários mecanismos de sorção são iniciados, incluindo forças físicas fracas ou pontes de hidrogênio, através de grupos carboxila associado (WANG & WEIPING, 1999). LOUX (1989) e REGITANO et al., (2001) acharam comportamento similar para imazaquin em relação ao pH. A alta solubilidade do imazethapyr e a fraca retenção que ele apresenta em solos com pH superiores a 7,0 indicam que teria uma alta mobilidade nestas condições, aumentando significativamente o risco de contaminação de lençóis freáticos, por lixiviação (MADAMI et al., 2003).

A sorção das imidazolinonas está relacionada com as propriedades do solo, sendo necessário ajustar as doses dos herbicidas de acordo as características do mesmo, com o objetivo de manter a eficiência do produto e diminuir a contaminação ambiental, sem afetar a eficiência de controle das plantas daninhas. As doses devem ser maiores quando aplicadas em um solo com alto conteúdo de MO e baixo pH, para manter a eficiência de controle, porém, quando as condições do solo são contrárias a estas, as doses a aplicar devem ser menores para diminuir o risco de contaminação ambiental (WANG & WEIPING, 1999)

Fotólise

As imidazolinonas sofrem rápida fotólise em água, podendo ser uma forma importante de dissipação neste meio. Porém, em solo, as taxas de fotólises são mais lentas. A penetração da luz no interior do perfil do solo é limitada a 0,1 a 0,5 mm de espessura (BALMER et al., 2000) e nunca mais do que um mm (FRANK et al., 2002). Em solos arenosos e úmidos a fotólise pode ser elevada, porém em condições de solo seco ou com maiores conteúdos de MO e/ou argila, a fotólise perde importância. Foi quantificado que 45% do imazaquin e 52% do imazethapyr foram dissipados em solo arenoso e úmido após 48 horas; já em condições de solo arenoso seco ou solo argiloso seco ou a capacidade de campo, a dissipação dos herbicidas após 48 horas foi menor do que 10% (CURRAN et al., 1992a). Em condições de laboratório, a luz ultravioleta (UV) causa 100% de degradação do imazethapyr em água pura, após 48 horas (CURRAN et al., 1992a), sendo a meia vida em torno de 4-6 horas, podendo sofrer tanto fotólise direta quanto indireta (AVILA et al., 2006), obtendo-se como produtos, na primeira etapa da fotólise, dois metabólitos (AZZOUZI et al., 2002). A taxa de fotólise varia segundo as condições do meio e a presença de ácido húmico, sendo significativamente diferente em comparação com a fotólise em água pura. A presença de ácido húmico diminui a fotólise do herbicida (AZZOUZI et al., 2002). Os ácidos húmicos diminuem a fotodegradação do imazethapyr por competir por luz com as moléculas do herbicida. Sustâncias inorgânicas solúveis podem diminuir a fotólise direta diminuindo a intensidade de luz, ou acelerar a fotólise indireta, gerando espécies reativas de oxigênio.

A sorção também afeta a fotólise do imazethapyr, sendo seu efeito mais importante quando o herbicida é aplicado na pré-emergência. Químicos adsorvidos dentro de espaços coloidais ou seqüestrados pela MO ficariam protegidos da luz. A maior sorção ou a menor disponibilidade do herbicida diminui a taxa da fotólise (CURRAN et al., 1992a). A fotólise em água do imazethapyr varia pouco com o pH da solução (SHANER & O'CONNER, 1991) ou não é afetada (AVILA et al., 2006), embora no solo o pH afete indiretamente a fotólise através da interferência na sorção do herbicida (LOUX et al., 1989; STOUGAARD et al., 1990). Em condições de solo alagado, o efeito do pH só é observado durante as primeiras 3-4 semanas após a inundação, já que após este período o pH do solo estabiliza-se próximo da

neutralidade através do processo natural de auto calagem (SNYDER & SLATON, 2002). A taxa de fotólise aumenta com a temperatura quando em solução com água pura (ISHIKI et al., 2005).

A meia vida do imazamox em água é de 78 minutos, degradando-se por completo em 10 horas, sendo mais estável que o imazapyr, que foi degradado completamente em 6 horas com uma meia vida de 40 minutos, embora os metabólitos perdurem na solução do solo de 50 a 100 horas (QUIVET et al., 2004 e 2006a). Esta relativa maior estabilidade da molécula de imazamox em relação à molécula do imazapyr está relacionada a sua diferença estrutural. A molécula de imazapyr no anel piridínico tem um H, e o imazamox um grupo metoximetil, o que acaba lhe conferindo maior estabilidade, embora o imazethapyr apresente um grupo etil ao invés do H, ele é fotodegradado mais rapidamente que imazapyr (QUIVET et al., 2004; e 2006a). Os radicais do anel piridínico que diferenciam as imidazolinonas deste grupo permanecem unidos ao anel piridínico após o primeiro passo do processo de fotodegradação, sem interferir na formação de diferentes metabólitos, pois os produtos da fotólise de imazamox e imazapyr são semelhantes. (MALLIPUDI et al., 1991; QUIVET et al., 2006a). A presença de metais como Na^+ , Ca^{2+} ou Cu^{2+} faz com que diminua a taxa de degradação de imazamox. A presença destes íons estabiliza as moléculas do herbicida, provavelmente por um processo de complexação deste com os metais. A meia vida de fotólise de imazamox em presença de Cu^{2+} se prolongou para 482 minutos (QUIVET et al., 2006b). MALLIPUDI (1991) determinou que para imazapyr a fotodegradação não foi afetada pelo pH quando em solução aquosa, e que a presença de ácidos húmicos a diminui. AZZOUZI et al., (1999) observaram um efeito “guarda-chuva” do ácido húmico sobre as moléculas do herbicida. A fotólise do imazaquin, em condições de campo, tem importância somente para uma pequena fração do produto que permanece na superfície do solo. A maior porção fica na solução do solo disponível para as plantas, para os microorganismos e para ser lixiviado ou sorvido ao solo (BASHAM & LAVY, 1987). A fotólise é mais efetiva com pH maior ao pKa e na ausência de oxigênio. Em pH baixo, ocorre aumento de sorção e as moléculas tornam-se mais estáveis à fotodegradação (BARKANI et al., 2005)

A luz UV degrada por fotólise 100% das moléculas de imazaquin, imazethapyr, imazapyr e imazamox, e 87% das moléculas de imazamethabenz quando em solução aquosa, após 48 horas (CURRAN et al., 1992a; QUIVET et al.,

2004 e 2006a). A ordem de susceptibilidade decrescente à fotodegradação é imazaquin = imazethapyr > imazapyr > imazamox > imazamethabenz, sendo que a fitotoxicidade destas imidazolinonas diminui com o tempo de exposição à luz ultravioleta, indicando que a degradação dos herbicidas é acompanhada por uma correspondente perda de atividade biológica (CURRAN et al., 1992a).

Hidrólise

A hidrólise não é um processo importante de dissipação para as imidazolinonas. As perdas de imazethapyr por hidrólise são mínimas, a pH 5,0 ou 7,0, sendo praticamente nulas a pH 9,0 ($t_{1/2} \approx 9,6$ meses a 25°C) (SHANER & O'CONNER, 1991). Foi demonstrado que a degradação hidrolítica não é importante para os herbicidas imazapyr (CURRAN, 1992a; QUIVET et al., 2004; 2006a), imazethapyr (CURRAN, 1992a), imazamox (QUIVET et al., 2004 e 2006a), imazamethabenz (CURRAN, 1992a) e imazaquin (CURRAN, 1992a, BARKANI et al., 2005), sendo que não foi encontrado resultados de pesquisa sobre imazapic.

Degradação microbiana

O principal mecanismo de dissipação das imidazolinonas no solo é através da degradação microbiana (FLINT & WITT, 1997; LOUX et al., 1989). A degradação de imazapyr foi 2,3 a 4,4 vezes mais lenta em solos estéreis quando comparadas com solo em condições naturais (WANG et al., 2005), já para imazethapyr e imazaquin foi determinado que 100% dos herbicidas foram degradados em solos não estéreis e 15% em solo estéril após cinco meses (FLINT & WITT, 1997). A degradação microbiana pode acontecer em condições de aerobiose exclusivamente, como é o caso de imazethapyr (SHANER & O'CONNOR, 1991), ou em condições de aerobiose e anaerobiose, como no caso de imazapyr (WANG et al., 2006). Quando as condições ambientais favoreceram o desenvolvimento dos microorganismos e a biodisponibilidade dos herbicidas, a degradação das imidazolinonas aumenta.

A temperatura do solo afeta a degradação das imidazolinonas, sendo que em solos cultivados sob temperaturas de 18 e 35°C, a degradação do imazethapyr foi de 66 e 100%, respectivamente (BASHAM & LAVY, 1987). FLINT & WITT, (1997) determinaram que a emissão de CO₂ por microorganismos aumentou com a

presença de imazethapyr ou imazaquin, duplicando a atividade quando a temperatura passou de 15 para 30°C, utilizando preferencialmente o carbono do grupo carboxila. Mantendo-se o pH alto e aumentando-se a temperatura, observou-se uma redução na concentração de imazethapyr, mais acentuada em solo úmido (JOURDAN et al., 1998). BASHAM & LAVY, (1987) e BAUGHMAN & SHAW, (1996) demonstraram que imazethapyr e imazaquin foram mais persistentes em solos frios e secos do que em solos aquecidos e úmidos.

A sorção dos herbicidas aos colóides do solo prolonga a persistência dos mesmos e os protege dos processos de biodegradação. AICHELE & PENNER, (2005) determinaram que a dissipação de imazaquin, imazethapyr e imazamox diminuiu quando o pH desceu de 7,0 para 5,0 devido ao aumento na sorção com a conseqüente redução da biodisponibilidade. A degradação microbiana destes herbicidas tem uma estreita relação com a quantidade de moléculas biodisponível na solução do solo (CANTWELL et al., 1989). Imazamox foi degradado mais rapidamente que os outros dois, sendo a meia vida do imazamox a pH 7,0 de 1,4 semanas, do imazethapyr de 16, e do imazaquin mais de 16 semanas (AICHELE & PENNER, 2005). Alguns autores determinaram que a persistência do imazapyr no solo pode variar de 90 a 730 dias (ARS, 2001), para imazapic 90 dias (GRYNES et al., 1995), e para o imazethapyr de 60 a 360 dias (GOETZ et al., 1990; MANGELS, 1991). O prolongado período de permanência no solo destes herbicidas compromete o desenvolvimento de cultivos sensíveis, aumentando o risco de contaminar fontes de água (HART et al., 1991).

Uma bactéria de solo foi isolada por WANG (2006), a qual degrada imazaquin em altas concentrações, *Arthrobacter crystallopoietes* (WWX-1), apresentando máxima atividade a 35°C e pH 5,0. Esta bactéria também é capaz de degradar outras imidazolinonas, podendo ser usada como uma ferramenta para biorremediar solo e água contaminados com imidazolinonas.

Lixiviação

JOURDAN et al. (1998) monitoraram a movimentação de imazethapyr no perfil de um solo arenoso, até 90 dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Nos primeiros cinco DAA, o herbicida atingiu 20 cm, embora as maiores concentrações encontravam-se nos primeiros 10 cm. Já aos 30 DAA, a maior concentração do

produto encontrava-se nos primeiros 15 cm, detectando-se produto até 30 cm de profundidade. A partir dos 90 DAA, a concentração nos primeiros cinco cm diminuiu, concentrando-se o herbicida entre cinco e 30 cm de profundidade, indicando uma diminuição na camada superficial e um aumento na espessura da porção subsuperficial com as maiores concentrações. Após cinco meses, não foi detectada presença de imazethapyr. Em condições de menor umidade de solo, foi observada maior concentração de imazethapyr de 0 a 10 cm, e com maior umidade, de 5 a 10 cm, 90 DAA. A mobilidade do herbicida no perfil do solo é menor em condições de baixas temperaturas e umidades (JOURDAN et al., 1998). McDOWELL et al., (1997) observaram que imazapyr atingiu maior profundidade em condições de maior precipitação, alcançando 25 cm de profundidade 90 DAA.

Considerações finais

As imidazolinonas apresentam longa persistência no solo, podendo causar danos de fitotoxicidade em culturas suscetíveis e contaminar fontes de águas subterrâneas e superficiais.

A sorção das imidazolinonas é afetada principalmente pelo pH, conteúdo de matéria orgânica e argila do solo, sendo inversamente proporcional ao primeiro e diretamente proporcional aos outros dois.

A sorção regula o comportamento das imidazolinonas no solo, determinando quanto do herbicida vai estar disponível para fotólise, degradação microbiana, lixiviação e quanto para ser absorvido pelas plantas. Dessa forma, influencia na eficiência e na persistência do herbicida.

A fotólise direta em condições de campo não é uma via importante de dissipação, podendo adquirir alguma importância em solos arenosos e úmidos.

A principal via de dissipação das imidazolinonas é a degradação microbiana, sendo exclusivamente aeróbica para imazethapyr, e aeróbica e anaeróbica para imazapyr.

A hidrólise não é uma via de dissipação relevante para as imidazolinonas.

CAPÍTULO II

MANEJO DO SOLO DE VÁRZEA E A PERSISTÊNCIA DO HERBICIDA ONLY[®] (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC)

SOIL TILLAGE AND THE RESIDUAL OF THE HERBICIDE ONLY[®] (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) IN PADDY RICE

Resumo

A tecnologia Clearfield[®] permite controlar eficientemente o arroz-vermelho em cultivos de arroz irrigado mediante o uso da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (Only[®]), tendo contribuído para o acréscimo da produtividade de arroz no Rio Grande do Sul (RS). Esses herbicidas podem persistir no solo por longos períodos causando fitotoxicidade ao arroz suscetível cultivado em sucessão. Este trabalho teve como objetivo determinar o efeito de diferentes manejos de solo, durante a entressafra do arroz, sobre a fitotoxicidade residual do imazethapyr e imazapic, em arroz não tolerante. O residual desses herbicidas causou fitotoxicidade sobre o arroz suscetível, observando-se valores máximos até 25 dias após a emergência, ocorrendo uma diminuição após este período até praticamente desaparecer 60 dias após a emergência. O residual do herbicida afetou o estande de plantas, número de colmos m⁻², número de panículas m⁻², estatura de plantas, mas não afetou a produtividade de grãos. O revolvimento do solo diminuiu a atividade do herbicida na camada superficial de solo (0-3 cm).

Palavras-chave: residual de herbicida, imidazolinonas, preparo de solo.

Abstract

The release of Clearfield[®] technology has enabled efficient control of red rice on irrigated rice crops by using a mixture of herbicides imazethapyr and imazapic (Only[®]), contributing to increase the rice yield in Rio Grande do Sul (RS). However,

such herbicides may persist on the soil for long periods causing plant injury to susceptible rice grown in rotation. The objective of this work was to determine the effect of different soil tillage during the winter fallow on the residual phytotoxicity of imazethapyr and imazapic on non tolerant rice.

Herbicide residues caused injury on susceptible rice with the highest values observed 25 days after emergency and decreasing after this period until almost disappearing 60 days after emergency. Herbicide residues affected plants stand, number of stems m^{-2} , number of panicles m^{-2} and plants high, but did not affect grain yield. Soil movement decreased herbicides activity only on the superficial soil layer (0-3 cm).

Key words: herbicide residual, imidazolinone, soil tillage.

Introdução

Os herbicidas imazethapyr e imazapic pertencem à família das imidazolinonas, e controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo gramíneas, ciperáceas e latifoliadas. São absorvidos por raízes e folhas, sendo transportados por floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. O controle é proporcionado pela inibição da enzima acetolactase sintetase (ALS), que é essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeia ramificada em plantas, a isoleusina, leusina, e valina (TAN et al., 2006). Esses herbicidas estão sendo amplamente utilizados no Estado do Rio Grande do Sul (RS), em mistura formulada com o nome comercial Only[®], que é aplicado em cultivares tolerantes, constituindo a tecnologia chamada Clearfield[®]. A tolerância no arroz cultivado foi obtida por mutações induzidas utilizando-se tratamento das sementes com químicos mutagênicos, a etil metanosulfonato (EMS) ou radiação gamma (CROUGHAN, 1998).

A tecnologia Clearfield[®] foi introduzida como uma nova ferramenta para ajudar a solucionar o principal problema das lavouras de arroz do RS, permitindo o controle químico eficiente do arroz-vermelho (VILLA et al., 2006; SANTOS et al., 2006), o que contribuiu para o acréscimo do rendimento médio de grãos do Estado. No entanto, os herbicidas podem persistir no solo após o cultivo, em quantidade que pode comprometer a utilização futura da área com outras culturas suscetíveis, ou

mesmo com cultivares de arroz não tolerante. Os danos causados a culturas em sucessão são variáveis dependendo das condições físicas, químicas e de manejo do solo, entre outros fatores. Foram determinados diferentes níveis de danos por fitotoxicidade do residual de imazethapyr, imazapic ou Only[®] sobre, alfafa, algodão, aveia, azevém, batata, beterraba açucareira, canola, cebola, ervilha, girassol, linho, melão, milho, mostarda, pimenta, pimentão, repolho, sorgo, trigo e tomate (BOVEY & SENSEMAN, 1998; ALISTER & KOGAN, 2005; PINTO et al., 2007a). Em arroz não-tolerante, VILLA et al. (2006) determinaram menor estande de plantas por efeito residual do herbicida Only[®], porém sem efeito na produtividade. No entanto MARCHESAN et al. (2007a e b) determinaram perdas de produtividade de 19 a 30% por efeito do residual desses herbicidas sobre arroz suscetível, um ano após a aplicação dos herbicidas e sintomas de fitotoxicidade foram observados dois anos após a aplicação. Nesse sentido, ZHANG et al. (2000) determinaram diminuição na produtividade de arroz de 69% pelo efeito residual de imazethapyr. PINTO et al. (2007b) determinaram redução na biomassa aérea e radicular de arroz suscetível, sendo que o efeito residual do herbicida relacionou-se com as doses aplicadas no último ano, não havendo acumulação de efeito pelo emprego de anos consecutivos do sistema Clearfield[®]. MASSONI et al. (2007) observaram efeito residual desse herbicida sobre o arroz suscetível, 358 dias após a aplicação e para WILLIAMS et al. (2002), devem transcorrer 540 dias (18 meses) entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura de arroz não-tolerante.

A persistência do herbicida no solo depende das condições climáticas, das propriedades do solo e da quantidade do herbicida aplicado. O principal mecanismo de dissipação das imidazolinonas no solo é a degradação microbiana (LOUX & REESE, 1993; FLINT & WITT, 1997), o que não acontece em condições de anaerobioses para imazethapyr (SHANER & O'CONNOR, 1991). Esses herbicidas também sofrem fotólise, podendo ser este meio de dissipação relevante em solo arenoso e úmido, não sendo importantes para outros tipos de solos (CURRAN et al., 1992a). Esses processos ficam regulados pela sorção das moléculas dos herbicidas aos colóides do solo e pelas condições ambientais que favoreçam o desenvolvimento dos microorganismos.

Em solos com pH baixo ocorre maior sorção desses herbicidas e menor biodegradação (BRESNAHAM et al., 2000; MADANI et al., 2003; FERNANDES DE OLIVEIRA et al., 2004). Isso ocorre, porque a sorção determina quanto do herbicida

vai ficar retido na matriz do solo e quanto ficará disponível na solução do solo capaz de sofrer os diferentes processos de dissipação. Os solos arrozeiros do RS são predominantemente ácidos sendo que 50% desses apresentam pH inferior a cinco (ANGHINONI et al., 2004). Nestas condições os herbicidas imazethapyr e imazapic têm alta probabilidade de permanecer sorvidos ao solo, aumentando sua persistência e o risco de efeitos fitotóxicos sobre culturas em sucessão. Há evidências de que as utilizações de práticas de manejo, que estimulem a degradação de herbicidas no solo durante o período da entressafra do arroz, possam reduzir a persistência destes, minimizando os danos aos cultivos subseqüentes. Isso porque os processos biológicos estariam sendo influenciados por fatores ambientais, tais como umidade, temperatura e aeração, os quais estão relacionados às práticas de preparo do solo (SOON & ARSHAD, 2005; PEREZ et al., 2005), sendo que o preparo do solo incrementa em até 57% a atividade microbiana (FRANCHINI et al., 2007).

Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito de diferentes manejos do solo durante o período de entressafra do arroz, sobre a fitotoxicidade residual do herbicida Only[®], em arroz não tolerante.

Material e métodos

O experimento foi instalado em campo, no ano agrícola de 2006/07 em área que havia recebido $1 \text{ L ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ da mistura formulada de imazethapyr + imazapic ($75 + 25 \text{ g L}^{-1}$), produto comercial Only[®], nas safras de 2004/05 e 2005/06. O solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico tinha as seguintes características: ($\text{pH}_{\text{água}}(1:1)=4,8$; $P=6,0 \text{ mg dm}^{-3}$; $K=120 \text{ mg dm}^{-3}$; argila=26%; M.O.=2,3%; $\text{Ca}=5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}=2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}=1,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e índice SMP 5,1). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de nove manejos de solo e de duas cultivares de arroz irrigado. Os manejos de solo foram quatro nos sistemas de plantio direito e semidireito: plantio direto (PD); plantio direto com azevém (PDA); um preparo de solo em abril (1PSA); um preparo de solo em abril com azevém (1PSAA). Cinco no sistema de plantio convencional: um preparo de solo em outubro (1PSO); dois preparos de solo, em maio e outubro (2PSMO); dois preparos de solo, em abril e outubro (2PS); três preparos de solo, em abril, maio e

outubro (3PS); e quatro preparos de solo, em abril, maio, agosto e outubro (4PS). As cultivares testadas foram IRGA 417 e IRGA 422 CL.

A cultivar IRGA 422 CL foi utilizada como testemunha resistente aos herbicidas, pois a área experimental não contava com unidades experimentais sem aplicação prévia do herbicida. A cultivar foi escolhida por ser tolerante a herbicidas do grupo das imidazolinonas e por possuir características agronômicas semelhantes a cultivar suscetível, IRGA 417 (MENEZES et al., 2001; LOPES et al., 2003a e b). Para ratificar a similaridade entre as cultivares, foram semeados quatro experimentos comparativos, em diferentes áreas sem resíduos de imidazolinonas.

A data de semeadura e emergência foram 04/10/07 e 16/10/07, respectivamente. Utilizou-se 110 kg de sementes ha^{-1} , com semeadora de 11 linhas espaçadas em 0,175 m e cinco metros de comprimento, gerando uma UE de 9,6 m^2 . A adubação de base foi aplicada junto à semeadura e constou de 350 kg ha^{-1} de 5-20-30 (N-P-K). A adubação nitrogenada em cobertura foi aplicada na forma de uréia e parcelada em duas épocas: 60 kg ha^{-1} de N, no estágio de perfilhamento (V4, segundo COUNCE et al. (2000) um dia antes da inundação; e 45 kg ha^{-1} de N na iniciação da panícula (R0). As demais práticas agronômicas foram seguidas conforme recomendações da pesquisa para a obtenção de altos rendimentos (SOSBAI, 2005). Em todas as UE, foram demarcadas em duas linhas de semeadura, um metro de comprimento para cada uma, onde se determinou estande inicial de plantas, número de colmos e número de panículas. Na mesma área avaliou-se a estatura de plantas até o ápice da panícula, em dez plantas escolhidas ao acaso. Ainda nesse local, coletou-se 10 panículas, nas quais foi determinado o número de grãos por panícula, esterilidade de espiguetas e massa de mil grãos. A produtividade de grãos foi obtida através da colheita manual, de sete linhas centrais, quando os grãos apresentavam umidade média de 20%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha^{-1} . Foram feitas avaliações de fitotoxicidade no arroz não tolerante (IRGA 417) aos 10, 17, 24, 36 e 59 dias após a emergência (DAE), sendo os valores estimados visualmente, utilizando uma escala de 0 a 100%, onde 0= sem fitotoxicidade e 100= morte das plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Para a análise estatística, os dados de fitotoxicidade,

foram transformados para $yt = \arcseno\sqrt{(y + 0,5)/100}$ e os demais dados em porcentagem foram transformados para $yt = \sqrt{y + 1}$.

Resultados e discussão

No experimento preliminar comparando as cultivares IRGA 417 e IRGA 422 CL (Apêndice A) não foi encontrado diferenças entre elas quanto à produtividade de grãos e parâmetros agrônômicos, estando de acordo com relatos de LOPES et al. (2003a) e LOPES et al. (2003b). Baseado nesses resultados, a cultivar IRGA 422 CL foi utilizada como testemunha resistente e a IRGA 417 como planta suscetível, isolando desta maneira o efeito residual do herbicida Only[®].

Ocorreu um aumento na fitototoxicidade dos herbicidas na cultivar IRGA 417, com o passar do tempo, atingindo os maiores valores aos 24 dias após a emergência (DAE) com valores médios entre os diferentes manejos de solo de 28%. A partir de 36 DAE, observam-se redução na fitotoxicidade para 9% até praticamente desaparecer aos 59 DAE, diminuindo também as diferenças entre os preparos de solo a partir de 36 DAE (Figura 3). Ainda na Figura 3 podem-se observar três grupos de preparos de solo com relação à fitotoxicidade. O tratamento 1PSO apresentou as maiores porcentagens de fitotoxicidade, enquanto que os valores intermediários pertenceram aos outros tratamentos com plantio convencional (4PS, 3PS, 2PS, 2PSMO) e com menor fitotoxicidade, os tratamentos com plantio direto ou semi-direto (PD, PDA, 1PSA, 1PSAA). Estes resultados não concordam com resultados de outros trabalhos realizados em solos com culturas de sequeiro, onde foi encontrado que o preparo de solo acelerava ou não afetava a degradação das imidazolinonas. Nesse sentido, CURRAN et al. (1992b) encontraram que a fitotoxicidade residual de imazaquin e imazethapyr em milho, foi maior no sistema de PD do que no plantio convencional. Resultados de MONKS & BRUKS (1993) mostram que não houve efeito de diferentes manejos de palha e de preparo de solo no residual de imazaquin e imazethapyr. RENNER et al. (1998) comparando o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo na dissipação do imazaquin encontraram que no preparo de solo com arado, o herbicida foi degradado mais que no preparo com escarificador e este mais que no PD, sendo detectado imazaquin até 18 cm de profundidade independentemente do sistema de preparo de solo

empregado. No entanto, SEIFERT et al. (2001) não encontraram diferenças na degradação do imazaquin entre o preparo com arado e escarificador. ULBRICH et al. (2005) observaram aumentos na persistência de imazapic e imazapyr em dois solos com PD comparado com plantio convencional.

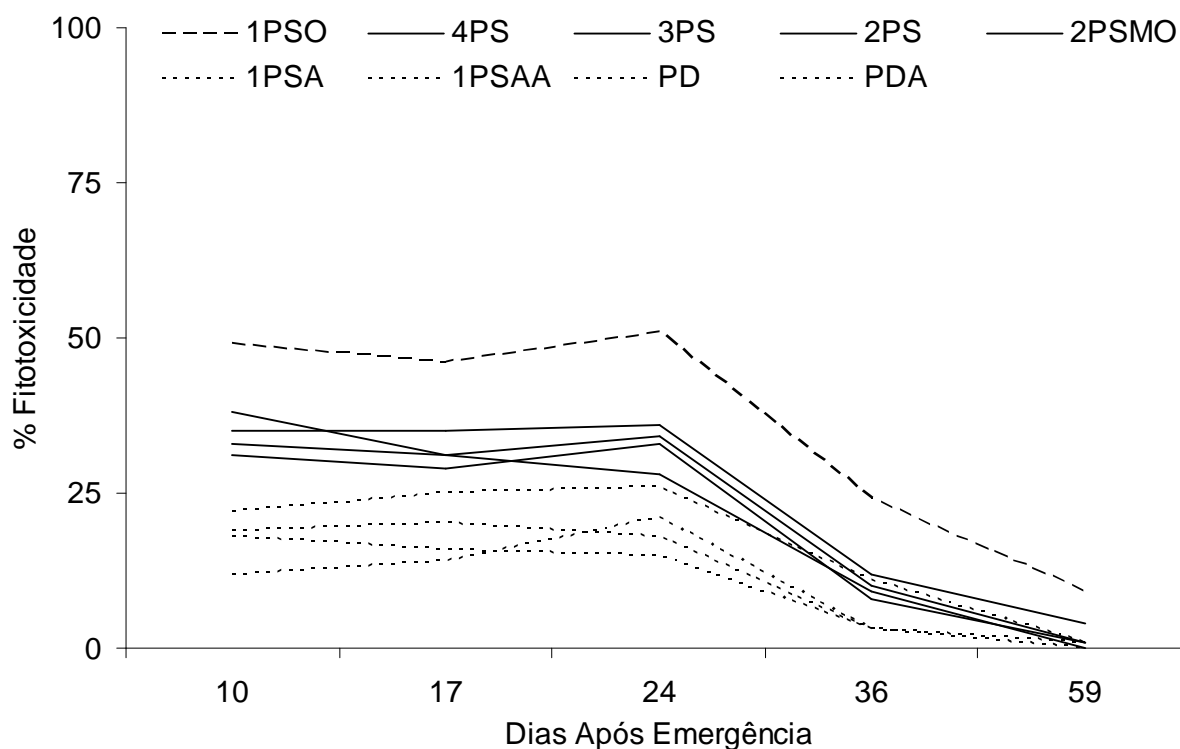


Figura 3 - Fitotoxidade da mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75+25 g ha⁻¹) na cultivar IRGA 417 semeada após um ano da última aplicação dos herbicidas, num sistema com dois anos de uso dos herbicidas, em cinco épocas de avaliação e nove preparos de solos: plantio direto (PD); plantio direto mais azevém (PDA); um preparo de solo (PS) em abril (1PSA); um PS em abril mais azevém (1PSAA); um PS em outubro (1PSO); dois PS em maio e outubro (2PSMO); dois PS em abril e outubro (2PS); três PS em abril, maio e outubro (3PS); quatro PS em abril, maio, agosto e outubro (4PS). Santa Maria, RS, 2006/07.

Ressalta-se que no presente trabalho, no sistema de plantio convencional, a profundidade de semeadura foi maior quando comparada com os sistemas de plantio direto e semi-direto (6 e 2 cm, respectivamente). A diferença na profundidade de semeadura foi consequência da impossibilidade de regular a pressão das molas da semeadora, para cada parcela com diferentes preparo de solo, ocasionando maior profundidade de semeadura onde o solo tinha sido preparado no mesmo dia da semeadura. A diferença na profundidade de semeadura possivelmente tenha sido a causa da maior fitotoxidade nos tratamentos com preparo convencional. Segundo ZHANG et al. (2000) quando uma plântula de arroz é originada de uma

semente localizada em maior profundidade, apresenta coleóptilo mais comprido, o que acarreta maior área de contato com o solo, aumentando a absorção do imazethapyr e os sintomas de fitotoxicidade. Nesse sentido, estes autores não encontraram efeito residual de imazethapyr em arroz pré-germinado semeado em água sobre a superfície do solo e sim sobre plantas originadas de sementes semeadas em solo seco. Além disso, McDOWEL et al. (1997) e JOURDAN et al. (1998) determinaram que imazethapyr lixivia-se se acumulando em camadas subsuperficiais de solo pelo que sementes colocadas em maior profundidade estariam mais expostas a maiores concentrações de herbicidas. Por outro lado, o tratamento 1PSO praticamente passou o mesmo período de tempo sem movimento de solo quando comparado com os tratamentos com plantio direto (PD, PDA) pelo que a planta de arroz não deveria apresentar diferenças de fitotoxicidade. Para detectar o efeito da profundidade da semente no solo sobre a fitotoxicidade nas plantas foi realizado um bioensaio utilizando-se solo coletado na área, constatando-se que houve menor fitotoxicidade de 0-3 cm no plantio convencional do que no PD (Apêndice B). Pode-se inferir que as diferenças de fitotoxicidade entre estes tratamentos, estejam relacionadas, pelo menos em parte, há um efeito de posicionamento da semente e estratificação do herbicida no perfil do solo e não ao efeito dos preparos de solo na degradação dos herbicidas.

Na Tabela 1 apresentam-se os dados obtidos do efeito dos preparos de solo e o residual do herbicida Only[®], sobre as variáveis analisadas, nas cultivares IRGA 417 e IRGA 422CL. A interação significativa, entre preparos de solo e cultivares para estande de plantas e colmos m⁻² foi causada por um menor número de plantas e de colmos no tratamento 1PSO na cultivar IRGA 417, o que não foi observado na cultivar IRGA 422 CL, mantendo-se como efeito principal a diferença entre as cultivares. Por isso serão discutidos os efeitos dos manejos do solo e das cultivares em separado.

Os diferentes preparos de solo não afetaram ao estande de plantas, número de colmos, estatura de plantas, número de panículas, massa de 1000 grãos e produtividade, concordando com resultados obtidos por (MARÍN et al., 1998; LEVY et al., 2006; TRIPATHI et al., 2007) embora MOHANTY et al. (2006) afirmam que os preparos de solo quando feitos em água geram melhores condições físicas de solo para um melhor desenvolvimento das plantas de arroz.

Avaliando o efeito residual do herbicida Only[®], na cultivar IRGA 417 em comparação com a cultivar IRGA 422 CL (tratamento testemunha), observou-se que a primeira apresentou uma diminuição no estande de plantas, do número de perfilhos m⁻², da estatura de plantas, do número de panículas m⁻², da esterilidade de espiguetas, e da massa de 1000 grãos, porém obteve maior número de grãos por panícula. O maior número de grãos por panícula e a menor esterilidade de espiguetas, provavelmente deveram-se a um efeito compensatório, ante um menor número de panículas m⁻². O residual do herbicida não afetou a produtividade, possivelmente como consequência do maior número de grãos por panículas. Segundo MARIN & KRAEMER (2003), com menor número de panículas, a planta de arroz podem apresentar um incremento no número de grãos por panículas, e menor esterilidade de espiguetas, como um efeito compensatório da planta para manter a produtividade. VILLA et al., (2006), observaram uma diminuição na densidade de plantas como resultado do efeito residual do herbicida Only[®], sem afetar a produtividade. No trabalho realizado por SANTOS et al., (2006) o efeito residual do herbicida afetou a produtividade em torno de 50%. A menor recuperação da lavoura observada por SANTOS et al. (2006), provavelmente esteja relacionada ao menor pH do solo, pelo menos em parte, em relação a este trabalho, 4,5 e 4,8, respectivamente. Essa pequena diferença no pH, gera condições para que as moléculas de imazethapyr e imazapic encontrem-se 20 e 11% associadas a pH 4,4 e 4,8, respectivamente, resultando no dobro de moléculas, no menor pH, capaz de ser sorvida aos colóides do solo, aumentando assim, a persistência do herbicida no solo. Segundo BRESNAHAM et al. (2000) a sorção do imazethapyr aumenta com pH mais baixos e depois de três meses a desorção é maior nestas condições, causando maior fitotoxicidade em culturas suscetíveis.

Tabela 1 - Estande de plantas por m² aos 10 e 17 dias após emergência (planta m⁻² 10 DAE) (planta m⁻² 17DAE), número de colmos por m² (colmos m⁻²), estatura de plantas em cm (estatura (cm)), número de panículas por m² (panículas m⁻²), esterilidade de espiguetas (% esterilidade), número de grãos por panículas (grãos/panícula), peso de 1000 grãos em g (peso 1000 grãos) e produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ (produtividade de grãos.), para nove preparos do solo (PS) e duas cultivares em resposta ao efeito residual de dois anos dos herbicidas imazethapyr e imazapic (75+25 g a.i. ha⁻¹) (Only®). Santa Maria, RS. 2006/07.

Fonte de Variação	Plantas m ⁻²		Colmos m ⁻²	Estatura cm	Panículas m ⁻²	% esterilidade	Grãos/panícula	Massa 1000 grãos	Produtividade de grãos
	10 DAE	17 DAE							
Preparos do Solo	254	304	519	87	383	6,8	89	26,9	9849
Significância ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
IRGA 422 CL	283 a ¹	350 a	599 a	88 a	404 a	8 a	85 b	28 a	9861
IRGA 417	226 b	260 b	440 b	86 b	361 b	6 b	93 a	26 b	9837
Significância ²	***	***	***	*	*	*	*	***	NS
PS*Cultivar	NS	***	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV%	17	18	21	4	18	4	18	5	11

¹ Médias não seguidas pela mesma letra diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05).

² NS não significativa, *** significativa P≤0,001, ** significativa P≤0,01, * significativa P≤0,05.

Conclusões

O efeito residual do herbicida Only® reduz o estande de plantas, perfilhamento, número de panículas e a estatura de plantas da cultivar não tolerante IRGA 417, sem afetar a produtividade de grãos.

O revolvimento do solo diminuiu a atividade do herbicida na camada superficial de solo (0-3 cm).

Os diferentes sistemas de manejo de solo avaliados não afetam o comportamento agrônômico: estande de plantas, número de colmos, estatura de plantas, número de panículas, esterilidade de espiguetas, número de grãos por panícula, massa de grãos e produtividade.

CAPÍTULO III

LIXIVIAÇÃO DO IMAZETHAPYR EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO DE VÁRZEA

LEACHING OF IMAZETHAPYR IN TWO TILLAGE SYSTEM IN PADDY RICE

Resumo

O imazethapyr está sendo amplamente utilizado no Rio Grande do Sul desde o desenvolvimento da Tecnologia Clearfield® (CL) em arroz, numa mistura formulada, imazethapyr + imazapic (75+25 g/l) com o nome comercial de Only®. No entanto, com o uso desta tecnologia surgiu o problema da persistência do herbicida no solo, afetando cultivos não tolerantes em sucessão com diferentes intensidades, estando relacionada, entre outros fatores, a localização do herbicida no perfil do solo. O presente trabalho teve por objetivo determinar o posicionamento do imazethapyr em profundidade, num solo de várzea cultivado com arroz para dois manejos de solo. Foram coletadas amostras de solos de dois sistemas de manejo; plantio convencional (PC) e plantio direto (PD), numa área onde havia sido utilizado arroz CL por dois anos e no terceiro ano, arroz não tolerante. As amostras de solo foram analisadas por HPLC-DAD. Observou-se menor concentração de imazethapyr no sistema PC do que no PD, sendo que o herbicida lixiviou até 20 cm nos dois sistemas. No PC ocorreu uma distribuição uniforme do imazethapyr nos primeiros 15 cm de solo, enquanto que no PD constatou acúmulo de imazethapyr nas camadas de 5-10 e 10-15 cm.

Palavras-chave: percolação de herbicidas, residual, preparo de solo, HPLC, *Oryza sativa*

Abstract

Imazethapyr has been widely used in Rio Grande do Sul state since the development of Clearfield Technology[®] (CL) on rice, using a formulated mixture of imazethapyr + imazapic (75+25 g/l) with the commercial name Only[®]. However, with the use of such technology raised the problem of herbicide carryover, which might affect non-tolerant crops in rotation with different intensities depending, among other factors, on the herbicide localization in the soil profile. The present work had the objective of determining the localization of imazethapyr in depth on a lowland soil cultivated with rice. Samples were collected from soil with two tillage systems, conventional system (PC) and non till (PD) in an area where CL rice had been cultivated for two years followed by non tolerant rice in the third year. Soil samples were analyzed by HPLC-DAD. Imazethapyr showed smaller concentration under PC system than under PD while the herbicide leached until 20 cm in both systems. In PC, imazethapyr uniformly distributed in the first 15 cm of soil, whereas in PD, imazethapyr leached occurred in the 0-5 cm layer and accumulated in 5-10 and 10-15 cm layers.

Key words: herbicide percolation, residual, soil preparation, HPLC, *Oryza sativa*

Introdução

O herbicida imazethapyr pertence à família das imidazolinonas e controla um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo gramíneas, ciperáceas e latifoliadas. É absorvido pelas raízes e folhas (TAN et al., 2005) e transportado pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. O controle é proporcionado pela inibição da enzima acetolactato sintetase (ALS), que é essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeias ramificadas em plantas, a valina, leucina e isoleucina (TAN et al., 2006). Este herbicida está sendo amplamente utilizado no Estado do Rio Grande do Sul desde o desenvolvimento da tecnologia Clearfield[®] em arroz, em uma mistura formulada, imazethapyr + imazapic (75+25 g/l) com o nome comercial de Only[®].

Imazethapyr apresenta a característica de ser persistente no solo, sendo muito solúvel em água, e susceptível à lixiviação (BATTAGLIN et al., 2000; MADANI et al., 2003). A localização do herbicida na zona de absorção das raízes pode comprometer a utilização futura da área com culturas, não tolerantes. Há relatos e experiências indicando danos de fitotoxicidade, causados pelo residual do imazethapyr, que são variáveis dependendo das condições físicas, químicas e de manejo do solo, entre outros fatores. MASSONI et al. (2007) encontraram efeito residual deste herbicida sobre o arroz suscetível, 358 dias após a aplicação e para WILLIAMS et al. (2002) devem transcorrer 540 dias (18 meses) entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura de arroz não tolerante.

A persistência do imazethapyr no solo depende das condições climáticas, das propriedades do solo e da dose do herbicida. O principal mecanismo de dissipação do imazethapyr no solo é a degradação microbiana aeróbica e com degradação anaeróbica praticamente inexistente (SHANER & O'CONNOR, 1991). Outra forma de dissipação do herbicida, que não envolve degradação, é a lixiviação para fora da região de absorção das raízes, sendo que para imazapyr, a quantidade do herbicida que lixivia no solo está diretamente relacionada ao pH e inversamente relacionada ao conteúdo de matéria orgânica (BORJESSON et al., 2004), porém, para imazethapyr, a lixiviação está mais relacionada com a permeabilidade do solo do que com os efeitos da sorção, sendo maior em solos arenosos e bem estruturados do que em solos argilosos e com pouca percolação (ONA et al., 2007). O movimento de imazethapyr em profundidade é maior quanto maior a quantidade de chuva, sendo mais importante para a lixiviação do que a intensidade (AYENI et al. 1998). Em condições de baixa precipitação, imazapyr concentrou-se na camada superficial, diminuindo drasticamente sua concentração abaixo de 10 cm. Já com altas precipitações, o herbicida atingiu maior profundidade, distribuindo-se mais uniformemente nos primeiros 15 cm de solo (McDOWELL et al., 1997). Determinações de JOURDAN et al. (1998) identificaram que imazethapyr movimentou-se, num solo arenoso, em profundidade conforme transcorreram os dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Nos primeiros cinco DAA o herbicida atingiu 20 cm, embora as maiores concentrações encontravam-se nos primeiros 10 cm. A maior concentração do produto aos 30 DAA encontrava-se nos primeiros 15 cm, detectando-se produto até 30 cm de profundidade. A partir dos 90 DAA a concentração nos primeiros cinco centímetros diminuiu, concentrando-se o herbicida

entre cinco e 30 cm de profundidade. De acordo com HOLLAWAY et al. (2006), o imazethapyr pode permanecer no solo por mais de três anos e alcançar 40 cm de profundidade.

VAN WYK & REINHARDT (2001) concluíram que imazethapyr lixivia rapidamente alcançando 30 cm de profundidade após uma chuva. Logo, durante o processo natural de perda de umidade do solo, o herbicida movimenta-se para acima conduzido pelas correntes de evaporação. Estes movimentos são mais pronunciados a pH mais elevados e a mobilidade deste herbicida no perfil do solo, decresce com o transcorrer do tempo de aplicação do produto (JOHNSON et al., 2000).

O conhecimento da profundidade de acúmulo do herbicida possibilita manejar a profundidade de semeadura de cultivos não tolerantes, como alternativa para diminuir o efeito residual do herbicida. O posicionamento das raízes ou outros órgãos de absorção (coleóptilo) fora da região de maior concentração de um herbicida é um dos mecanismos de seletividade (HOLLY, 1976). O arroz semeado mais profundo desenvolve coleóptilos mais compridos e um sistema radicular mais profundo, estando exposto à absorção de maior quantidade de herbicida com alta mobilidade no solo como o imazethapyr (ZHANG et al., 2000). Em sorgo, a fitotoxicidade por metholachlor aumenta na medida em que aumenta a profundidade de semeadura (KETCHERSID et al., 1998).

Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito de dois sistemas de manejo de solo, na degradação e no posicionamento do imazethapyr em profundidade, em área de várzea cultivado com arroz.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em solo de várzea, classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características: (pH água(1:1)= 4,8; P= 6,0 mg dm⁻³; K= 120 mg dm⁻³; argila= 26%; M.O.= 2,3%; Ca= 5,0 cmolc dm⁻³; Mg= 2,0 cmolc dm⁻³ e Al= 1,7 cmolc dm⁻³ e índice SMP 5,1). Nas safras agrícolas 2004/05 e 2005/06 a área foi cultivada com arroz Clearfield (CL) e na safra agrícola 2006/07 com arroz não tolerante (NT). Nas safras com arroz CL foi aplicado imazethapyr+imazapic (Only®) na dose de 75+25 g ha⁻¹, respectivamente. Na entressafra de arroz CL e arroz NT foram adotados dois sistemas de manejo de solo,

plantio direito (PD), sem movimentação de solo, e plantio convencional (PC), com preparos de solo em abril, maio, agosto e outubro. Durante o mesmo período foi medida a profundidade do lençol freático uma vez por semana. Para o que foram construídos dois poços de observação por bloco com cano de PVC perfurados, de 90 cm de profundidade e cinco cm de diâmetro.

Após a colheita do arroz NT, foram coletadas, em cada parcela, amostras de solo a quatro profundidades, de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. As amostras estiveram conformadas por três subamostras recolhidas em diferentes locais de cada parcela. Logo após coletadas, as amostras foram secas no ar e na sombra, posteriormente moídas e conservadas em freezer até serem feitas as análises de laboratório. A extração de imazethapyr foi feita com acetonitrila em banho de ultrassom e as quantificações utilizando cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por arranjo de diodos (HPLC-DAD), com separação em coluna C18 (GONÇALVES, 2003).

Utilizou-se oito tratamentos oriundos da combinação de dois manejos de solo (PD e PC) com as quatro profundidades de amostragem (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm). O delineamento experimental foi de bloco ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$). Para a análise estatística, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y + 0,5}$.

Resultados e discussão

Observou-se interação significativa entre os sistemas de manejo de solo e as profundidades de coleta, por isso será analisado o comportamento do imazethapyr para cada manejo de solo dentro das diferentes profundidades (Figura 4).

Analisando-se a concentração total do herbicida nos 20 cm, constata-se maior concentração no PD ($24,6 \mu\text{g kg}^{-1}$) em relação ao PC ($16,1 \mu\text{g kg}^{-1}$), indicando menor degradação do herbicida no sistema de PD. CURRAN et al. (1992b) encontraram que a fitotoxicidade residual de imazaquin e imazethapyr em milho, foi maior no sistema de PD do que no plantio convencional. RENNERT et al. (1998) comparando o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo na dissipação do imazaquin encontraram que no preparo de solo com arado, o herbicida foi degradado mais que

no preparo com escarificador e este mais que no PD. ULBRICH et al. (2005) observaram aumentos na persistência de imazapic e imazapyr em dois solos com PD quando comparado com plantio convencional. Comparando preparos de solo com diferentes equipamentos, SEIFERT et al. (2001) não encontraram diferenças na degradação do imazaquin entre o preparo com arado e escarificador e resultados de MONKS & BRUKS (1993) mostram que não houve efeito de diferentes manejos de palha e de preparo de solo no residual de imazaquin e imazethapyr.

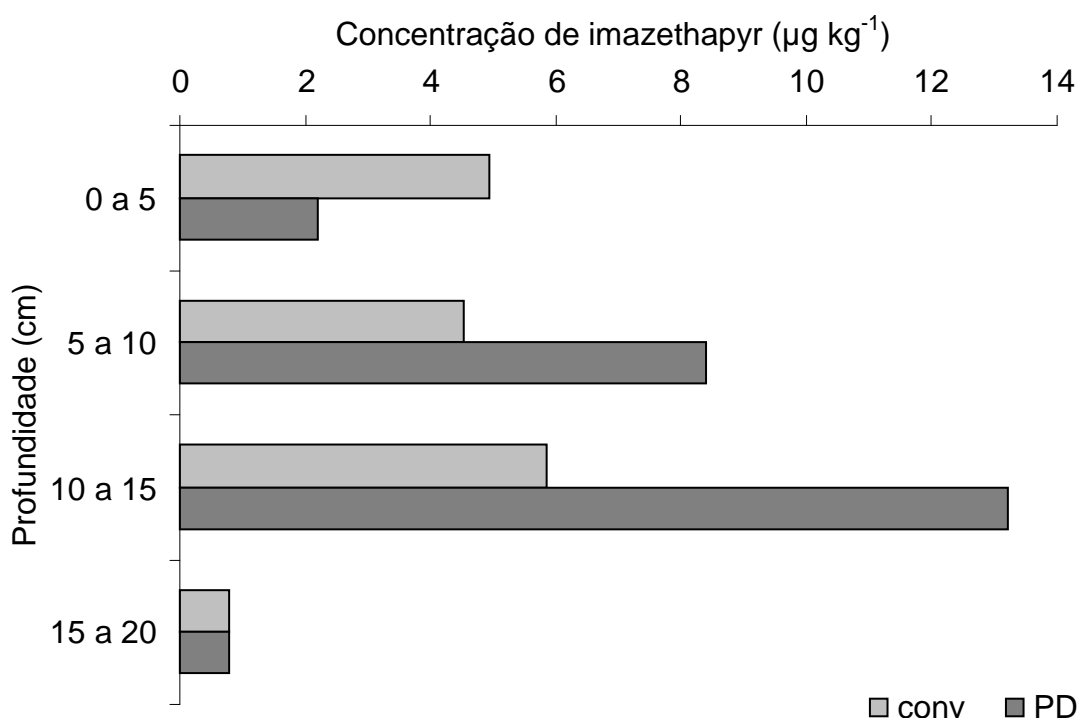


Figura 4 – Concentração de imazethapyr expressa em μg de ingrediente ativo por kg de solo ($\mu\text{g kg}^{-1}$), para dois manejos de solo, plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) e quatro profundidades 0-5, 5-10; 10-15 e 15-20 cm após a coleta do arroz no terceiro ano num sistema de rotação dois anos arroz Clearfield e um ano arroz convencional.

Embora detectado em pequenas concentrações ($0,8 \mu\text{g kg}^{-1}$), imazethapyr lixiviou até 20 cm de profundidade independentemente do sistema de manejo utilizado (Figura 4). Resultados similares foram encontrados por RENNERT et al. (1998) com imazaquin que foi detectado até 18 cm de profundidade independentemente do sistema de preparo de solo empregado (arado escarificado e PD). Resultados de outros trabalhos indicam que o imazethapyr alcançou 30 cm de profundidade em solos com baixos conteúdos de argila, três meses após a aplicação

do herbicida (JOURDAN et al., 1998; McDOWELL et al., 1997; VAN WYK & REINHARDT, 2001).

No PC o herbicida distribuiu-se uniformemente nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de solo, diminuindo sua concentração de 15 a 20 cm. No PD, no entanto, observou-se concentração crescente com o aumento da profundidade até 15 cm, sendo as mesmas de 2,2; 8,4 e 13,2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para as camadas de 0-5; 5-10; 10-15 cm de profundidade respectivamente, diminuindo drasticamente de 15-20 cm. A menor concentração do herbicida e a distribuição uniforme nas três camadas superficiais de solo (primeiros 15 cm) no PC, possivelmente estejam relacionadas com uma maior evaporação da água do solo, neste sistema quando comparado como PD. A temperatura média do solo foi maior no PC do que no PD (Apêndice D), gerando maior evaporação e dando origem a uma corrente ascendente de água maior no PC do que no PD, que arrastaria para a camada superficial ao herbicida, colocando-o numa região com maior aeração, temperatura e atividade microbiana. Esta hipótese encontra respaldo em resultados de VAN WYK & REINHARDT (2001) que relatam que imazethapyr lixivia rapidamente para as camadas subsuperficiais, mas que com as correntes geradas pela evaporação, é transportado novamente para a superfície.

Quando as condições ambientais favoreceram o desenvolvimento dos microorganismos, a degradação das imidazolinonas é acelerada e a atividade microbiana incrementa em média, 57%, após um preparo do solo como consequência da incorporação da matéria orgânica e a maior aeração (FRANCHINI et al., 2007). A temperatura do solo afeta a degradação das imidazolinonas, sendo que em solos cultivados sob temperaturas de 18 e 35°C, a degradação do imazethapyr foi de 66 e 100 %, respectivamente (BASHAM & LAVY, 1987). Nesse sentido, FLINT & WITT (1997) determinaram que a emissão de CO_2 por microorganismos aumentou com a presença de imazethapyr ou imazaquin, duplicando a atividade quando a temperatura passou de 15 para 30°C. Com o aumento da temperatura, observou-se redução na concentração de imazethapyr, que foi mais acentuada em solo úmido (JOURDAN et al., 1998). Autores como BASHAM & LAVY (1987) e BAUGHMAN & SHAW (1996) demonstraram que imazethapyr e imazaquin foram mais persistentes em solos com temperaturas mais baixas e reduzido conteúdo de umidade do que em solos com temperatura mais elevada e com maior umidade. Estas condições mais favoráveis à atividade

microbiológica estiveram mais bem contempladas no sistema PC, colaborando com a maior degradação do herbicida. Além disto, no PD, o imazethapyr acumulou-se de 5 a 15 cm e, durante o período de entressafra, o lençol freático esteve por nove semanas menor do que 20 cm de profundidade (Figura 5), deixando esta região em condições de anaerobiose por prolongados períodos de tempo. Como a principal via de degradação do imazethapyr é a degradação microbiana (FLINT & WITT, 1997; LOUX et al., 1989) e ela é promovida por microorganismos aeróbicos, sendo praticamente inexistente em anaerobiose (SHANER & O'CONNOR, 1991), isto estaria por sua vez, contribuindo para a menor degradação do herbicida no PD.

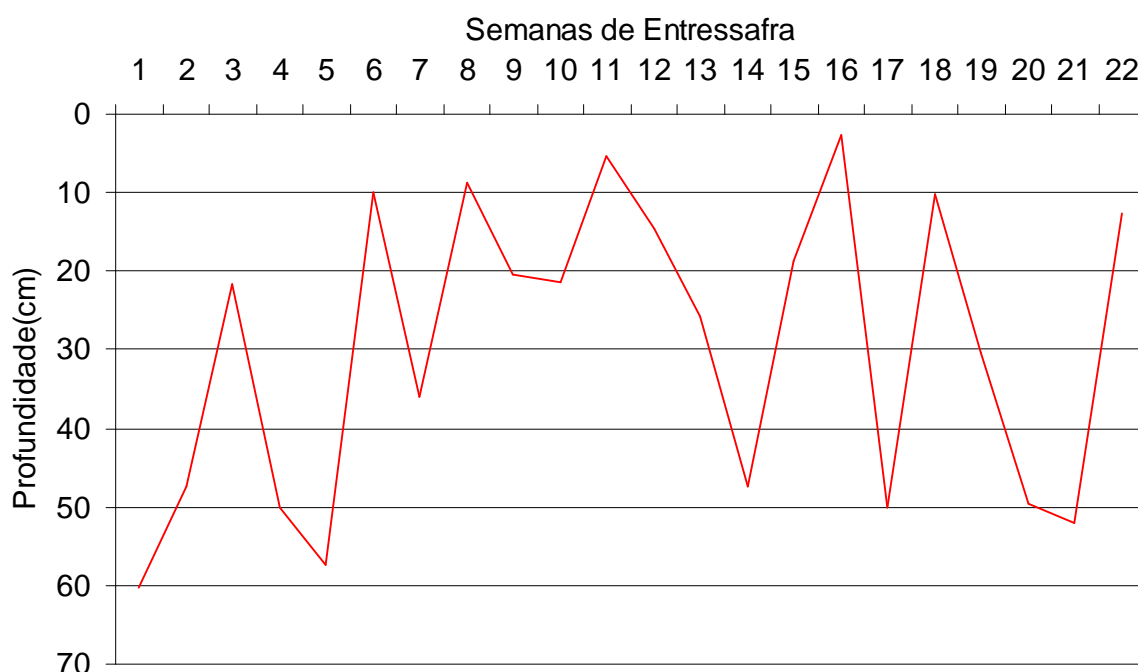


Figura 5 - Profundidade do lençol freático durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006) em solo de várzea, registradas na área do experimento.

Conclusão

Ocorre maior degradação de imazethapyr no sistema convencional de cultivo do que no sistema de plantio direto.

Imazethapyr lixivia até 20 cm em solo de várzea, independente do sistema de cultivo.

O preparo de solo afeta a distribuição do imazethapyr no perfil do solo, sendo que no sistema PC o herbicida distribui-se uniforme nos primeiros 15 cm de

solo e no sistema de PD apresenta menor concentração de 0-5 cm e acumula-se de 5-15 cm de profundidade.

SUGESTÕES DE MANEJO

Para reduzir o efeito residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (Only[®]):

1- Procurar distanciar o máximo possível a última aplicação de Only[®] e a semeadura da cultivar suscetível. Para isso, semear primeiro os quadros destinados ao último ano de arroz Clearfield[®], e na safra seguinte semear esses quadros entre os últimos da propriedade.

2- Preparar o solo imediatamente após a colheita do último ano de arroz Clearfield[®], incorporando a palha de arroz e, se possível, repetir uma ou duas vezes durante a entressafra, procurando não mexer o solo durante os 30-40 dias prévios a semeadura. Para isso, é preciso colher o arroz com o solo seco para evitar rastros e conseguir prepará-lo o antes possível. Isto é mais provável de se lograr em colheitas de fevereiro, pelo que é importante que seja executada a primeira recomendação.

3- Manter a área bem drenada durante a entressafra. Isto é fundamental para conseguir fazer as outras práticas, e é requisito indispensável para degradar o produto no solo.

4- Semear o arroz suscetível, o mais superficial possível, sobre solo firme. Para isso, é preciso deixar o solo pronto para ser semeado, sem mexer, no mínimo 30-40 dias antes da data de semeadura, e permitindo também com esta prática a lixiviação dos herbicidas para as camadas mais profundas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AICHELE, T.M.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technol.**, v.19, p.154-159, 2005.

ALISTER, C.; KOGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protect.**, v.24, n.4, p.375-379, 2005.

ANGHINONI, I. et al. Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Cachoeirinha: IRGA, 2004. 52 p. (Boletim Técnico. 1).

ARS. Pesticide properties database Acessado em 2001. Online. Disponível na Internet: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=14199>

AVILA, L.A. Imazethapyr: Red rice control and resistance, and environmental fate : Imazethapyr adsorption and availability in three soils as affected by soil moisture contend. 2005. Thesis (Doctor of Philosophy) – Texas A&M University, Texas, 2005.

AVILA, L.A. et al. Imazethapyr aqueous photolysis, reaction quantum yield, and hydroxyl radical rate constant. **J. Agric. Food Chem.**, v.54, p.2635-2639, 2006.

AYENI, A.O. et al. Rainfall influence on imazethapyr bioactivity in New Jersey soils. **Weed Sci.**, v.46, n.5, p.581-586, 1998.

AZAMBUJA, I.H.V., VERNETTI Jr. F. J. de, MAGALHÃES Jr. A. M. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A. da S.; JÚNIOR, A. M. de M. eds. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899p.

AZZOUZI, M. et al. Photodegradation of imazapyr in the presence of humic substances. **Fres. Environm. Bull.**, v.8, p.478-485, 1999.

AZZOUZI, M. et al. Abiotic degradation of imazethapyr in aqueous solution. **J. Environm. Sci. Health., Part B- Pest, Food Contamin. Agricult. Wastes**, v.37, p.445-451, 2002.

BALMER, M.E. et al., Photolytic transformation of organic pollutants on soil surfaces- an experimental approach. **Environm. Sci. Technol.**, v.34, p.1240-1245, 2000.

BARKANI, H. et al. Study of the phototransformation of imazaquin in aqueous solution: A kinetic approach. **J. Photochem. Photobiol., A: Chem**, v.170, p.27-35, 2005.

BASHAM, G.W.; LAVY, T.L. Microbial and photolytic dissipation of imazaquin in soil. **Weed Sci.**, v.35, p.865-870, 1987.

BATTAGLIN, W.A. et al. Occurrence of sulfonylurea, sulphonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. **Sci. Total Environm.**, v.248, p.123-133, 2000.

BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailability imazaquin. **Weed Sci.**, v.44, n.2, p.380-382, 1996.

BHALLA, P. et al.. Imazaquin herbicides. In: D.L. Shaner and S.L. O'Connor, eds. **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton, FL: CRC. p.239-246, 1991.

BIGGAR, J.W.; CHEUNG, M.W. Adsorption of picloram (4-amino-3,5,6-trichloropicolinic acid) on Panoche, Ephrata, and Palouse soils. Thermodynamic approach to the adsorption mechanism. **Proc. Soil Sci. Soc. Amer.**, v.37, p.863-868, 1973.

BRESNAHAM, G.A. et al. Influence of soil pH-Sortie interactions on imazethapyr to soil. **Weed Sci.**, v.48, p.1929-1934, 2000.

BÖRJESSON, E. et al. The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment. **Pest Managem. Sci.**, v.60, n.6, p.544-549, 2004.

BOVEY, R.W.; SENSEMAN, S.A. Response of food and forage crops to soil-applied imazapyr. **Weed Sci.**, v.46, n.5, p.614-617, 1998.

CANTWELL, J.R. et al. Biodegradation characteristics of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v.37, p.815-819, 1989.

COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Sci.**, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

CROUGHAN, T.P. 1998. **Herbicide resistant rice**. [5,773,704]. 6-30-1998. U.S. Patent.

CURRAN, W.S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous solution and soil. **Weed Sci.**, v.40, p.143-148, 1992a.

CURRAN, W.S. et al. Effect of tillage and application method on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. **Weed Sci.**, v.40, p.482-489, 1992b.

EHLERS, G.A.C.; LOIBNER, A.P. Linking organic pollutant (bio)availability with geosorbent properties and biomimetic methodology: A review of geosorbent characterisation and (bio)availability prediction. **Environm. Pollut.**, v.141, p.494-512, 2006.

FERNANDES DE OLIVEIRA, M. et al. Sorção do herbicida imazaquin em Latossolo sob plantio direto e convencional. **Pesq. Agropecu. Brasil.**, Brasília, v.39, n.8, p.787-793, 2004.

FLINT, J.L.; WITT, W.W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v.45, p.586-591, 1997.

FRANCHINI, J.C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Res.**, v.92, p.18-29, 2007.

FRANK, M.P. et al. Effect of soil moisture and sample depth on pesticide photolysis. **J. Agric. Food Chem.**, v.50, p.2607-2614, 2002.

FUSI, P. et al. Interactions of two acetanilide herbicides with clay surfaces modified with Fe(III) oxyhydroxides and hexadecyltrimethyl ammonium. **Chemosphere**, v.27, p.765-771, 1993.

GOETZ, A. et al. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Sci.**, v.38, p.421-428, 1990.

GONÇALVES, F.F. Estudo de métodos empregando HPLC-DAD: Estudo de métodos empregando hplc-dad e lc-ms/ms para a determinação de resíduos de herbicidas em água e solo do cultivo de arroz irrigado. 2003. 170 p. Tese (Doutorado em Química) - UFSM, Santa Maria, RS.

GRYMES, C. et al. Response of soybean (*Glycine max*) and rice (*Oryza sativa*) in rotational to AC 263,222. **Weed Technol.**, v.9, p.504-511, 1995.

HART, R. et al. Imazethapyr herbicide. In: D. Shaner and S. Connor, Editors, **The Imidazolinones Herbicides**, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1991. p.247-256.

HOLLAWAY, K.L. et al. Persistence and leaching of imazethapyr and flumetsulam herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. **Austral. J. Exp. Agric.**, v.46, n.5, p.669-674, 2006.

HOLLY, K. Selectivity in relation to formulation and application methods. In: L.J. Audus, ed. **Herbicides: Physiology, Biochemistry. Ecology**. 2nd ed. London: Academy Press. 1976, v. 2, p. 249-277.

ISHIKI, R.R. et al. Photocatalytic degradation of imazethapyr herbicide at TiO₂/H₂O interface. **Chemosphere**, v.58, p.1461-1469, 2005.

JENKINS, S.R. et al. Temperature effects on retention of atrazine and imazapyr soils. **Water Air Soil Pollut.**, v.118, p.169-178, 2000.

JOHNSON, D.H. et al. Time-dependent adsorption of imazethapyr to soil. **Weed Sci.**, v.48, n.6, p.769-775, 2000.

JOURDAN, S.W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. **Weed Sci.**, v.46, p.608-613, 1998.

KETCHERSID, M.L. et al. Rice response to clomazone. **Weed Sci.**, v. 46, p.374-380, 1998.

KOSKINEN, W.C.; HARPER, S.S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, H.H.; BAILEY, B.W.; GREN, R.E.; SPENCER, W.F. (Ed.). **Pesticides in the soil environment**: Processes, impacts, and modeling: Madison: SSSA, 1990. p 51-77.

LEON, V.W.J.; CARL, R.F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependant activity. **Weed Technol.**, v.15, p.1-6, 2001.

LEVY Jr., R.J. et al. Effect of cultural practices on weed control and crop response in imidazolinone-tolerant rice. **Weed Technol.**, v.20, p. 249-254, 2006.

LITTLE, D.L. et al. Modeling root absorption and translocation of 5-substituted analogs of the imidazolinone herbicide, imazapyr. **Pestic. Sci.**, v.41, p.171-185, 1994.

LOPES, M.C.B. et al. Avaliação regionalizada de linhagens de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) no Rio Grande do Sul, Brasil, safra 2001/2002. In: **International Temperate Rice Conference**, 3, 2003, Punta del Este. Abstracts... Punta del Este: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2003a. p.35.

LOPES, M.C.B. et al. Avaliação regional de genótipos de arroz Clearfield do Instituto Rio Grandense do Arroz, safra 2002/03. In: **Congresso brasileiro de Arroz Irrigado**, 3, 2003; Reunião da cultura do arroz irrigado, 25, 2003, Camboriú. Anais... Itajaí: Epagri, 2003b. p.31-33.

LOUX, M.M. et al. Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments and selected adsorbents. **Weed Sci.**, v.37, p.712-718, 1989.

LOUX, M.M.; REESE, K. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinones herbicides. **Weed Technol.**, v.7, p.452-458, 1993.

LU, B.R. Sustainable and safe utilization of rice biodiversity in the biotechnology era. In: **Fourth International Temperate Rice Conference**, 2004, Novara Italy. p.4-5, 2007.

MADANI, M.E. et al. pH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. **Fres. Environm. Bull.**, v.12, p.1114-1119, 2003.

MANGELS, G. **Behavior of the imidazolinone herbicides in soil**- A review of the literature. In: D. Shaner and S. Connor, Editors, *The imidazolinone Herbicides*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1991, p.191-209.

MALLIPUDI, N.M. et al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **J. Agric. Food Chem.**, v.39, p.412-417, 1991.

MARCHESAN, E. et al. Efeito residual da mistura formulada de imazethapyr com imazapic em genótipo de arroz não tolerante, semeado 371 e 705 dias após a aplicação. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2007, Pelotas, RS. Anais... Pelotas, SOSBAI, 2007a, v.2, p. 287-289.

MARCHESAN, E. et al. Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em área com cultivo sucessivo de arroz irrigado. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2007, Pelotas, RS. Anais... Pelotas, SOSBAI, 2007b, v.2, p. 293-295.

MARIN, A.R. et al. Evaluación de sistemas de labranzas y siembra en arroz. In: **Proyecto Regional Arroz**. Campaña 1997-1998. Estación Experimental Agropecuaria INTA Corrientes, 1998. p. 53-62.

MARIN, A.R.; KRAEMER, A.F. Efecto de la densidad de plantas sobre el rendimiento de arroz. In: **International Temperate Rice Conference**, 3, 2003, Punta del Este. Abstracts... Punta del Este: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2003.

MASSONI, P.F.S. et al. Controle de arroz vermelho em arroz tolerante a Imidazolinonas e o residual em genótipo de arroz não tolerante. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2007, Pelotas, RS. Anais. Pelotas, SOSBAI, 2007, v.2, p. 230-233.

McDOWELL, R.W. et al. Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil. **Weed Res.**, v.37, p.381-389, 1997.

MENDEZ DEL VILLAR, P. InfoArroz - Informativo mensual del Mercado mundial del arroz. Octubre 2007, n. 4. In: <http://www.arroz.agr.br>.

MENEZES, V.G. et al. Eficiência agrônômica de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas no controle de arroz vermelho e capim arroz e seletividade às plantas de arroz da linhagem IRGA 417-CL. In: **Congresso Brasileiro de arroz irrigado**, 2, 2001; Reunião da cultura do arroz irrigado, 24, 2001, Porto Alegre. Anais... porto Alegre: Instituto Rio Grandense do Arroz, 2001. p. 522-524.

MOHANTY, M. et al. Estimating impact of puddling, tillage and residue management on wheat (*Triticum aestivum*, L.) seedling emergence and growth in a rice-wheat system using nonlinear regression models. **Soil Tillage Res.**, v.87, p.119-130, 2006.

MONKS D.C. & BANKS P. A. Effect of straw, ash, and tillage on dissipation of imazaquim and imazetapyr. **Weed Sci.**, v41, p.133-137, 1993.

MOURA NETO, F.P. et al. Conversão de cultivares de arroz irrigado para tolerância a herbicida da classe das imidazolinonas. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2007, Pelotas, RS. Anais... Pelotas, SOSBAI, 2007, v. 1, p. 46-49

ONA, S. et al. Sorption and predicted mobility of herbicides in Baltic soils. **Environm. Sci. Health**, Part B, v.42, n.6, p.641-647, 2007.

PEREZ, K.S.S. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesq. Agropecu. Brasil**, v.40, n.2, p.137-144, 2005.

PIGNATELLO, J.J.; XING B. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles. **Environm. Sci. Technol.**, v.30, p.1-11, 1996.

PINTO, J.J.O. et al. Comportamento da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor*), cv BR 304, semeado em rotação com o arroz clearfield. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2007, Pelotas, RS. Anais... Pelotas, SOSBAI, 2007a, v.2, 300-302.

PINTO, J.J.O. et al. Avaliação da atividade residual em solo da mistura formulada com os herbicidas imazapic + imazethapyr, para a cultura do arroz irrigado, cultivar IRGA 417. In: **V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2007, Pelotas, RS. Anais... Pelotas, SOSBAI, 2007b, v.2, 307-309.

QUIVET, E. et al. Kinetic studies of imazapyr photolysis and characterization of the main photoproducts. **Toxicol. Environm. Chem.**, v.86, p.195-204, 2004.

QUIVET, E. et al. Hydrolytic and photolytic behaviour of imidazolinone pesticides. Case of imazamox and imazapyr. **Act. Chim.**, v.294, p.31-34, 2006a.

QUIVET, E. et al. Influence of metal salts on the photodegradation of imazapyr, an imidazolinone pesticide. **Pest Managem. Sci.**, v.62, p.407-413, 2006b.

REGITANO, J.B. et al. Atributos de solos tropicais e sorção de imazaquin. **Sci. Agric.**, v.58, p.801-807, 2001.

RENNER, K.A. et al. Effect of tillage and application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technol.**, v.12, n.2, 281-285, 1998.

RIDDEL, P.J. & GUJJA, B. A Partnership response to the water resource implications of expected increases in irrigated rice production. **4th International Temperate Rice Conference**, 2007, Novara. Abstracts... Novara, Itália, 2007, p.6-7.

SANTOS, F.M. et al. Alternativas de controle químico do arroz-vermelho e persistência dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone na água e no solo. 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

SEIFERT, S. et al. Imazaquim mobility and persistence in a Sarkey Clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Sci.**, v.49, p.571-577, 2001.

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

SHANER, D.L.; O'CONNOR, S. **The Imidazolinones Herbicides**, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1991.

SHANER, D.L.; SINGH, B.K.. Phytotoxicity of acetohydroxyacid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. **Pl. Physiol.**, v.103, p.1221-1226, 1993.

SNYDER, C.S.; SLATON, D.N. Effects of soil flooding and drying on phosphorous reactions. **News & Views**, April, p.1-3, 2002.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria, RS: SOSBAI, 2005. 159 p.

SOON, Y.K.; ARSHAD, M.A. Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. **Soil Tillage Res.**, v.80, p.23-33, 2005.

STOUGAARD, R.N. et al. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v.38, p.67-73, 1990.

TAN, S. et al. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest Managem. Sci.**, v.61, n.3, p.246-257, 2005.

TAN, S. et al. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v.30, p.195-204, 2006.

TRIPATHI, R.P. et al. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. **Soil Tillage Res.**, v.92, p.221-226, 2007.

ULBRICH, A.V.; SOUZA, R.P.; SHANER, D. Persistence and carryover effect of Imazapic and Imazapyr in Brazilian cropping systems. **Weed Technol.**, v.19, p.986-991, 2005.

U.S. Environmental Protection Agency. National water Quality Inventory: 1990. **Report to Congress. USEPA**, Washington DC. 1992.

U.S. Environmental Protection Agency. Pesticide in Ground Water Database: **National Summary**. Rep. 734-r-92: USEPA, Washington DC. 1993.

VAN VAN WYK, L.J.; REINHARDT, C.F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Sci.**, v.15, n.3, p.1-6, 2001.

VILLA, S.C.C. et al. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, fluxo gênico e efeito residual do herbicida em culturas sucessoras não-tolerantes. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.24, n.4, p.761-768, 2006.

WANG, Q.; WEIPING, L. Correlation of imazapyr adsorption and desorption with soil properties. **Soil Sci.**, v.164, p.411-416, 1999.

WANG, X. et al. Biodegradation of imazapyr in typical soils in Zhejiang Province, China. **J. Environm. Sci.**, v.17, n.4, p.593-597, 2005.

WANG, X. et al. Degradation and metabolism of imazapyr in soils under aerobic and anaerobic conditions. **Int. J. Environm. Anal Chem.**, v.86, n.8, p.541-551, 2006.

WEI, Z.; WEIPING, L. Adsorption-desorption and photolysis of the herbicide imazethapyr in soil-water environment. **Sci. Sin.**, v.18, p.476-480, 1998.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield rice. **Louisiana Agric. Chemis.**, v.45, n.3, p.16-17, 2002.

ZHANG, W. et al. Effect of rotational crop herbicides on water- and dry-seeded *Oryza sativa*. **Weed Sci.**, v.48, p.755-760, 2000.

APÊNDICE

Apêndice A TABELA - 2 Estande de plantas (Planta m⁻²), número de colmos (colmos m⁻²), estatura de plantas (estatura cm), número de panículas (panículas m⁻²), esterilidade de espiguetas (% esterilidades), número de grãos por panícula (grãos/panícula), peso de 1000 grãos (peso 1000 grãos) e produtividade de grãos (produtividade de grãos kg ha⁻¹.) das cultivares IRGA 422CL e IRGA 417 dos quatros experimentos comparativos analisados em forma conjunta.

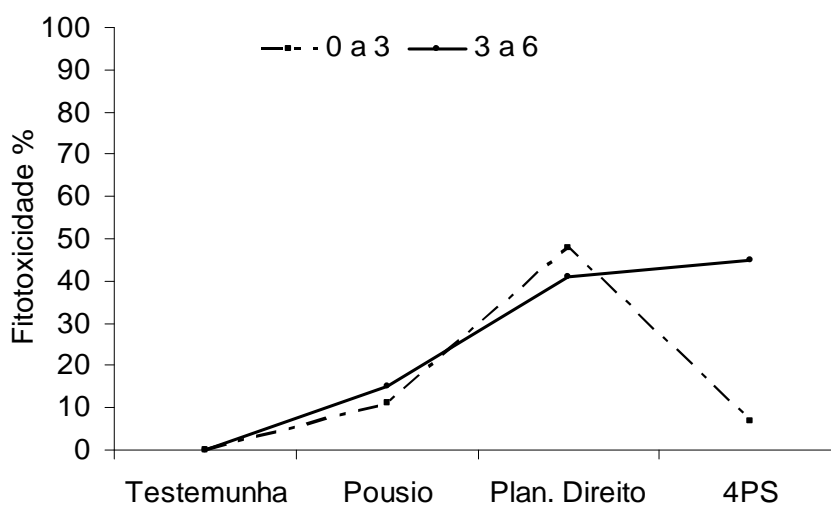
Cultivares	Plantas m ⁻²	Colmos m ⁻²	Estatura (cm).	Panículas m ⁻²	% esterilidade	Grãos/panícula	Peso (g) 1.000 grãos	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) ¹⁾
IRGA 422CL	291	604	89	457	24	85	26,3	9069
IRGA 417	265	600	89	443	23	83	25,5	8944
Média	278	602	89	450	8,8	84	25,9	9007
CV%	17	12	3	14	17,3	16,9	5,5	9
Significância	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Locais*Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo, com probabilidade de erro P≤0,5.

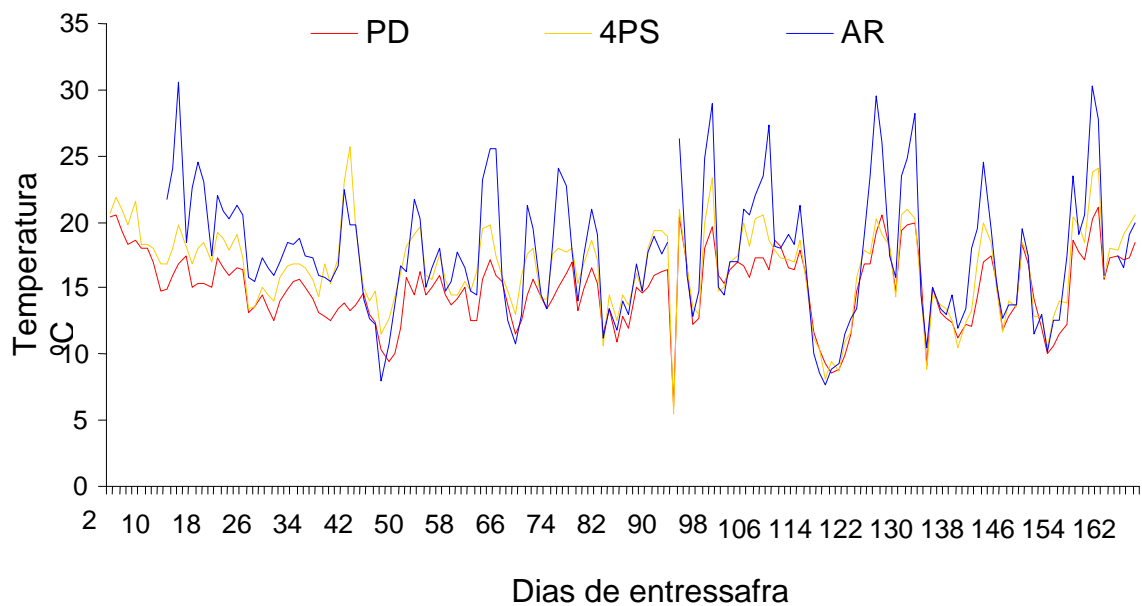
Apêndice B TABELA - 3 Dados do bioensaio. Fitotoxicidade residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic e estatura de plantas (cm) do tomateiro 15 dias após emergência, semeados sobre amostras de solo coletadas das parcelas plantio direto (PD), quatro preparos de solo, pousio e testemunha, a duas profundidades, 0-3 cm e 3-6 cm.

Manejo de solos	Fitotoxicidade	Estatura
PD	47 a ¹	2,7 b
4PS	26 b	4,0 a
Pousio	13 b	3,4 ab
Testemunha	0 c	4,4 a
Significância ²	**	***
Profundidade solo		
0-3 cm	15 b	3,9 a
3-6 cm	28 a	3,3 b
Significância	**	*
Manejo*Profundidade	*	NS
CV%	38	24

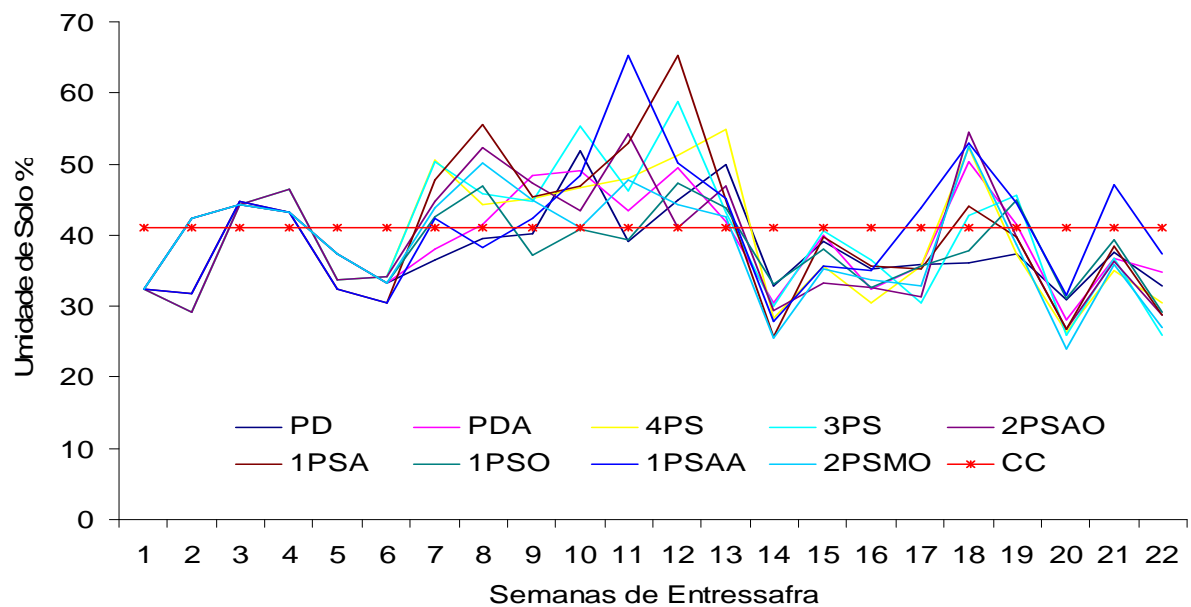
1 - Médias não seguidas da mesma letra diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$); 2 - NS não significativa, *** significativa $P \leq 0,001$, ** significativa $P \leq 0,01$, * significativa $P \leq 0,05$



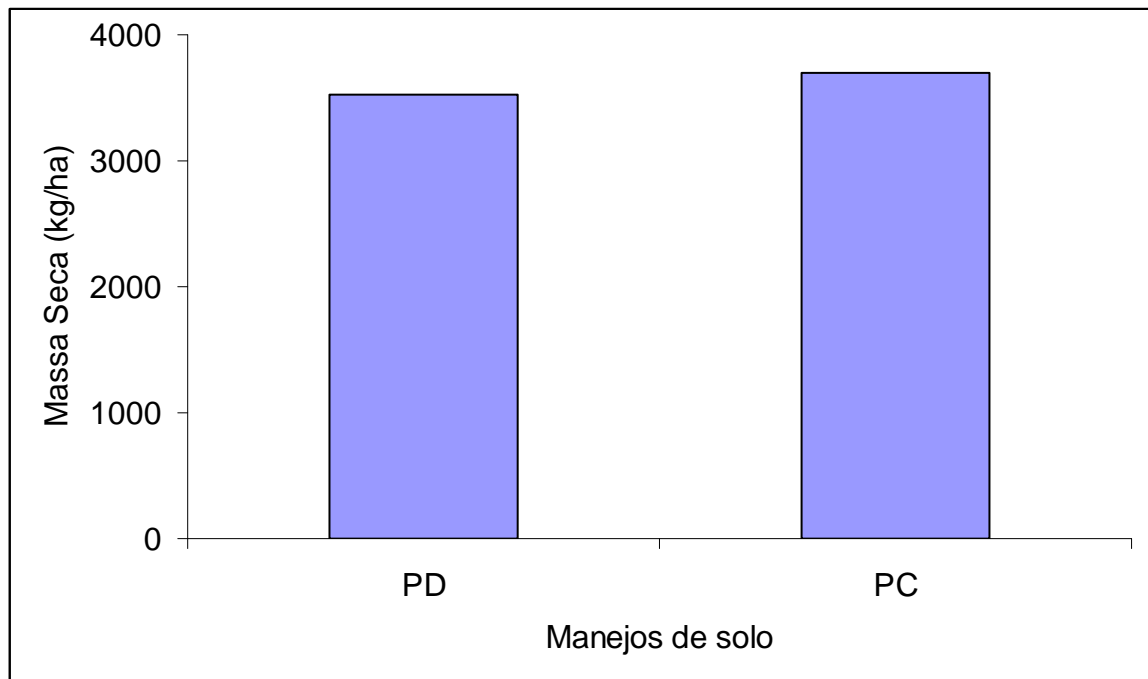
Apêndice C Figura – 6 Dados bioensaio. Fitotoxicidade residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic em tomateiro 15 dias após emergência, semeados sobre amostras de solo coletadas das parcelas plantio direto (PD), quatro preparos de solo, pousio e testemunha, a duas profundidades, 0-3 cm e 3-6 cm.



Apêndice D Figura – 7– Temperaturas médias diárias do ar e temperatura média diária do solo aos três centímetros para os manejos de solo, plantio direto (PD) e plantio convencional com quatro preparos de solo (4PS) durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006).



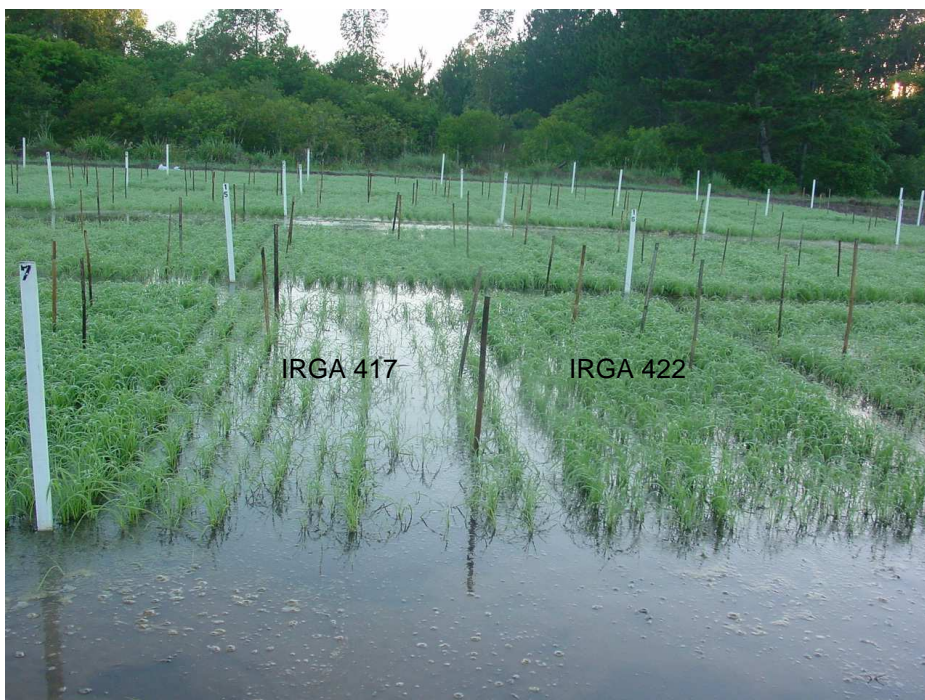
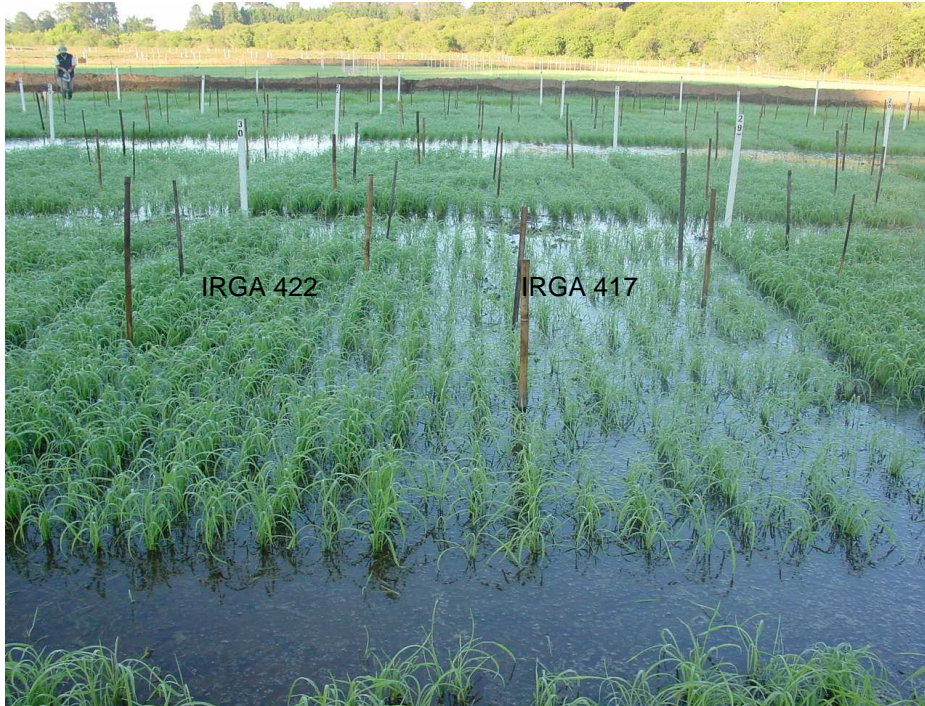
Apêndice E Figura – 8 Porcentagem de umidade do solo, nos primeiros 5 cm, para nove preparos de solo, durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006) em solo de várzea, registradas na área do experimento e o conteúdo de umidade a capacidade de campo (CC) determinada no laboratório de Física de solos da UFSM.



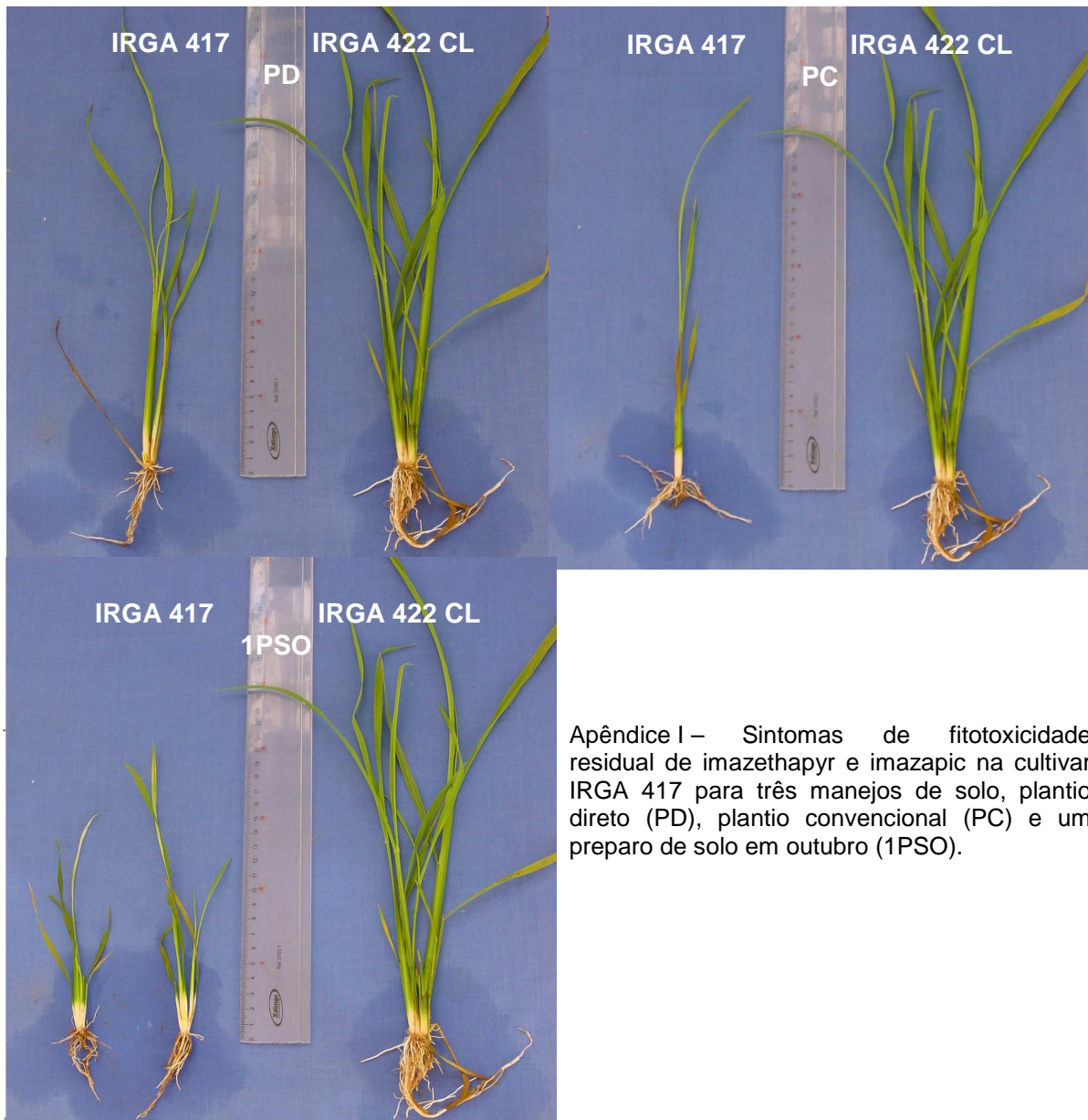
Apêndice F Figura – 9. Produção de azevém em kg/ha de massa seca para plantio direto (PD) e plantio convencional (PC), durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006) em solo de várzea, na área do experimento.



Apêndice G – Diferentes preparos e umidade de solo, no momento da semeadura.



Apêndice H – Sintomas de fitotoxicidade residual de imazethapyr e imazapic em arroz.



Apêndice I – Sintomas de fitotoxicidade residual de imazethapyr e imazapic na cultivar IRGA 417 para três manejos de solo, plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e um preparo de solo em outubro (1PSO).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM
ARROZ IRRIGADO: USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA
AGRONÔMICA E DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR,
IMAZAPIC E FIPRONIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rafael Friguetto Mezzomo

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ
IRRIGADO: USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E
DISSIPACÃO DE IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL**

por

Rafael Friguetto Mezzomo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em
Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Luis Antonio de Avila

Santa Maria, RS, Brasil

2009

Mezzomo, Rafael Friguetto, 1983

M617i

Irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado : uso de água, eficiência agronômica e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil / por Rafael Friguetto Mezzomo ; orientador Luis Antonio de Avila. – Santa Maria, 2009.
60 f. ; Il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2009.

1. Agronomia 2. Arroz irrigado 3. Controle de plantas daninhas 4. DT₅₀ 5. Imazethapyr 6. Imazapaic 7. Fipronil I. Avila, Luis Antonio de, orient. II. Título.

CDU: 633.18.03

Ficha Catalográfica elaborada por

Luiz Marchiotti Fernandes – CRB/10/1160

Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Rafael Friguetto Mezzomo. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Paraíba, n. 99, Bairro Nossa senhora de Lurdes, Santa Maria, RS, 97060-470

Fone (0xx)55 32213739; End. Eletr: rafaelfmezzomo@gmail.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ IRRIGADO:
USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E DISSIPAÇÃO DE
IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL**

elaborada por
Rafael Friguetto Mezzomo

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Luis Antonio de Avila, Ph.D.
(Presidente/Orientador)

José Alberto Noldin, Ph.D. (EPAGRI)

Enio Marchesan, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 19 de fevereiro de 2009.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

Alcides Mezzomo

Maria Friguetto Mezzomo

Aos meus irmãos

Adriana F. Mezzomo

Fernanda F. Mezzomo

Francisco F. Mezzomo

À minha noiva

Gicele Dalmolin Londero

Às minhas avós

Augusta M. Friguetto

Anália C. Mezzomo

AGRADECIMENTOS

À Deus e a todos Anjos e Santos aos quais rezo todas noite, agradecendo o dia que passou e pendido benção para o próximo dia.

Aos meus pais, irmãos e noiva pelo apoio, carinho, compreensão neste período.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização desse curso.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Ao professor Orientador Luis Antonio de Avila pela amizade, sinceridade, ensinamentos e incansável dedicação e orientação durante o curso de Pós-Graduação.

Aos professores Sylvio Henrique Bidel Dorneles, Enio Marchesan, Sérgio Machado, Flávio Eltz, Reimar Carlesso, Sidnei Lopes, Alessandro Lúcio, Nereu Streck, Joseph Harry Massey, José Denardim e João Eduardo Pereira pela amizade, idéias e pelo qualificado ensinamento oferecido.

Aos estagiários e ex-estagiários do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado e Uso Alternativo de várzeas, em especial à Getúlio Rigão, Thiago Castro, Rafael Bruck, Daltro Bernardes, Diogo Cezimbra, Tiago Rossato, Paulo Massoni, Guilherme Cassol e Militão Macedo Neto pelo apoio nos trabalhos de pesquisa.

Aos colegas de curso de Pós-Graduação Alejandro Kraemer, Gustavo Teló, Fernando Martini, Melissa Walter, Ramon Méndez, Danie Sachotene e Bernardo Zanardo pela amizade, incentivo, convívio e colaboração.

À todos os meus amigos que contribuíram direta ou indiretamente com o êxito desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ IRRIGADO: USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL

AUTOR: RAFAEL FRIGUETTO MEZZOMO
ORIENTADOR: LUIS ANTONIO DE ÁVILA
Santa Maria, 19 de fevereiro de 2009.

Toda a atividade antrópica causa impacto ambiental de algum nível. A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade com alto potencial poluidor por usar grande volume de água para manter a lâmina de irrigação e também por ser um cultivo que demanda o intenso uso de agrotóxicos e nutrientes que podem ser transportados para o ambiente. Entretanto existem alternativas de manejar a lâmina de irrigação que podem diminuir esse impacto ocasionado pela orizicultura. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do manejo de irrigação contínua e intermitente no balanço de água (lâmina de água aplicada e lâmina de água extravasada), na eficiência do uso da água, no controle de plantas daninhas, nos parâmetros agronômicos e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. A irrigação intermitente ocasiona produtividade de grãos semelhante à irrigação contínua. Além disso, proporciona economia de 32% do volume de água aplicado, resultando em uma maior eficiência do uso de água ($1,68 \text{ kg m}^{-3}$) do que a irrigação contínua ($1,14 \text{ kg m}^{-3}$). Essa economia está relacionada devido ao maior volume de água da chuva armazenada. Dessa forma, a irrigação intermitente também promove redução de 40% no volume de água escoada superficialmente e menor contaminação ambiental, proporcionando uma redução, na média dos três agrotóxicos avaliados, de 90% da massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura.

Palavras-chave: Arroz irrigado; controle de plantas daninhas; DT_{50} , esterilidade de espiguetas; imazethapyr; imazapic; fipronil.

ABSTRACT

M. S. Dissertation
Programa de Pós-Graduação Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

INTERMITTENT AND CONTINUOUS FLOODING IN RICE: WATER USE, AGRONOMIC EFFICIENCY AND IMAZETHAPYR, IMAZAPIC AND FIPRONIL DISSIPATION

AUTHOR: RAFAEL FRIGUETTO MEZZOMO

ADVISER: LUIS ANTONIO DE ÁVILA

Santa Maria February 19, 2009.

Every anthropogenic activity causes environmental impact in some extent. Rice paddy fields area are pointed out as an activity with high potential of pollution due to the large amount of water used to maintain the flooding and the intensive use of pesticides and nutrients that can be transported to the environment. Though, there are other irrigation management practices that can reduce the environmental impact caused by the rice farming. Based on that, the objective of this study was to investigate the effect of the continuous and intermittent flooding on the amount of water applied and the amount of water transported to the environment, on water use efficiency, on weed control, on agronomic parameters of the rice plants and on dissipation of imazethapyr, imazapic and fipronil. The intermittent flooding resulted in crop yield similar to continuous irrigation. In addition, it reduced in 32% the amount of water applied, resulting in a better water use efficiency (1.68 kg m^{-3}) than the continuous flooding (1.14 kg m^{-3}). Water saving is promoted by the higher amount of rainfall stored in the intermittent flooding. The intermittent flooding reduces 40% of the run-off and less environmental contamination, resulting, on the average of the three pesticides a reduction higher than 90% on the mass of pesticide transported to the environment in comparison to the total applied on the rice Field.

Key words: Flood rice; weed control; DT_{50} ; spikelet sterility; imazethapyr; imazapic; fipronil.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Efeito da irrigação contínua e intermitente sobre a estatura final de plantas, a data do florescimento, o número de panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas por panícula, o número de espiguetas cheias por panícula, a esterilidade de espiguetas, a massa de mil grãos, o rendimento do grão, a produtividade de grãos, o volume de água aplicada na lavoura, a eficiência do uso da água aplicada e o controle de plantas daninhas (arroz vermelho e <i>Aeschynomene</i> spp.). Santa Maria, RS. 2009.	26
TABELA 2. Estrutura molecular, propriedades físico-químicas e classificação pelo método de Goss de imazethapyr, imazapic e fipronil. Santa Maria, RS. 2009.....	40
TABELA 3. Balanço de água na lavoura de arroz irrigado manejada no sistema de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.	41
TABELA 4. Taxa de dissipação de agrotóxicos (k_p) e meia-vida de dissipação dos agrotóxicos em água (DT_{50}) nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.	45
TABELA 5. Concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil, com respectivos intervalos de confiança (95%), na água transportada por meio do extravasamento para fora da lavoura de arroz manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente nos 16 eventos de chuva que ocasionaram extravasamento de água dos 27 eventos ocorridos durante o período do experimento. Santa Maria, RS. 2009. ...	50
TABELA 6. Massa total dos ingredientes ativos dos agrotóxicos transportados para o ambiente por meio da água extravasada da lavoura de arroz e percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura de arroz	

irrigado manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.51

TABELA 7. Correlação entre algumas propriedades físico químicas dos agrotóxicos (peso molecular, solubilidade em água, K_{ow} , K_{oc} , DT_{50} em água e DT_{50} em solo) e a massa de agrotóxico transportada para fora da lavoura durante o ciclo do arroz irrigado no sistema de irrigação contínuo. Santa Maria, RS. 2008.....51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Evolução do número de colmos por metro quadrado nos manejos de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.	24
FIGURA 2. Balanço de água observado incluindo precipitação (mm), altura média da lâmina de água (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) na irrigação intermitente e contínua. Santa Maria, RS. 2009.....	27
FIGURA 3. Detalhe da parcela da irrigação intermitente no momento de reposição de água, quando o solo se encontrava saturado. Santa Maria, RS. 2009.	37
FIGURA 4. Vista lateral do sistema de armazenamento e pressurização da água de irrigação. Santa Maria, RS. 2009.	37
FIGURA 5. Vista lateral (A) frontal (B) das parcelas, em dois momentos da irrigação com detalhe dos hidrômetros, bóias e régua. Santa Maria, RS. 2009.	38
FIGURA 6. Vista lateral (A) e frontal (B) do sistema coletor de água que extravasava das parcelas por ocasião das chuvas. Santa Maria, RS. 2009	38
FIGURA 7. Concentrações de imazethapyr (A), imazapic (B) e fipronil (C), em $\mu\text{g L}^{-1}$, com seus respectivos intervalos de confiança (95%) na água da lavoura em irrigação contínua e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.....	43
FIGURA 8. Balanço de água observado incluindo lâmina de água aplicada (mm), precipitação (mm), altura da lâmina de irrigação média (mm), extravasamento estimado (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) no sistema de manejo de irrigação contínua (A) e intermitente (B). Para lâmina de água aplicada e extravasamento, barras de erro correspondem ao intervalo de confiança em 95% de probabilidade. Santa Maria, RS. 2009.....	47

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO I – Aspectos agronômicos da irrigação intermitente e contínua em arroz irrigado	16
Resumo	16
Abstract	17
Introdução	17
Material e Métodos	20
Resultados e Discussão	23
Conclusão	28
CAPÍTULO II - Uso de água e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil sob irrigação irrigação contínua e intermitente em arroz	29
Resumo	29
Abstract	30
Introdução	30
Material e Métodos	34
Resultados e Discussão	40
Conclusão	52
CONCLUSÕES GERAIS	53
REFERÊNCIAS	54

INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade básica para a humanidade, que promove a produção de alimentos e também gera empregos no meio rural e urbano. Por outro lado, como toda a atividade humana, a agricultura ocasiona impactos ao meio ambiente. A produção de altas quantidades de alimentos, fibras e agora combustíveis necessitam do uso intensivo dos recursos naturais e de agroquímicos. Esses últimos, de uma forma ou de outra acabam atingindo os mananciais hídricos, tornando-se fonte de poluição difusa (RHEINHEIMER et al., 2003). Essa poluição gera impacto ambiental, sejam na eutrofização de rios, córregos e lagos, ocasionados pela contaminação por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (SPERLING, 1996) transportados por escoamento superficial, ou ainda na contaminação das águas por agrotóxicos, que podem ocasionar a morte de peixes, macroinvertebrados bentônicos e comunidade perifítica (GOULART; CALLISTO, 2003).

No mesmo sentido, a água é um recurso finito e essencial para a sustentação da vida, do meio ambiente e do conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque para a agricultura (MACHADO et al., 2003). Segundo Becker (2005), a água é considerada o ouro azul do século XXI devido à escassez e ao crescente uso no mundo, principalmente nos países semi-áridos que utilizam a irrigação em cultivos agrícolas. Ademais, as crescentes expansões demográficas, industriais e agropecuárias provocam alterações negativas na qualidade da água dos rios, lagos e reservatórios (RHEINHEIMER et al., 2003). Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver maneiras mais eficientes de captação, armazenamento e utilização da água, para evitar que essa não falte para as futuras gerações, e também formas de como manejar a lavoura para que a água, que incida sobre ela via precipitação ou irrigação não chegue aos mananciais hídricos com quantidades de agroquímicos que possam causar danos ao ambiente.

A agricultura é considerada a atividade que mais usa água doce, sendo responsável por cerca de três quartos do uso mundial. A água destinada à produção de grãos provém das precipitações ou é retirada dos mananciais hídricos por meio de sistemas de irrigação (SELBORNE, 2001). Além disso, cerca de 40% da produção mundial de alimentos provém da agricultura irrigada (SELBORNE, 2001).

A agricultura irrigada caracteriza-se pelo uso de água ser altamente consumptivo, isso é, um uso em que grande parte ou o total da água captada não retorna aos mananciais de origem (RODRIGUES; IRIAS, 2004). A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade com alto potencial poluidor (FEPAM, 2007) por usar grande volume de água para manter a lâmina de irrigação (MACHADO et al., 2006) e também por ser um cultivo que demanda o intenso uso de agroquímicos, principalmente herbicidas, inseticidas e nutrientes (NOLDIN et al., 2001). A cultura do arroz irrigado, por exemplo, é citada por utilizar volumes de água que variam de $5.374 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (MACHADO et al., 2006) a maiores de $15.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por ciclo (BELTRAME; LOUZADA, 1991).

O alto volume de água usado na cultura do arroz se deve principalmente ao manejo da irrigação por inundação, o qual é caracterizado por manter lâmina de água sobre o solo. Entretanto, a manutenção de lâmina de água possibilita efeitos benéficos para a cultura do arroz irrigado, tais como o auxílio no controle de plantas daninhas (CORRÊA et al., 1997) e o aumento da disponibilidade de nutrientes na solução do solo a serem absorvidos pelas plantas (PONNAMPERUMA, 1972).

O manejo da irrigação na lavoura de arroz irrigado pode ser realizado pelos sistemas de inundação com lâmina de água contínua e/ou intermitente. Comparando os dois sistemas, a irrigação intermitente pode economizar de 22 a 75% do volume de água aplicada (BORRELL et al., 1997; BELDER et al., 2004; STONE, 2005; WATANABE et al., 2007). Essa economia de água se deve à possibilidade de captar com maior eficiência a água das chuvas (TOESCHER et al., 1997; WATANABE et al., 2007). Em alguns casos, a intermitência da lâmina de água pode proporcionar a reinfestação da área por plantas daninhas devido à ausência da barreira física, dependendo da duração do intervalo entre as irrigações (STONE et al., 1990; BORRELL et al., 1997; SANTOS et al., 1999). Dessa forma, as plantas daninhas competem com as plantas de arroz, resultando em menor produtividade de grãos. Esse fato ocorre com o uso de herbicidas que não têm efeito residual, no entanto, há no mercado alguns herbicidas que possuem efeito residual no solo, e que podem contribuir positivamente com a irrigação intermitente. Assim, faz-se necessário realizar estudos sobre o comportamento a ação de herbicidas com características residuais no solo em irrigação intermitente.

Outro aspecto importante da lavoura arrozeira é o transporte de agrotóxicos para o ambiente, sendo que diversos pesquisadores têm encontrado resíduos de

agrotóxicos em rios (HUBER et al., 2000; BOUMAN et al., 2002; CEREJEIRA et al., 2003; PRIMEL et al., 2005; GRUTZMACHER et al., 2007; MARCHEZAN et al., 2007). O principal evento que ocasiona a contaminação dos rios é o escoamento superficial. Esse é caracterizado pelo movimento horizontal do agrotóxico dissolvido em água ou adsorvido aos sedimentos, que podem chegar aos mananciais hídricos (BHUIYAN; CASTAÑEDA, 1995).

Sobre essa ótica, a irrigação intermitente pode reduzir o transporte de agrotóxicos para fora das lavouras, pois ela proporciona maior armazenamento de água das chuvas reduzindo assim o escoamento superficial (WATANABE et al., 2007). Nesse sentido, Watanabe et al. (2007), comparando as perdas acumuladas para o ambiente de herbicidas em irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado, encontraram valores de perdas de 37%, 12% e 35% da massa total dos herbicidas simetryn, thiobencarb e mefenacet para a irrigação contínua e apenas perdas cumulativas na ordem de 3,8%, 1,2% e 2,7% da massa total dos mesmos herbicidas para a irrigação intermitente. Em outro estudo, Watanabe et al. (2006), encontraram perdas cumulativas de 38 e 49% do total aplicado de mefenacet e bensulfuron-methyl em área manejada com irrigação contínua. Já na área manejada com irrigação intermitente, não houve transporte de herbicidas, pois não ocorreu extravasamento de água da lavoura por ocasião das precipitações, ou seja, a irrigação intermitente proporcionou maior armazenamento da água das chuvas do que a irrigação contínua.

Os efeitos positivos do sistema de irrigação intermitente quando comparado com a irrigação contínua são variáveis, dependendo das condições edafoclimáticas, como tipo de solo, topografia e precipitação, e também das condições de manejo, como tipo de herbicidas usado e também frequência de irrigação. Dessa forma, torna-se necessário estudar esse manejo de irrigação, em arroz irrigado no Rio Grande do Sul, pois a irrigação intermitente pode ser uma alternativa de manejo para reduzir o uso de água e o transporte de agrotóxicos da lavoura para ambiente não-alvo, sem afetar significativamente a produtividade de grãos. Com isso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do manejo de irrigação contínua e intermitente no balanço de água (lâmina de água aplicada e volume de água extravasada), na eficiência do uso da água, no controle de plantas daninhas, nos parâmetros agronômicos e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil.

CAPÍTULO I

ASPECTOS AGRONÔMICOS DA IRRIGAÇÃO INTERMITENTE E CONTÍNUA EM ARROZ IRRIGADO

RICE AGRONOMIC PARAMETERS UNDER INTERMITENT AND CONTINUOUS FLOODING

Resumo

A cultura do arroz irrigado usa grande volume de água, sendo necessária a busca de sistemas de manejo de irrigação que utilizem menor volume de água sem comprometer a produtividade de grãos do arroz irrigado. Nesse sentido, foi desenvolvido um experimento com o objetivo de estudar o efeito dos manejos de irrigação contínua e intermitente no controle de plantas daninhas, no volume de água aplicada, na eficiência do uso da água e nos parâmetros agronômicos das plantas de arroz. O experimento foi conduzido em campo, na área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, durante o ano agrícola de 2007/2008. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por dois manejos de irrigação: contínua e intermitente. A irrigação intermitente proporciona produtividade de grãos semelhante à irrigação contínua. Além disso, promove economia de 32% do volume de água aplicado e maior eficiência do uso de água ($1,68 \text{ kg m}^{-3}$) do que a irrigação contínua ($1,14 \text{ kg m}^{-3}$), não afetando o controle de plantas daninhas e o ciclo da cultivar IRGA 422 CL.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; controle de arroz vermelho; produtividade; volume de água aplicado.

Abstract

Flooded rice production uses a large amount of water, so it is necessary to find irrigation systems that promote reduction in water application without the risk of reducing crop yield. For this reason it was carried out an experiment aiming to study the effect of continuous and intermittent flooding on weed control, water use, water efficiency and on the agronomic parameters of the rice crop. The experiment was conducted in 2007/2008 growing season on paddy rice at University Federal of Santa Maria. In the experiment, a completely randomized design was used, with four replications. The treatments were composed by two different irrigation systems: continuous and intermittent flooding. The intermittent flooding system resulted in crop yield similar to continuous flooding. In addition, it reduced in 32% the amount of water applied, resulting in a better water use efficiency (1.68 kg m^{-3}) than the continuous flooding (1.14 kg m^{-3}). In addition, it did not affect weed control and the IRGA 422 CL cultivar life cycle.

Key words: *Oryza sativa*; red rice control; yield; water volume use.

Introdução

A água é um recurso de suma importância para a sustentação da vida, do ambiente e de um conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque para a agricultura (MACHADO et al., 2003). Segundo Becker (2005), a água é considerada o ouro azul do século XXI devido à escassez e ao crescente uso no mundo, principalmente nos países semi-áridos que utilizam a irrigação em cultivos agrícolas. Ademais, há previsões de que a disputa por água pode chegar a conflitos armados. Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver maneiras mais eficientes de captação, armazenamento e utilização da água, para evitar que essa não falte para as futuras gerações.

A agricultura é considerada a atividade que mais usa água doce, sendo responsável por cerca de três quartos do uso mundial. A água destinada à produção de grãos provém das precipitações ou é retirada dos mananciais hídricos por meio de sistemas de irrigação (SELBORNE, 2001). Além disso, cerca de 40% da produção mundial de alimentos provém da agricultura irrigada (SELBORNE, 2001). A cultura do arroz irrigado, por exemplo, é citada por utilizar grande volume de água,

variando de 5374 m³ ha⁻¹ (MACHADO et al., 2006) a maiores de 15000 m³ ha⁻¹ por ciclo (BELTRAME; LOUZADA, 1991).

Esse alto volume de água usado na cultura do arroz se deve ao manejo de irrigação por inundação, o qual é caracterizado por manter lâmina de água sobre o solo. No entanto, o volume realmente necessário para a cultura do arroz irrigado por inundação é o mesmo usado pelas plantas para crescer e transpirar (STONE, 2005). Grande parte do volume de água aplicado na lavoura pode ser perdido por percolação, fluxo lateral, evaporação da superfície solo-água e, em alguns casos, pode ocorrer perdas por escoamento superficial através das taipas durante a ocorrência de chuva (TUONG; BHUIYAN, 1999; TABBAL et al., 2002; STONE, 2005).

Entretanto, a manutenção de lâmina de água possibilita efeitos benéficos para a cultura do arroz irrigado, tais como o auxílio no controle de plantas daninhas (CORRÊA et al., 1997) e o aumento da disponibilidade de nutrientes na solução do solo a serem absorvidos pelas plantas (PONNAMPERUMA, 1972). A lâmina de irrigação formada sobre o solo funciona como uma barreira física, impedindo a germinação de sementes de plantas invasoras que estão localizadas no solo devido à redução de oxigênio promovido pela mesma (BORRELL et al., 1997; VILLA et al., 2006). A água também contribui para o melhor funcionamento dos herbicidas (VILLA et al., 2006), principalmente para os que são absorvidos via raiz. O estabelecimento da lâmina de água proporciona aumento da solubilidade dos agrotóxicos, favorecendo a sua dessorção dos colóides para a solução do solo, tornando-se passíveis de absorção pelas raízes das plantas (LEE et al., 2004; AVILA et al., 2005). Outro benefício da inundação é que ela proporciona aumento da disponibilidade dos nutrientes (SILVA et al., 2008) devido à alterações do pH da solução do solo. Dependendo do pH inicial da solução, ocorre aumento ou redução do pH, atingindo valores próximos à neutralidade (6,7 – 7,2) (PONNAMPERUMA, 1972), fazendo com que alguns nutrientes se tornem mais disponíveis para as plantas.

O manejo da irrigação na lavoura de arroz irrigado pode ser realizado pelos sistemas de inundação com lâmina de água contínua e/ou intermitente. A irrigação intermitente pode variar quanto ao grau de umidade do solo com que é reiniciada. Já a inundação contínua pode ser manejada de duas maneiras: com lâmina de água corrente ou com lâmina de água estática (CORRÊA et al., 1997). A maneira como a

irrigação é manejada pode ser determinada por fatores como disponibilidade de água, declividade do solo e sistematização da área. A inundação contínua com lâmina de água corrente é utilizada principalmente em áreas onde há grande disponibilidade de água e nas quais o arroz é cultivado em áreas com maior desnível, também chamado de cultivo em terras altas. A irrigação intermitente, por sua vez, é mais usada em locais com abastecimento de água limitado e em áreas sistematizadas, o que facilita o manejo da irrigação (STONE, 2005).

Comparando os dois sistemas, a irrigação intermitente pode economizar de 22 a 75% do volume de água aplicada (BORRELL et al., 1997; BELDER et al., 2004; STONE, 2005; WATANABE et al., 2007). Essa economia de água se deve à possibilidade de captar com maior eficiência a água das chuvas (TOESCHER et al., 1997; WATANABE et al., 2007), sem diminuir significativamente a produtividade de grãos (MEDEIROS et al., 1995; TOESCHER et al., 1997; BELDER et al., 2004). Em alguns casos, a intermitência da lâmina de água pode proporcionar a reinfestação da área por plantas daninhas devido à ausência da barreira física, dependendo da duração do intervalo entre as irrigações (STONE et al., 1990; BORRELL et al., 1997; SANTOS et al., 1999). Dessa forma, as plantas daninhas competem com as plantas de arroz, resultando em uma menor produtividade de grãos.

A eficiência do uso da água (EUA), definida como a razão entre a produtividade de grãos e o volume de água aplicado (STONE, 2005), é um parâmetro que está diretamente relacionado com o manejo da água de irrigação. Se, em comparação à irrigação contínua, a irrigação intermitente proporcionar a utilização de menor volume de água durante o cultivo do arroz irrigado, sem que isso afete significativamente a produtividade de grãos, a eficiência do uso da água será maior. Assim, o cultivo necessitará menor volume de água para produzir uma quantidade semelhante de grãos.

No entanto, o sucesso de sistema de irrigação intermitente também depende de um controle de plantas daninhas eficiente. Para isso, faz-se necessário a utilização de herbicidas com ação residual no solo. Nos últimos anos, herbicidas com essas características (vinculados ao sistema de produção Clearfield®) têm sido utilizados por orizicultores no Rio Grande do Sul. Entretanto, a viabilidade agrônômica de utilizar lâmina de água intermitente nesse sistema produtivo ainda é desconhecida.

Em vista do exposto, foi realizado um experimento com o objetivo de estudar o efeito dos manejos de irrigação contínua e intermitente no controle de plantas daninhas, no volume de água aplicada, na eficiência do uso da água e nos parâmetros agronômicos das plantas de arroz.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em campo, na área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, durante o ano agrícola de 2007/2008. Nessa área, o solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento. Os tratamentos foram compostos por dois manejos de irrigação: contínua e intermitente. Além disso, foram estabelecidas parcelas testemunhas (sem aplicação de herbicida) para cada tratamento, com a finalidade de avaliar o controle de plantas daninhas. Para ambos os tratamentos, a irrigação foi iniciada quando as plantas de arroz estavam em estágio V5 de desenvolvimento segundo a escala de Counce et al. (2000), estabelecendo-se uma lâmina de água de 100 milímetros (mm) de altura. No manejo intermitente, a irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura, realizando a sua reposição em presença de solo saturado quando a lâmina de água fosse consumida totalmente por evapotranspiração, perdas por percolação vertical e perdas laterais, até 100 mm de altura. Já para a irrigação contínua, a lâmina era constante e estática. Em ambos os tratamentos, a irrigação foi cessada quando as plantas de arroz se encontravam no estágio R7. O sistema de drenagem foi instalado à 10 mm da altura média da lâmina de água, ou seja, a 110 mm do nível médio do solo.

O sistema de implantação da lavoura foi o convencional, que consistiu no preparo do solo, realizado com duas gradagens sucessivas e aplainamento do solo com niveladora. A semeadura foi realizada no dia 08 de novembro de 2007, na densidade de 120 kg ha^{-1} de sementes da cultivar IRGA 422 CL que foram previamente tratadas com o inseticida fipronil, na dose de 37,5 g i.a. por 100 kg de semente, para o controle preventivo da bicheira-da-raiz do arroz (*Oryzophagus oryzae*). A adubação de base constou da aplicação de 17,5 kg de N, 70 kg de P_2O_5 e 105 kg de K_2O na linha de semeadura. As plantas daninhas

que emergiram após a data de semeadura e anteriormente à emergência do arroz semeado foram controladas com o herbicida glyphosate (960 g e.a. ha⁻¹).

Após a semeadura, foram construídas taipas de 30 cm de altura com o objetivo de isolar as parcelas, sendo que cada unidade experimental teve dimensões 15 x 3,8 m (52,5 m²). Com a finalidade de evitar as perdas de água por infiltração lateral, foram construídas taipas ronda, contornando os tratamentos com um canal, mantendo a água entre as parcelas e a taipa ronda para manter a mesma carga hidráulica de cada unidade experimental.

Posteriormente à construção das taipas, foi realizado o nivelamento altimétrico em cada parcela com um nível topográfico para determinar as irregularidades na superfície do solo e estabelecer a altura média de 100 mm para a lâmina de irrigação e a altura de 110 mm para o sistema de drenagem. Concluído o levantamento topográfico, foram instaladas réguas no solo para controlar a altura da lâmina de irrigação e o sistema de drenagem. A irrigação das parcelas foi efetuada de forma independente e automatizada por meio de um sistema de irrigação com tubulação de PVC de 100 mm para conduzir água do canal principal da estação experimental até uma caixa armazenadora de 1000 L de capacidade. Dessa caixa, a água era pressurizada com auxílio de uma motobomba conectada a um reservatório de pressão, dotado de um pressostato que mantinha a pressão de serviço entre 20 e 40 psi. A partir do reservatório de pressão, a água era conduzida por tubos de PVC de 50 mm para as unidades experimentais, e o volume de água aplicado em cada parcela era quantificado por hidrômetros conectados à tubulação. A altura da lâmina de água era mantida por uma bóia acoplada ao hidrômetro e regulada para suspender a irrigação quando a lâmina atingisse 100 mm. A reposição de água era ajustada manualmente para cada sistema de manejo (MACHADO et al., 2006), e as leituras dos volumes de água usada por parcela eram realizadas diariamente por meio de leitura dos hidrômetros. Além disso, a verificação da altura de lâmina de água era feita por meio das réguas, conforme descrito anteriormente.

Quando as plantas daninhas se encontravam com 3-4 folhas, foi realizada a aplicação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. ha⁻¹) na dose de 1 L do produto comercial ha⁻¹, associado ao adjuvante Dash HC[®] (0,5% v. v.⁻¹). O herbicida foi aspergido com pulverizador costal de precisão, pressurizado com CO₂, contendo na barra quatro pontas Teejet XR 110015, operando com pressão 275 kPa e vazão correspondente a

150 L ha⁻¹. Foram realizadas avaliações de controle de *Echinochloa* spp. (capim-arroz), *Aeschynomene* spp. (angiquinho), *Cyperus iria* (junquinho) e *Oryza sativa* (arroz vermelho) aos 15, 22, 53, 82 e 106 dias após a aplicação do herbicida. A análise foi realizada visualmente, por meio da comparação entre as parcelas tratadas com herbicidas e as parcelas testemunhas (sem herbicidas), atribuindo notas de zero (sem controle) a 100 (todas as plantas controladas).

Em seqüência à pulverização herbicida, foi aplicado nitrogênio em cobertura na dose de 70 kg ha⁻¹, na forma de uréia, sobre o solo seco. No dia seguinte, foi iniciada a irrigação das plantas de arroz, que estavam com cinco folhas (V5). A segunda aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada em R₀ (iniciação da panícula), na dose de 30 kg ha⁻¹. Os demais manejos foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2007).

Os parâmetros agronômicos avaliados foram: número de colmos e panículas por metro quadrado, época de floração, estatura final de plantas, número de espiguetas totais e cheias por panícula, esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, produtividade de grãos e rendimento do grão.

Após a emergência das plântulas, foi demarcado um metro linear em cada parcela para quantificar o número de colmos e panículas que, posteriormente, foram extrapolados para metro quadrado. No mesmo local, foram demarcados dez colmos em seqüência com a finalidade de realizar as avaliações referentes à época de floração (uma espiguetas em antese) e estatura final de plantas. No metro linear demarcado, foram coletadas 10 panículas em seqüência para determinar o número total de espiguetas por panícula, o número de espiguetas cheias por panícula, a esterilidade de espiguetas e a massa de mil grãos.

A produtividade foi determinada por meio da colheita manual de uma área de 12,5 m² em cada parcela quando os grãos apresentavam umidade média de 22%. Após a trilha, limpeza e secagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos para kg ha⁻¹ (CAMARGO, 2008). Em seguida, foram separadas sub-amostras de 500 g, das quais foram retirados 100 g e submetidos ao teste de rendimento do grão em máquina testadora de grãos, obtendo-se a percentagem de grãos inteiros. Os dados referentes à eficiência do uso de água foram calculados, usando a razão entre produtividade de grãos e volume de água aplicado. Os dados foram inicialmente testados quanto ao

atendimento das pressuposições do modelo matemático, à normalidade, à independência dos erros e à homogeneidade da variância. Os valores percentuais referentes ao controle de plantas daninhas, ao rendimento do grão e à esterilidade de espiguetas não atenderam à normalidade e então foram transformados para $y_t = \sqrt{y}$. Os dados referentes ao número de colmos m^{-2} no tempo (DAE) foram considerados com um bifatorial, e então submetidos à ANOVA ($p \leq 0,01$), e posteriormente foi realizado o teste t de Student ($p \leq 0,01$) para cada avaliação no tempo nos diferentes tratamentos. Por fim, as demais variáveis foram submetidas ao teste t ($p \leq 0,01$).

Resultados e Discussão

A evolução do perfilhamento (Figura 1) demonstra que ocorreu aumento no número de colmos, atingindo o máximo aos 39 dias após a emergência das plantas, sendo que a média do número de colmos m^{-2} para os tratamentos foi de 1.282 e 1.088 para a irrigação intermitente e contínua respectivamente. Após essa data, iniciou um processo de declínio, seguido de estabilização, não havendo efeito dos tratamentos de manejo de irrigação. Isso é confirmado pelos testes estatísticos, pois não ocorreu interação entre os manejos de irrigação e as épocas de avaliação do número de colmos m^{-2} . Entretanto, o teste F foi significativo para cada época de avaliação, e sem significância para os tratamentos. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores (STONE et al., 1990; TOESCHER, 1991; BORRELL et al., 1997; SANTOS et al., 1999; SHI et al., 2002) que não verificaram diferença significativa no número de colmos m^{-2} entre os manejos de irrigação contínua e intermitente. Porém, foi observada tendência de maior emissão de colmos no tratamento com manejo de irrigação intermitente. Segundo Stone et al. (1990), a lâmina de água intermitente durante a fase vegetativa favorece o perfilhamento das plantas de arroz irrigado.

A curva de evolução do número de colmos observada neste trabalho é típica da cultura do arroz irrigado, pois há emissão de um maior número de colmos do que a população de plantas pode manter. Dessa forma, as plantas atingem um pico na emissão e posteriormente ocorre um declínio, devido à morte de colmos, até a estabilização (HANADA, 1993).

Para os parâmetros estatura de plantas, data do florescimento, número de panículas por metro quadrado, número total de espiguetas por panícula, número de espiguetas cheias por panícula, massa de mil grãos, rendimento do grão e produtividade de grãos não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1) em nível de 1% de probabilidade de erro. Esses resultados evidenciam que não houve restrição no crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz, demonstrando que a reposição de água na irrigação intermitente, quando o solo se encontrava saturado, foi o suficiente para evitar estresse hídrico.

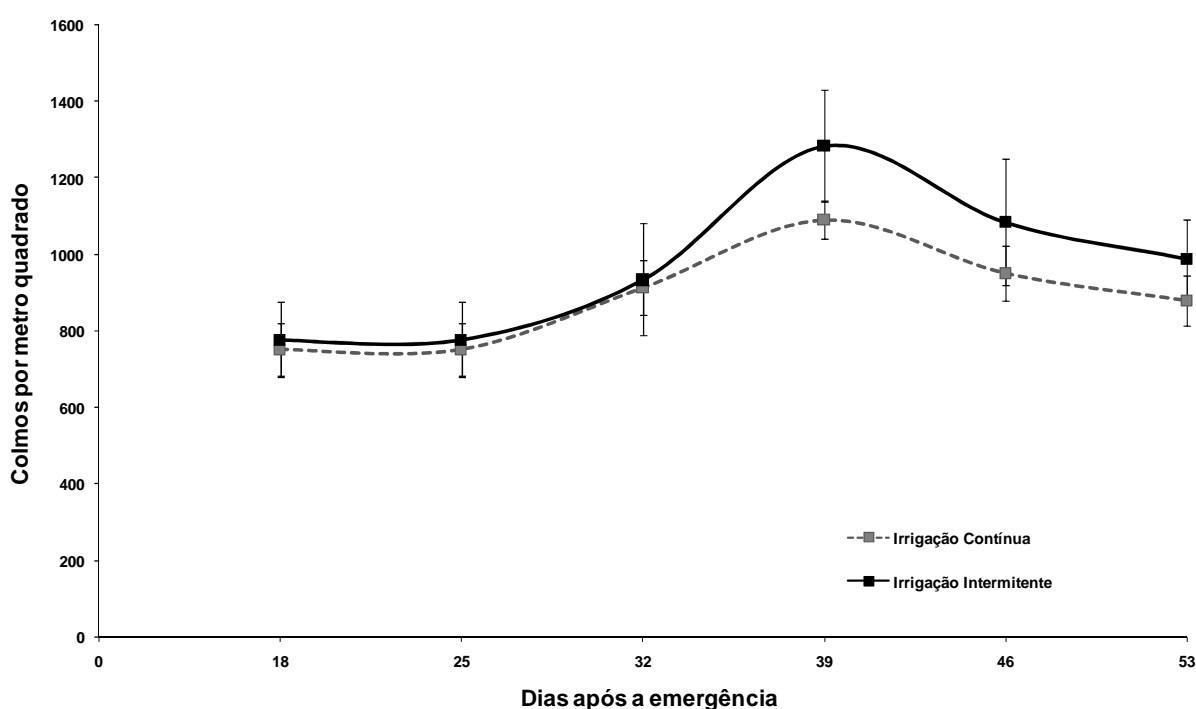


Figura 1. Evolução do número de colmos por metro quadrado nos manejos de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Com relação à esterilidade de espiguetas, a irrigação intermitente proporcionou maior esterilidade de espiguetas. Esse fato pode ser oriundo da forma como foram coletadas as panículas, pois foram coletadas 10 panículas em sequência para a determinação dessa variável. Dessa forma, provavelmente foram coletadas panículas de mesma planta, sendo que ocorreu maior emissão tardia de colmos (39 DAE) na irrigação intermitente do que na irrigação contínua, coletando-se assim maior número de panículas de afilhos nesse sistema de irrigação. Assim, essa emissão tardia pode ter originado colmos de menor estatura, ficando menos expostos a radiação solar, originando panículas que ficaram mais sombreadas, e por

consequência obteve-se maior esterilidade de espiguetas do que a irrigação contínua.

O resultado de aproximadamente 17% de esterilidade de espiguetas para a cultivar IRGA 422 CL, manejada sob irrigação contínua, está de acordo com os resultados obtidos por Villa et al. (2006) e Santos et al. (2007), que encontraram valores de 17 e 18% respectivamente para a mesma cultivar em condições semelhantes de manejo. Embora tenha ocorrido maior percentual de esterilidade de espiguetas na irrigação intermitente, essa não influenciou a produtividade de grãos, pois não houve diferença significativa dessa variável entre os tratamentos. A produtividade de grãos não diferiu entre os tratamentos provavelmente devido ao fato de o solo ter sido sempre mantido saturado, não havendo períodos em que as plantas submetidas à irrigação intermitente ficassem sob estresse hídrico.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis eficiência do uso da água aplicada e volume de água aplicada. A irrigação intermitente permitiu economia de água, ou seja, o volume de água aplicado foi menor. A intermitência da lâmina de água proporcionou maior armazenamento da água da chuva, pois quando a lâmina de água encontrava-se baixa (Figura 2), a água que precipitava podia ser armazenada nas parcelas (até atingir a altura de 110 mm de lâmina de água), por ter maior borda livre (altura do sistema de drenagem menos a altura da lâmina de irrigação). Enquanto que, na irrigação contínua, a água extravasava (após atingir a altura de 110 mm de lâmina de água) e escoava para fora das unidades experimentais, pois a altura da borda livre era quase sempre inferior à altura da borda livre da irrigação intermitente. Como não houve diferença significativa para produtividade de grãos e houve menor volume de água aplicado no sistema intermitente, a irrigação intermitente proporcionou uma melhor eficiência de uso de água. Da mesma forma, Toescher et al. (1997) encontraram maior eficiência do uso da água para a irrigação intermitente, comparando irrigação contínua, intermitente, por aspersão e por meio das precipitações em diferentes cultivares de arroz. No mesmo sentido, Shi et al. (2002) encontraram maior eficiência do uso da água para a irrigação intermitente, comparada à irrigação contínua e ao cultivo sem irrigação.

Tabela 1. Efeito da irrigação contínua e intermitente sobre a estatura final de plantas, a data do florescimento, o número de panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas por panícula, o número de espiguetas cheias por panícula, a esterilidade de espiguetas, a massa de mil grãos, o rendimento do grão, a produtividade de grãos, o volume de água aplicada na lavoura, a eficiência do uso da água aplicada e o controle de plantas daninhas (arroz vermelho e *Aeschynomene* spp.). Santa Maria, RS. 2009.

Avaliações	Irrigação		Média	CV (%)
	Contínua ¹	Intermitente ²		
Estatura de plantas (cm)	81,60 ^{ns}	78,38	79,99	2,24
Data do florescimento (DAE) ³	80,00 ^{ns}	80,00	80,00	1,01
Número de panículas m ⁻²	608,82 ^{ns}	607,35	608,09	8,76
Número total de espiguetas por panícula	84,25 ^{ns}	97,50	90,87	17,89
Número de espiguetas cheias por panícula	70,20 ^{ns}	71,60	71,90	17,81
Esterilidade de espiguetas (%) ⁴	16,72 *	26,34	21,53	9,21
Massa de mil grãos (g)	29,71 ^{ns}	28,69	29,19	3,76
Rendimento do grão (%) ⁴	67,25 ^{ns}	66,50	66,87	0,89
Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	9247 ^{ns}	9209	9228	4,77
Volume de água aplicado (m ³ ha ⁻¹)	8185 *	5563	6.874	12,46
Eficiência de uso da água aplicada (kg m ⁻³)	1,14 *	1,68	1,41	40,17
Controle de arroz vermelho (%) ^{4, 5}	95,75 ^{ns}	95,00	95,37	12,63
Controle de <i>Aeschynomene</i> spp. (%) ^{4, 5}	94,50 ^{ns}	95,25	94,87	19,36

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralizada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

* Diferença significativa entre os dois tratamentos pelo teste t ($p \leq 0,01$).

^{ns} Diferença não significativa entre os dois tratamentos pelo teste t ($p \leq 0,01$).

³ Dias após a emergência.

⁴ Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y}$.

⁵ Avaliação visual onde foi considerado 100% controle total de plantas daninhas e zero para ausência de controle.

O sistema de manejo de água intermitente proporcionou uma economia de aproximadamente 32% no volume de água aplicado, comparado ao sistema de manejo de água contínuo. Resultados encontrados por Borrell et al. (1997) sugerem que a irrigação intermitente pode usar de 29 a 42% menos água do que a irrigação contínua, dependendo das condições climáticas.

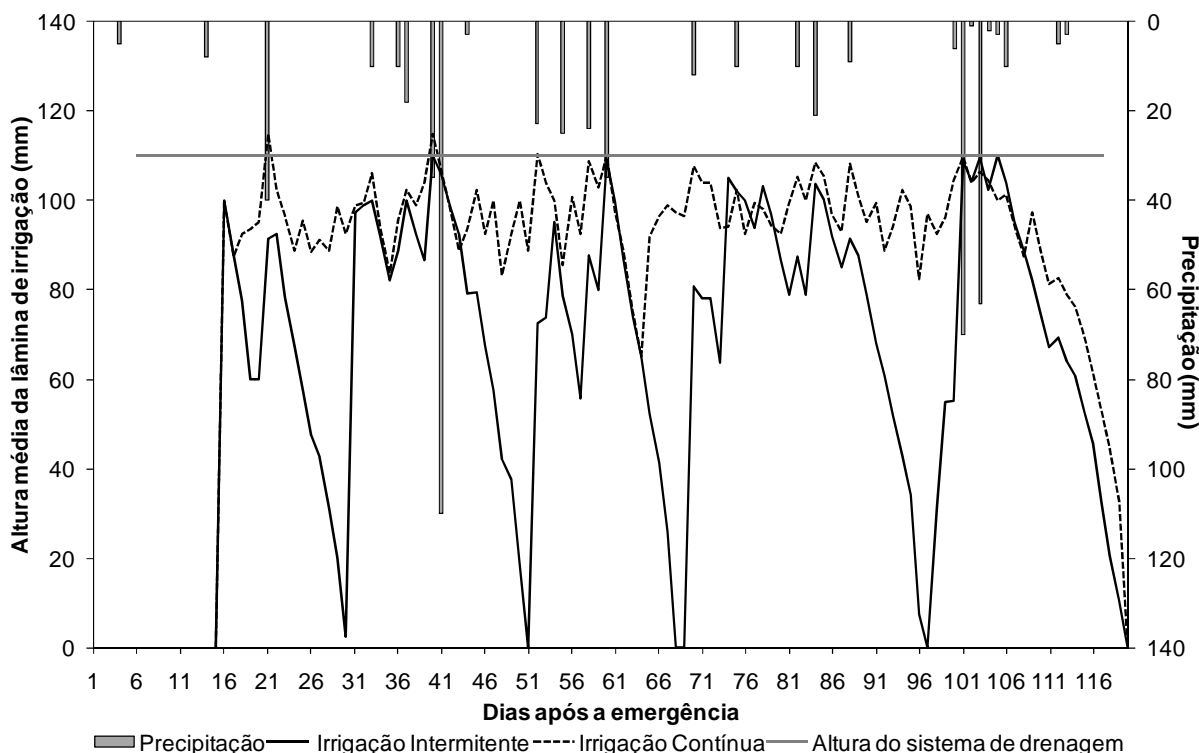


Figura 2. Balanço de água observado incluindo precipitação (mm), altura média da lâmina de água (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) na irrigação intermitente e contínua. Santa Maria, RS. 2009.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o controle de arroz vermelho e angiquinho em todos os períodos avaliados (na Tabela 1 são mostradas apenas as avaliações realizadas em pré-colheita). Com isso, infere-se que as sementes das plantas daninhas presentes no solo não germinaram na rápida ausência da lâmina de irrigação proporcionada pelo sistema intermitente em alguns momentos do cultivo. A primeira reposição de água, realizada aos 30 dias após a emergência das plantas de arroz cultivado, pode ter impedido a reinfestação por plantas daninhas. Nessa data, as plantas de arroz encontravam-se no estágio V7 para V8 (COUNCE et al., 2000) e estavam com dossel vegetativo bem desenvolvido, sombreando parcialmente as entrelinhas. Em decorrência desse fenômeno, parte da radiação solar não incidiu sobre o solo, impedindo o aumento da temperatura. Essas condições desfavoreceram a germinação e emergência de outras plantas daninhas. Outros fatores que podem ter impedido a reinfestação das plantas daninhas são as propriedades residuais dos herbicidas utilizados e também a rápida reposição de água, ou seja, as parcelas ficaram somente um dia sem lâmina de água. Dados de literatura evidenciam que a mistura formulada de imazethapyr e imazapic pode persistir no solo por até 358 dias após a aplicação, ocasionando fitotoxicidade em

genótipo de arroz não tolerante (MASSONI et al., 2007). Segundo Williams et al. (2002), devem transcorrer 540 dias entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura de arroz não-tolerante. As avaliações referentes ao controle de *Echinochloa* spp e *Cyperus iria* não foram apresentados devido ao controle de 100% em ambos os tratamentos.

O alto percentual de controle das plantas daninhas se deve basicamente ao manejo aplicado na área experimental, o qual é recomendado para a tecnologia Clearfield®. Essa tecnologia preconiza a utilização da mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. ha⁻¹) na dosagem de um litro de produto comercial ha⁻¹, associado ao adjuvante Dash HC®, que deve ser aplicado quando as plantas daninhas se encontram no estágio de 3 a 4 folhas e, um dia após a aplicação do herbicida, a irrigação deve ser iniciada. Níveis similares de controle de arroz vermelho foram encontrados por Santos et al. (2007) e Villa et al. (2006) em cultivo de arroz sob lâmina contínua de irrigação. No que diz respeito ao controle de angiquinho, vale ressaltar que, na área experimental, a infestação média era de uma planta m⁻². Os altos valores de controle dessa planta proporcionados pela tecnologia Clearfield® em manejo de lâmina de água contínua também são reportados por Mariot; Menezes (2008) e Villa et al. (2006), que encontram 97 e 93 % respectivamente.

Conclusão

A irrigação intermitente proporciona produtividade de grãos de arroz irrigado semelhante àquela obtida na irrigação contínua. Além disso, proporciona economia de 32% do volume de água aplicado, resultando em uma maior eficiência do uso de água do que a irrigação contínua.

A intermitência da lâmina de água não afeta o controle de plantas daninhas se for utilizado herbicidas com propriedades residuais no solo e a primeira reposição da irrigação for realizada quando as plantas de arroz já estiverem com o dossel vegetativo bem desenvolvido, sombreando parcialmente as entrelinhas. Da mesma forma, o ciclo da cultivar IRGA 422 CL não é influenciado pelo sistema de irrigação intermitente.

CAPÍTULO II

USO DE ÁGUA E DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL SOB IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ

WATER USE AND DISSIPATION OF IMAZETHAPYR, IMAZAPIC AND FIPRONIL UNDER CONTINUOUS AND INTERMITENT IRRIGATION IN RICE

Resumo

Para a obtenção de altas produtividades do arroz irrigado, torna-se indispensável o uso de agrotóxicos para proteger a cultura contra plantas daninhas, insetos e patógenos. Porém, parte da massa aplicada desses agrotóxicos pode atingir o ambiente, causando efeitos indesejáveis e incertos. Em lavouras de arroz irrigado, os principais eventos que ocasionam o transporte de agrotóxicos para o ambiente são o escoamento superficial e a drenagem. Nesse sentido, é de suma importância estudar práticas de manejo que reduzam o escoamento superficial da lavoura de arroz. Manejo de irrigação tem um importante efeito nesse escoamento. Assim, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito do manejo da irrigação contínua e intermitente nas perdas de água via escoamento superficial e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. Quando comparada com a irrigação contínua, a irrigação intermitente proporciona redução de 40% do volume de água escoada superficialmente para o ambiente, reduzindo assim mais de 80% na massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura. Isso se deve a maior captação de água da chuva que reduziu transporte de água e agrotóxicos.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; DT₅₀; contaminação ambiental.

Abstract

To obtain high rice yield in areas it is necessary the use of pesticides to protect the crop against weeds, insets and diseases. Moreover, part of mass of the pesticide applied can reach the environment, causing unwanted and uncertain effects. On flooded rice fields, the main factors that cause pesticide transport to the environment are runoff and drainage. For this reason it is important to study management practices that reduces water runoff to the environment. Water management can play an important role in this effect. Based on that, the objective of this study was to investigate the effect of continuous and intermittent flooding on the amount of water losses through run-off and imazethapyr, imazapic and fipronil dissipation. When compared with continuous flooded, the intermittent flooded promote a reduction of 40% on water overflow to the environment. Promoting, consequently, reduction on more 80% of the mass of pesticide transported to the environment in comparison to the total applied in the rice field. These effects are due to the rainfal saving captured in this system, reducing water overflow.

Key words: *Oryza sativa*; DT₅₀; environmental contamination.

Introdução

O uso de agroquímicos, que são divididos em fertilizantes e agrotóxicos, é de grande importância para o desenvolvimento do arroz irrigado (MATSUNAKA, 2001). Os agrotóxicos protegem as culturas contra plantas daninhas, insetos e patógenos, possibilitando a obtenção de elevadas produtividades (MARCHEZAN et al., 2007; BARIZON, 2004). Porém, quando aplicados, certas quantidades desses químicos não atingem o alvo, podendo assim atingir áreas não alvo, onde podem ser dissipados. Na maioria dos casos, principalmente quando aplicados ao solo, os agrotóxicos podem ser dissipados por várias formas: degradados por ação da radiação solar, microrganismos e ainda sofrer degradações químicas; lixiviados no perfil do solo através dos macroporos; escoados superficialmente por ação das chuvas; adsorvidos aos colóides do solo e ainda atingir o alvo desejado (ROGER; BHUIYAN, 1995).

O transporte de agrotóxicos para o ambiente tem por consequência a contaminação dos mananciais hídricos. Muitos pesquisadores têm encontrado resíduos de diversos agrotóxicos em rios (HUBER et al., 2000; BOUMAN et al., 2002; DESCHAMPS et al., 2003; CEREJEIRA et al., 2003; PRIMEL et al., 2005; GRUTZMACHER et al., 2007; MARCHEZAN et al., 2007). Em lavouras de arroz irrigado, os principais eventos que ocasionam o transporte de agrotóxicos para o ambiente não-alvo são a deriva, a lixiviação, o escoamento superficial e a drenagem (CEREJEIRA et al., 2003). A deriva é ocasionada quando os agroquímicos são aplicados em condições adversas às ideais de aplicação, principalmente por ação do vento. A lixiviação é o movimento vertical do agrotóxico em meio à água, podendo atingir o lençol freático. Já o escoamento superficial é caracterizado pelo movimento horizontal do agrotóxico dissolvido em água ou adsorvidos à sedimentos, podendo assim, chegar aos mananciais hídricos (BHUIYAN; CASTAÑEDA, 1995). Outra forma de transporte de agrotóxicos para o ambiente é através da drenagem da lavoura. Essa vem caindo em desuso pelos agricultores, pois esses têm consciência de que a drenagem da lavoura, dependendo da época em que é realizada, pode proporcionar o carregamento de nutrientes e agrotóxicos para os mananciais hídricos, provocando assim a poluição dos mesmos (MACHADO et al., 2006).

Alguns fatores atuam no transporte dos agroquímicos, dentre eles: as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos; as condições edafoclimáticas no momento e posteriores à aplicação; e o manejo da irrigação das culturas, em especial em lavouras de arroz irrigado. Algumas das propriedades físico-químicas que mais influenciam o transporte dos agrotóxicos são a solubilidade em água e o coeficiente de adsorção à matéria orgânica (K_{oc}) (SILVA et al., 2007). Entretanto, há outras propriedades físico-químicas que também podem influenciar no transporte de agrotóxicos para o ambiente, por exemplo, o peso molecular, o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), o coeficiente de ionização (pK_a), a volatilidade e pressão de vapor (PV).

A solubilidade em água indica a quantidade máxima da molécula que se dissolve em água em determinada temperatura, e é expressa em miligramas do químico por litro de água. Assim, quanto maior a quantidade de grupos hidrofílicos a substância possuir, maior será sua afinidade com água, portanto, maior sua solubilidade em água (SILVA et al., 2007). O K_{ow} mede a lipofilicidade da molécula, ou seja, se ela tem caráter lipofílico (apolar) ou hidrofílico (polar) (MEROTTO JR. et

al., 2001). Os valores K_{ow} são expressos em logaritmo, variando de -5 a 1 para substâncias de caráter hidrofílico e de 1 a 7 para substâncias de caráter lipofílico. O K_{oc} representa o coeficiente de sorção normalizado conforme o teor de carbono orgânico do solo, sua unidade é em mililitro por grama (SILVA et al., 2007). O pKa indica o valor do pH em que as moléculas se encontram 50% associadas e 50% dissociadas (KRAEMER, 2008). A volatilidade é o escape de um composto na forma vapor do meio aquoso em que se encontra dissolvido. Normalmente é expressa pela PV na unidade de mmHg ou Pa (SILVA et al., 2007). Existem classes de volatilidade, onde valores com expoente $< 10^{-5}$ são classificados como produtos de baixa volatilidade, valores entre 10^{-4} e 10^{-5} como moderadamente voláteis e valores $\geq 10^{-3}$ como altamente voláteis (ZIMDAHL, 1999). Dessa forma, agrotóxicos que combinam alta solubilidade em água, baixo K_{oc} têm maior probabilidade de serem transportados para fora do ambiente alvo por ocasião de chuvas torrenciais (SILVA et al., 2007) ou drenagem da lavoura por ter maior afinidade com a água (polar) do que com a partículas lipofílicas.

Existem outros parâmetros que também dão idéia do comportamento desses produtos no ambiente, tais como a persistência em solo e água, a constante da Lei de Henry (K_H), o índice de GUS e o método de Goss (PRIMEL, 2005). A persistência é normalmente medida pela meia vida (SILVA et al., 2007). A meia vida é o tempo em que o xenobiótico leva para que 50% da sua concentração inicial seja dissipada. Portanto, quanto menor a meia vida do agrotóxico, menor a chance de ele ser transportado (SILVA et al., 2007). A K_H é um coeficiente de partição entre o ar e solução do solo. Também pode ser usado com indicativo do potencial de volatilização, ou seja, quanto maior K_H , maior a volatilidade (SILVA et al., 2007). Já o índice de GUS e o método de GOSS foram desenvolvidos para predispor o comportamento dos agrotóxicos no ambiente. O método de GOSS é utilizado para avaliar o risco de contaminação de águas superficiais. Ele leva em consideração valores de meia vida no solo, solubilidade em água e K_{oc} , e classifica o potencial de contaminação em alto, médio e baixo em função do transporte do agrotóxico adsorvido aos colóides do solo ou dissolvido em água (FILIZOLA et al., 2005). O índice GUS avalia o agrotóxico quanto ao potencial de lixiviação para água subterrânea, utilizando as propriedades $\frac{1}{2}$ vida no solo e K_{oc} , e classifica-os em faixas pré-estabelecidas: não sofre lixiviação ($GUS \leq 1,8$), faixa de transição ($1,8 < GUS < 2,8$) e provável lixiviação ($GUS \geq 2,8$) (GUSTAFSON, 1989).

As condições edafoclimáticas tais como: temperatura e umidade do ar; velocidade do vento; umidade e porosidade do solo; pH, teor de matéria orgânica e argilominerais do solo; radiação solar e a ocorrência de precipitações, são de vital importância no momento e após a aplicação, tanto para o funcionamento dos agroquímicos quanto para a dissipação desses (AYENI et al., 1998; HUBER et al., 2000; HEISER, 2007) pois essas condições influenciam o comportamento dos agrotóxicos no ambiente.

A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade com alto potencial poluidor (FEPAM, 2007) por usar grande volume de água para manter a lâmina de irrigação (MACHADO et al., 2006) e também por ser um cultivo que demanda o intenso uso de agroquímicos, principalmente herbicidas, inseticidas e nutrientes (NOLDIN et al., 2001).

O manejo da lâmina de água, de forma geral, pode diminuir o transporte de agroquímicos para o ambiente. Nesse sentido, Watanabe et al. (2007), comparando as perdas acumuladas para o ambiente dos herbicidas simetryn, thiobencarb e mefenacet em irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado, encontraram valores de perdas de 37%, 12%, 35% da massa total dos herbicidas simetryn, thiobencarbe e mefenacete para a irrigação contínua e apenas perdas cumulativas na ordem de 3,8%, 1,2%, 2,7% da massa total dos mesmos herbicidas para a irrigação intermitente. Em outro estudo, Watanabe et al. (2006), encontraram perdas cumulativas de 38 e 49% do total aplicado de mefenacete e bensulfuron-methyl em área manejada com irrigação contínua. Já na área manejada com irrigação intermitente, nenhum herbicida foi perdido, pois não ocorreu extravasamento de água da lavoura por ocasião das precipitações, ou seja, a irrigação intermitente proporcionou maior armazenamento da água das chuvas do que a irrigação contínua.

A redução do transporte de agrotóxicos para o meio ambiente no sistema de irrigação intermitente se deve ao fato de haver, durante o desenvolvimento da cultura, espaço para armazenamento de água da chuva, evitando assim o escoamento superficial.

Nesse sentido, é de suma importância ampliar estudos de métodos de manejo da irrigação de lavoura de arroz irrigado com o objetivo de diminuir o volume de água aplicado e o transporte de agrotóxicos para o ambiente, minimizando o impacto ambiental. Assim, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito do manejo

da irrigação contínua e intermitente no balanço de água (lâmina de água aplicada e volume de água extravasada) e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. Também, outro objetivo foi identificar como e quais propriedades físico-químicas dos agrotóxicos atuam na massa total de agrotóxicos transportada para o ambiente.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no ano agrícola 2007/2008, na área experimental do departamento do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características (0-20 cm de profundidade): $\text{pH}_{\text{água}}(1:1) = 4,8$; $\text{P} = 13,5 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 48 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 1,6 \% \text{ m v}^{-1}$; $\text{Ca} = 2,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e argila = $25 \% \text{ m v}^{-1}$.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por dois manejos de irrigação: contínua e intermitente. Para ambos os tratamentos, a irrigação foi iniciada quando as plantas de arroz estavam em estágio V5 de desenvolvimento segundo a escala proposta por Counce et al. (2000), estabelecendo-se uma lâmina de água de 100 milímetros (mm) de altura acima do nível médio do solo. No manejo intermitente, a irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, permitindo-se então que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado (Figura 3), a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura acima do nível médio do solo. Já para a irrigação contínua, a lâmina era constante. Nos dois tratamentos, a irrigação foi cessada quando as plantas de arroz se encontravam no estágio R7 (110 DAE). O sistema de drenagem foi instalado à 10 mm da altura média da lâmina de água, ou seja, à 110 mm de altura do nível médio do solo.

O sistema de implantação da lavoura foi o convencional, que consistiu no preparo do solo, realizado com duas gradagens sucessivas e aplainamento do solo com niveladora. A semeadura foi realizada no dia oito de novembro de 2007, em linhas espaçadas a 0,17 m, com densidade de 120 kg ha^{-1} de sementes da cultivar IRGA 422 CL. As sementes foram previamente tratadas com o inseticida fipronil na dose de 37,5 g i.a. por 100 kg de semente. A adubação de base foi realizada na

linha de semeadura conforme as recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2007). As plantas daninhas que emergiram após a data de semeadura e anteriormente a emergência do arroz foram controladas com o herbicida glyphosate (960 g e.a. ha⁻¹).

Após a semeadura, foram construídas taipas de 30 cm de altura com o objetivo de isolar as parcelas, sendo que cada parcela teve dimensões 15 x 3,8 m (52,5 m²). Com a finalidade de evitar as perdas de água por infiltração lateral, foram construídas taipas ronda contornando os tratamentos com um canal, mantendo a água entre as parcelas e a taipa ronda para manter a mesma carga hidráulica das unidades experimentais.

Posteriormente à construção das taipas, foi realizado o nivelamento altimétrico em cada parcela com um nível topográfico para determinar as irregularidades na superfície do solo e estabelecer a altura média de 100 mm para a lâmina de irrigação e a altura de 110 mm para o sistema de drenagem. Concluído o levantamento topográfico, foram instaladas réguas no solo para controlar a altura da lâmina de irrigação e o sistema de drenagem.

O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. ha⁻¹) na dose de um litro de produto comercial por hectare, associado com o adjuvante Dash HC[®] (0,5% v. v.⁻¹) no dia 5 de dezembro, ou seja, 15 dias após a emergência do arroz, quando as plantas daninhas estavam no estágio de 3-4 folhas. O herbicida foi aspergido com pulverizador costal de precisão, pressurizado com CO₂, contendo na barra quatro pontas Teejet XR 110015 operando com 275 kPa de pressão e vazão correspondente a 150 L ha⁻¹.

Em seqüência à pulverização herbicida, foi aplicado nitrogênio em cobertura na quantia de 70 kg ha⁻¹ na forma de uréia sobre o solo seco. No dia seguinte, foi iniciada a irrigação das plantas de arroz, que estavam com cinco folhas (V5). A segunda aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada em R₀ (iniciação da panícula), na quantia de 30 kg ha⁻¹. Os demais manejos foram realizados seguindo as recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2007).

A irrigação das parcelas foi efetuada de forma independente e automatizada. Foi instalado um sistema de irrigação com tubulação de PVC de 100 mm para transportar água do canal principal da estação experimental até uma caixa

armazenadora de 1000 L. Dessa caixa, a água era pressurizada com auxílio de uma motobomba conectada à um reservatório de pressão, dotado de um pressostato que mantinha a pressão de serviço entre 20 e 40 psi (Figura 4). A partir do reservatório de pressão, a água era conduzida por tubos de PVC de 50 mm para as unidades experimentais e o volume de água aplicado em cada parcela era quantificado por hidrômetros conectados à tubulação. A altura da lâmina de água era mantida por uma bóia acoplada ao hidrômetro e regulada para suspender a irrigação quando a lâmina atingisse 100 mm (Figura 5). A reposição de água era ajustada manualmente para cada sistema de manejo (MACHADO et al., 2006) e diariamente eram realizadas leituras dos volumes de água usada por parcela por meio de leitura dos hidrômetros. Além disso, a verificação da altura de lâmina de água era feita por meio das réguas, conforme descritas anteriormente.

Para coletar a água que escoava das parcelas por ocasião das precipitações, foi confeccionado um divisor de água do tipo Geib, com uma chapa de metal dotada 50 perfurações circulares de 50 mm de diâmetro, distribuídas em três fileiras, espaçadas 20 mm na vertical e 10 mm na horizontal, para cada unidade experimental. Nas três perfurações centrais foram soldados pedaços de cano de 50 mm de comprimento. Nesses canos, foram conectadas mangueiras plásticas de 50 mm de diâmetro. As chapas foram instaladas nas taipas, de forma que a primeira fileira de buracos (total de 17) ficasse a 110 mm do solo, ou seja, só iria ter escoamento de água quando a lâmina de irrigação alcançasse 110 mm de altura (por ocasião de precipitações), lembrando que a altura máxima de irrigação era 100 mm. Esse sistema conduzia 1/17 do volume total de água que extravasava da unidade experimental para uma caixa armazenadora, de fibra de vidro, com capacidade de 500 litros (Figura 6). Após cada chuva em que ocorresse o extravasamento, era realizada a coleta de água no volume de 500 mL em frascos âmbar, retirado esse volume e feita à limpeza das caixas. Essas amostras eram posteriormente enviadas para determinação da concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil.



Figura 3. Detalhe da parcela da irrigação intermitente no momento de reposição de água, quando o solo se encontrava saturado. Santa Maria, RS. 2009.



Figura 4. Vista lateral do sistema de armazenamento e pressurização da água de irrigação. Santa Maria, RS. 2009.

Esse sistema de coleta de água foi elaborado com o objetivo de armazenar uma porção do volume escoado (1/17 do total) por ocasiões de chuvas, independentemente do volume precipitado, integrando a água da chuva do início do extravasamento até o final do evento, possibilitando-se assim obter-se uma amostra média para análise. Os dados de volume de cada evento de precipitação foram obtidos por meio de um pluviômetro, que foi instalado no centro da área experimental.

O volume de água extravasado foi estimado, diminuindo-se o volume de chuva por parcela (m^3) pela capacidade de armazenamento de água de cada parcela (m^3). Então, os dados de volume de água extravasada estimados foram transformados para milímetros.



Figura 5. Vista lateral (A) frontal (B) das parcelas, em dois momentos da irrigação com detalhe dos hidrômetros, bóias e régua. Santa Maria, RS. 2009.

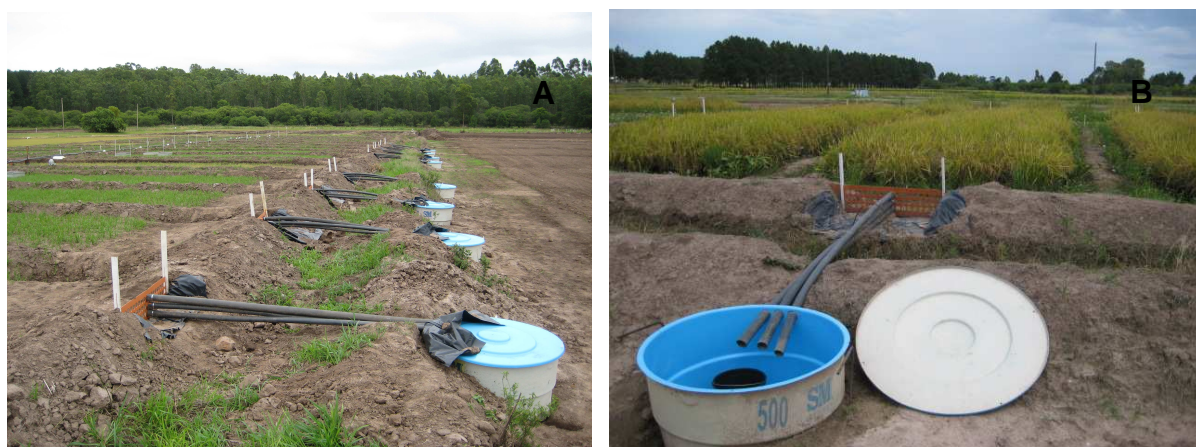


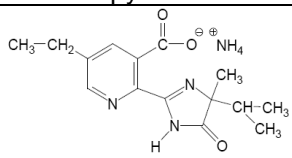
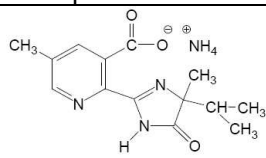
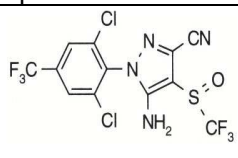
Figura 6. Vista lateral (A) e frontal (B) do sistema coletor de água que extravasava das parcelas por ocasião das chuvas. Santa Maria, RS. 2009

Para a determinação da concentração de imazetapyr, imazapic e fipronil nas parcelas foram coletadas amostras de 500 mL de água na lâmina de irrigação em francos âmbar em cada unidade experimental aos 1, 3, 8, 14, 21, 28, 50 e 74 dias após o início da irrigação. As propriedades físico-químicas dos agrotóxicos analisados estão listadas na Tabela 2. Esses frascos eram armazenados em caixas térmicas e encaminhados ao Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas do Departamento de Química da UFSM, onde foram determinadas as concentrações de imazethapyr e imazapic conforme a metodologia descrita por Gonçalves (2007) e também as concentrações de fipronil conforme metodologia descrita por Kurz (2007). A água que era extravasada das parcelas por ocasião das precipitações e armazenada nas caixas de fibra sofreu o mesmo procedimento mencionado acima.

As concentrações de imazethapyr, imazapic e fipronil detectadas em lâmina de água foram padronizadas para 100 mm de altura de lâmina de água para evitar o efeito de diluição, e depois submetidas ao cálculo da taxa de dissipação. A taxa de dissipação desses agrotóxicos foi calculada aplicando o logaritmo natural da concentração restante dos três produtos ($\ln C/Co$), que por meio da plotagem desse valor com o tempo em dias, foi obtida a constante da taxa de dissipação dos herbicidas na água (k_p). Os valores da meia-vida de dissipação em água dos herbicidas foram calculados usando a equação $DT_{50} = \ln(2)/k_p$, sendo k_p o valor absoluto da inclinação e a constante, a taxa de dissipação dos agrotóxicos na água (SANTOS et al., 2008).

Os dados referentes às constantes da taxa de dissipação dos agrotóxicos (k_p), a lâmina de água aplicada (mm), a quantidade de água extravasada (mm), a quantidade total de agrotóxicos ($g\ ha^{-1}$) que extravasou juntamente com a água e a percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura foram inicialmente testados quanto à normalidade e homogeneidade da variância. Os valores referentes ao total de imazethapyr que extravasou das parcelas não atenderam as pressuposições citadas acima e então foram transformados para $yt = \sqrt{y}$, e os valores referentes à percentagem de ingrediente ativo (imazethapyr, imazapic e fipronil) transportado em relação ao total aplicado na lavoura também não atenderam as pressuposições e foram transformados para $yt = \arcseno\sqrt{(y + 0,5)/100}$.

Tabela 2. Estrutura molecular, propriedades físico-químicas e classificação pelo método de Goss de imazethapyr, imazapic e fipronil. Santa Maria, RS. 2009.

	Imazethapyr ¹	Imazapic ¹	Fipronil ²
Estrutura molecular			
Peso molecular (g mol ⁻¹)	289,3	275,3	437,2
Solubilidade em água (mg L ⁻¹)	1400	2200	2,4 (pH 5)
K _{ow}	11 (pH 5); 31(pH 7); 16 (pH 9)	0,16 (pH 5); 0,01 (pH 7); 0,002 (pH 9)	10000
K _{oc} (mL g ⁻¹)	52	206	803
pKa	2,1 e 3,9	2,0 ; 3,9 e 11,1	—
PV (mPa)	< 0,013	< 0,013	3,7 x 10 ⁻⁴
Meia vida em campo (dias)	60 – 90	120	120 – 160
Classificação pelo Goss ³	Alto potencial ⁴	Alto potencial	Alto potencial

¹ Senseman, 2007.

² Connelly, 2001.

³ Método de classificação do potencial de poluição de águas superficiais por pesticidas (alto, médio e baixo).

⁴ Critérios para a classificação de alto potencial de transporte dissolvido em água: a) DT₅₀ solo > 35 dias; K_{oc} < 100.000 mL g⁻¹; Solubilidade em água > 1 mg L⁻¹; ou b) K_{oc} ≤ 700 mL g⁻¹; 10 ≤ Solubilidade ≤ 100 mg L⁻¹ (FILIZOLA et al., 2005).

Por fim, os dados referentes à lâmina de água aplicada e à quantidade de água extravasada foram submetidos ao teste t de Student. Os demais dados foram submetidos à análise da variância com um fatorial, sendo o fator A manejo da irrigação (contínua e intermitente) e o fator D agrotóxicos (imazethapyr, imazapic e fipronil). Também foi aplicado o teste de Correlação de Pearson para verificar a correlação entre as propriedades físico químicas dos agrotóxicos (peso molecular, solubilidade em água, K_{ow}, K_{oc}, DT₅₀ em água e DT₅₀ em solo) e a massa de agrotóxicos transportada para fora da lavoura durante o ciclo do arroz irrigado no sistema de irrigação contínua.

Resultados e Discussão

A lâmina de água aplicada e a lâmina de água extravasada foram menores no sistema de manejo intermitente quando comparado ao manejo de lâmina contínua (Tabela 3) pelo teste t de Student (p≤0,05). Os valores de uso de água da Tabela 3, quando convertidos para m³ ha⁻¹, correspondem a 5563 e 8184 m³ ha⁻¹, respectivamente para o sistema de irrigação intermitente e contínuo. A irrigação intermitente proporcionou menor extravasamento devido ao maior armazenamento

de água da chuva nesse sistema. O extravasamento no sistema contínuo correspondeu a 363,3 mm ao passo que a irrigação intermitente proporcionou um extravasamento de 217,2 mm. Dessa forma a irrigação intermitente proporcionou armazenamento de 340,75 mm de chuva quando comparado com 194,75 mm da irrigação contínua (diferença entre o precipitado e o extravasado). Em valores percentuais, a irrigação intermitente proporcionou economia de 32% do volume de água aplicada devido à redução de 40% no volume de água extravasado para fora da lavoura quando comparando com a irrigação contínua, justamente por armazenar maior volume da água da chuva.

Tabela 3. Balanço de água na lavoura de arroz irrigado manejada no sistema de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Sistema de irrigação	Precipitação (mm)	Lâmina de água aplicada (mm)	Lâmina de água extravasada (mm)
Contínuo ¹	558	818,47 *	363,25 *
Intermitente ²	558	556,30	217,25
Diferença ³	--	262,17	146,00
Economia/redução ⁴ (%)	--	32,03	40,20
Média	--	687,38	290,25
CV (%)	--	12,46	12,79

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas estavam em estágio R7.

³ Diferença entre os valores de lâmina do contínuo e do intermitente.

⁴ Percentagem de economia de água de irrigação ou de redução de extravasamento.

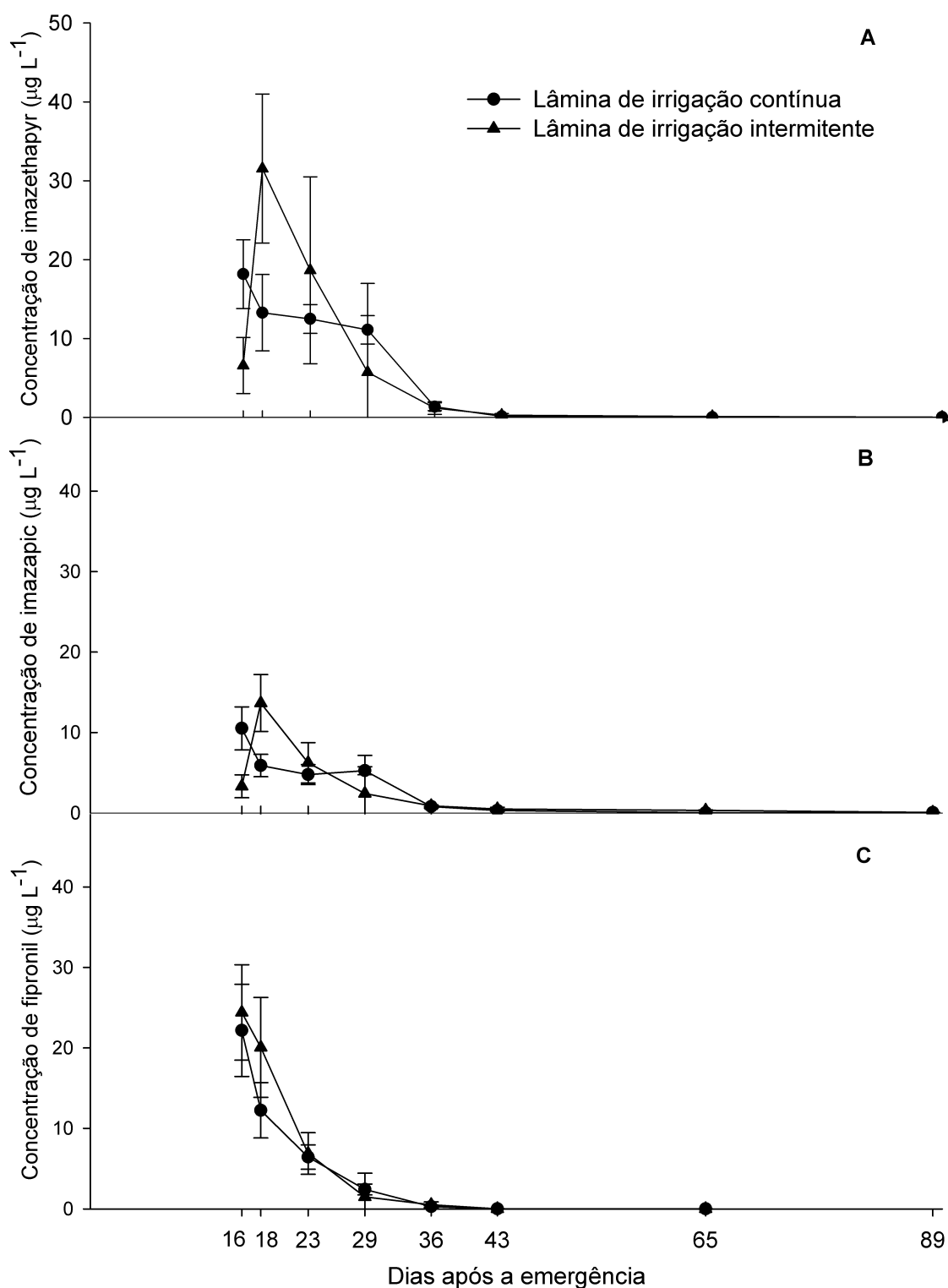
* Diferença significativa entre os dois manejos de irrigação pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por outros autores. Borrell et al. (1997) sugerem que a irrigação intermitente pode usar de 29 a 42% menos água do que a irrigação contínua, dependendo das condições climáticas. Além disso, em experimento conduzido por Watanabe et al. (2006) foi observado que a irrigação intermitente possibilitou uma economia de 75% na lâmina de água aplicada quando comparado com o sistema contínuo. Nesse mesmo experimento, a irrigação intermitente com sistema de drenagem alto (75 mm) não teve escoamento superficial, contrastando com a irrigação contínua que em grandes eventos de chuvas escoavam até 20 mm dia⁻¹ de água. Esses mesmos autores mencionam que o excesso de água armazenado pela irrigação intermitente associada com o alto sistema de drenagem previne perdas de água por escoamento superficial durante significativos eventos de chuva, necessitando assim de menor lâmina de água

aplicada a lavoura. Em outro estudo, Watanabe et al. (2007) afirmam que durante o período monitorado (35 dias), a irrigação contínua necessita 60% mais irrigação do que a irrigação intermitente com alto sistema de drenagem.

Com relação à dissipação dos agrotóxicos (Figura 7), foram observadas concentrações detectáveis de imazethapyr e imazapic até 89 dias após a emergência (DAE) das plantas de arroz para os dois sistemas de manejo de irrigação, essa data corresponde a 74 dias após o início da irrigação (DAII). O pico máximo de concentração desses dois ingredientes ativos foi observado aos 18 DAE (03 DAII) na irrigação intermitente e aos 16 DAE (01 DAII) na irrigação contínua. Já para fipronil, foram detectadas concentrações até o 65º DAE (50 DAII), sendo que a maior concentração foi detectada aos 16 DAE (01 DAII) em ambos os sistemas de manejo de irrigação. Houve uma grande variação nas concentrações dos agrotóxicos avaliados nos dois sistemas de irrigação, demonstrada pelas barras de erro. Entretanto, nota-se que as maiores concentrações de imazethapyr e imazapic foram detectadas 18 DAE (03 DAII) na irrigação intermitente.

A maior concentração observada aos 3 DAII, quando comparada à concentração observada aos 1 DAII pode ter sido ocasionado pelos processos de sorção/dessorção. Os herbicidas que foram aplicados em solo seco, tiveram tempo de se adsorver ao solo no período de 24 horas antes da inundação. Após a inundação, os herbicidas necessitam um tempo para que esses se equilibrem entre a fase líquida e sólida, nesse sentido, Avila (2005) determinou que imazethapyr equilibrou-se com o solo em 48 horas. Assim, a detecção de maior concentração na segunda coleta se deve ao tempo em que imazethapyr leva para alcançar o equilíbrio com o solo. Já na irrigação contínua, a forma semelhante de decréscimo das concentrações dos herbicidas pode ter sido influenciada pela reposição constante de água, exercendo assim maior pressão hidráulica, fazendo com que esses produtos sejam lixiviados, permanecendo em menor concentração em lâmina de irrigação. Inoue et al. (2007), evidenciaram que, em Latossolo Vermelho distrófico, houve lixiviação de imazapic até a camada de 10-15 cm da coluna de solo para a lâmina de irrigação de 40 mm e até a camada 15-20 cm para a lâmina de 60 mm. Já no que diz respeito à lixiviação de imazethapyr, Kraemer (2008) encontrou concentrações em até 20 cm de profundidade em diferentes sistemas de preparo de solo em que foi cultivado arroz irrigado sob irrigação contínua.



Barras de erro representam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Figura 7. Concentrações de imazethapyr (A), imazapic (B) e fipronil (C), em $\mu\text{g L}^{-1}$, com seus respectivos intervalos de confiança (95%) na água da lavoura em irrigação contínua e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Outros autores encontraram detecção do herbicida imazethapyr em lâmina de água de lavouras de arroz irrigado até o 27º DAI (SANTOS et al., 2008), 32º DAI (MARCOLIN et al., 2003) e 42º DAI (MARCOLIN et al., 2005). Da mesma forma,

esses autores encontraram maiores concentrações em datas mais próximas ao início da irrigação. O decréscimo da concentração dos agrotóxicos em lâmina de água é devido à sua dissipação no ambiente, seja por transporte para fora da lavoura ou mudança de compartimento, como por exemplo, adsorção aos colóides do solo. A rápida dissipação pode também ser explicada pela rápida degradação dos agrotóxicos proporcionada pela existência de condições climáticas favoráveis, como insolação e temperatura (SANTOS et al., 2008).

No entanto, as concentrações de fipronil em lâmina de irrigação tiveram comportamento semelhante em ambos os manejos de irrigação, decrescendo com o passar do tempo. A diferença do comportamento desse agrotóxico com relação aos outros se deve provavelmente à forma de aplicação, visto que o mesmo foi aplicado em tratamento de sementes. Dessa forma, podem ter ocorrido processos de adsorção do inseticida com o solo, estabilizando assim a sua concentração no solo até o início da irrigação, que ocorreu 28 dias após a semeadura. Fipronil tem o valor médio de K_{oc} igual a 803 mL g^{-1} (CONNELLY, 2001), isso demonstra uma forte tendência de se adsorver aos colóides do solo, indicando baixa a moderada mobilidade do ingrediente ativo das sementes tratadas. Nesse sentido, Raveton et al. (2007) observaram mobilidade até camadas de 11 cm de profundidade, ficando mais concentrado no solo em posições mais próximas de onde foi depositada a semente (profundidades de até 5 cm).

A partir dos resultados da Figura 7, foi calculada a taxa de dissipação dos agrotóxicos em água (Tabela 4). Houve diferença significativa na taxa de dissipação dos agrotóxicos, sendo que fipronil possuiu maior taxa de dissipação, diferindo de imazethapyr e imazapic. Comparando-se a taxa de dissipação dos agrotóxicos dentro dos sistemas de irrigação, observou-se que foi encontrada diferença significativa apenas para fipronil, que possuiu maior taxa de dissipação na irrigação contínua. Os valores médios de meia vida de dissipação em água para irrigação contínua e intermitente correspondem a 10,2, 6,7 e 3,5 dias para imazapic, imazethapyr e fipronil, respectivamente. A maior meia vida para fipronil no sistema intermitente é atribuída à menor perda do agrotóxico por extravasamento nesse sistema. Isso se deve provavelmente ao fato de ocorrer maior diluição e perdas de agrotóxicos na irrigação contínua por ocasião das chuvas (WATANABLE et al., 2007). Em irrigação contínua, Santos et al. (2008) encontraram meia vida de imazethapyr variando de 6,2 a 1,2 dias, dependendo da dose e época de aplicação.

Tabela 4. Taxa de dissipação de agrotóxicos (k_p) e meia-vida de dissipação dos agrotóxicos em água (DT_{50}) nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Sistema de irrigação	Imazethapyr	Imazapic	Fipronil	Média
	----- k_p -----			
Contínuo ¹	B 0,11 ^{ns (3)}	C 0,07 ^{ns}	A 0,23 *	0,136
Intermitente ²	B 0,10	C 0,06	A 0,18	0,12
Média	0,105	0,065	0,205	
	----- DT_{50} (dias) -----			
Contínuo	6,44	9,53	3,08	6,39
Intermitente	7,03	10,88	3,78	7,23
Média	6,73	10,20	3,49	

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

³ Média não ligada por mesma letra na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

* Diferença significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F ($p \leq 0,05$).

^{ns} Diferença não significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Dos 27 eventos de chuva que ocorreram durante o cultivo do arroz (Figura 8), na irrigação contínua, 16 deles proporcionaram extravasamento de água para fora da lavoura (Tabela 5) na irrigação contínua. Desses 16 eventos, em apenas nove foram detectadas concentrações de imazethapyr e imazapic, e somente dois eventos foram detectadas concentrações de fipronil, sendo que esses foram transportados para fora da lavoura. Já na irrigação intermitente, dos nove eventos de chuva que ocasionaram o extravasamento, somente seis eventos foram detectadas concentrações de imazethapyr e imazapic, e em único evento foi detectada concentração de fipronil.

O fato da irrigação intermitente proporcionar menor extravasamento e por consequência menor contaminação ambiental se deve à borda livre (diferença entre a altura do sistema de drenagem e a altura da lâmina de irrigação) das parcelas que evitavam o extravasamento de água da chuva, possibilitam assim o maior armazenamento dessa água (Figura 8). Entretanto, pode-se observar que o principal evento de transporte de agrotóxicos para o ambiente foi o primeiro, que ocorreu somente na irrigação contínua, pois nos demais eventos havia menor concentração de agrotóxicos na lavoura reduzindo assim a massa transportada para o ambiente. Também, é demonstrado na Tabela 5 que em quase todos os eventos que ocorreram transporte superficial de imazethapyr e imazapic, as concentrações desses químicos, na maioria dos casos, foram maiores na irrigação intermitente.

Provavelmente isso se deve às maiores perdas dos herbicidas que ocorreram na irrigação contínua (WATANABE et al., 2007).

De todos os eventos de transporte, o primeiro evento (21 DAE) proporcionou o transporte de maior quantidade de agrotóxicos, com valores de 1,96, 0,81 e 1,43 g i. a. ha⁻¹, respectivamente para imazethapyr, imazapic e fipronil (calculado com base na concentração e agrotóxicos e volume extravasado), que corresponde a 92% do total de imazethapyr, 74% do total de imazapic e 99,9% do total de fipronil transportado na irrigação contínua. Esses resultados corroboram com resultados de outros autores, como Gaynor et al. (2002) que observaram que no primeiro evento de chuva ocorreu o transporte de 89% da massa de atrazine do total transportada em todo o ciclo da cultura do milho. De maneira geral, Wauchope (1978) estimou para uma grande variedade de agrotóxicos que cerca de 1 a 2% da massa aplicada pode ser perdida em um único evento de escoamento superficial.

Analisando a concentração nominal dos agrotóxicos avaliados nesse experimento, valores referentes à concentração de imazapic na água transportada por meio do extravasamento ultrapassaram o valor de 0,1 µg L⁻¹ aos 40, 41, 44, 55 e 60 DAE na irrigação intermitente. Na irrigação contínua, concentrações nominais acima de 0,1 µg L⁻¹ foram encontradas no 21º DAE para imazethapyr, imazapic e fipronil e 41º DAE somente para imazethapyr e imazapic. O somatório das concentrações dos três agrotóxicos em cada evento de extravasamento foi verificado concentração acima de 0,5 µg L⁻¹ apenas na primeira coleta de água extravasada (21 DAE). Na legislação brasileira não estão estabelecidos os limites de concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil presente na água para consumo humano e para águas superficiais. A maioria dos produtos que se encontram na Portaria 1469 do CONAMA não são utilizados na cultura do arroz irrigado, ainda que as concentrações máximas permitidas estejam na unidade de mg L⁻¹. Entretanto, a União Européia estabeleceu a concentração de 0,1 µg L⁻¹ para um agrotóxico e a concentração de 0,5 µg L⁻¹ para a concentração total de agrotóxicos. Essas concentrações são os limites máximos admissíveis de agrotóxicos em água destinada ao consumo humano, com a exceção de aldrin, dieldrein, heptachlor e óxido de heptachlor, que o limite é de 0,03 µg L⁻¹ (HAMILTON et al., 2003). Dessa forma, a irrigação contínua proporcionou contaminação ambiental em níveis acima dos estipulados pela união européia, considerando a concentração total dos agrotóxicos.

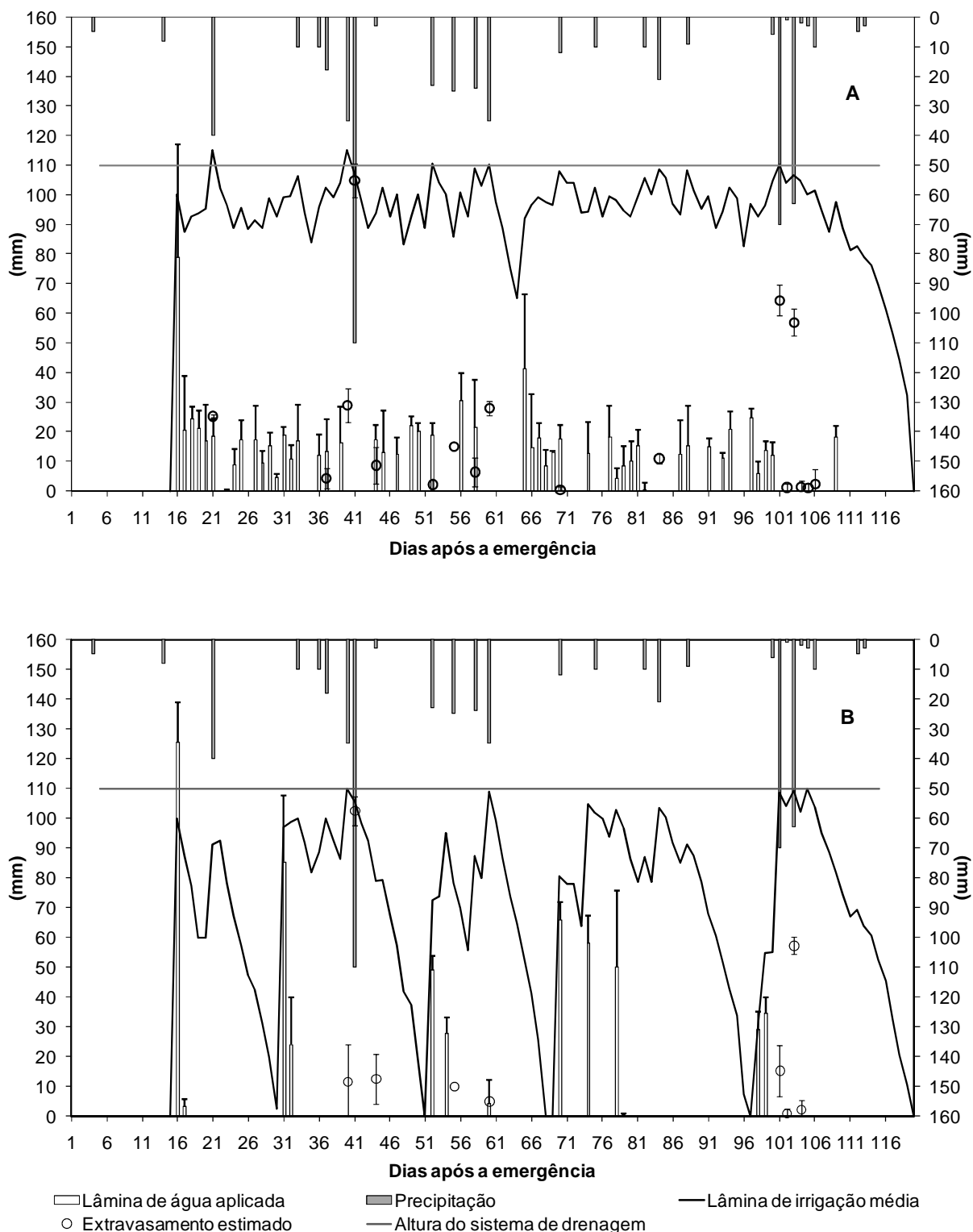


Figura 8. Balanço de água observado incluindo lâmina de água aplicada (mm), precipitação (mm), altura da lâmina de irrigação média (mm), extravasamento estimado (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) no sistema de manejo de irrigação contínua (A) e intermitente (B). Para lâmina de água aplicada e extravasamento, barras de erro correspondem ao intervalo de confiança em 95% de probabilidade. Santa Maria, RS. 2009.

A massa total de agrotóxicos transportado para o ambiente foi maior no sistema de irrigação contínua, independentemente do agrotóxico em questão (Tabela 6). A irrigação contínua proporcionou aproximadamente 15 vezes mais massa de agrotóxico (em g ha^{-1}) transportado para o ambiente quando comparado com a irrigação intermitente. Estudos realizados por Watanabe et al. (2007) e Watanabe et al. (2006) comprovam que a irrigação intermitente, por possuir maior capacidade de armazenamento das águas das chuvas, proporciona menor contaminação ambiental de agrotóxicos do que a irrigação contínua.

A percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura, também foi maior na irrigação contínua, resultando em diferença significativa entre as médias dessa variável nos distintos manejos de irrigação. Dessa forma, a irrigação intermitente permite redução do percentual de transporte de agrotóxicos para o ambiente em 80% para o herbicida imazapic, 96% para imazethapyr e 99% para fipronil. Apesar dos três agrotóxicos terem propriedades físico-químicas que os classificam como alto potencial de transporte dissolvido em água, estimada pelo método de Goss (Tabela 2), houve diferença significativa entre eles para a percentagem de ingrediente ativo transportado. Imazapic foi o agrotóxico com maior valor percentual médio transportado em relação às quantidades aplicadas no solo, que diferiu significativamente do demais.

Nesse sentido, Watanabe et al. (2007), comparando as perdas acumuladas para o ambiente de herbicidas em irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado, encontraram valores de perdas de 37%, 12%, 35% e 3,8%, 1,2%, 2,7% de da massa total dos herbicidas simetryn, thiobencarb e mefenacet para a irrigação contínua e intermitente, espectivamente. Em outro estudo, Watanabe et al. (2006), encontraram perdas cumulativas de 38 e 49% do total aplicado de mefenacet bensulfuron-methyl em área manejada com irrigação contínua. Já na área manejada com irrigação intermitente, nenhum herbicida foi perdido, pois não ocorreu extravasamento de água da lavoura por ocasião das precipitações.

Correlacionando a massa de agrotóxico transportada com as propriedades físico químicas dos agrotóxicos (Tabela 7) observa-se que houve correlação positiva dessa variável com as propriedades solubilidade em água, DT_{50} em água e em solo. Ou seja, há uma tendência de aumento da massa do agrotóxico extravasada com o aumento do valor dessas propriedades. Já as propriedades peso molecular, K_{ow} e K_{oc} ,

a correlação é negativa, ou seja, há tendência de diminuir a massa de agrotóxicos extravasados com o aumento do valor dessas propriedades.

Os valores de peso molecular, K_{ow} e K_{oc} são inversamente correlacionados com a massa do agrotóxico transportada. Quanto maior o peso molecular, mais pesada é a molécula, mais difícil será o seu transporte através da água para o ambiente. Da mesma forma para K_{ow} e K_{oc} . O valor de K_{ow} indica lipofilicidade da molécula, ou seja, quanto menor o valor, mais hidrofílico é o agrotóxico, mais solúvel em água e maior o transporte para o ambiente. O K_{oc} representa o coeficiente de sorção da substância ao carbono orgânico do solo, ou seja, quanto menor o K_{oc} menor é a sorção, mais facilmente a molécula será transportada por ação da água. Em um estudo realizado por Watanabe et al. (2007), o K_{oc} foi um melhor indicativo do destino aquático de herbicidas quando comparado com a solubilidade em água.

A solubilidade em água é a quantidade máxima de agrotóxico que se dissolve em água, ou seja, agrotóxicos que possuem maior solubilidade, estão mais dissolvidos em água, logo serão mais facilmente transportados em solução para fora da lavoura. Da mesma forma para a meia vida em água e em solo, quanto maior os valores de meia vida, mais tempo o agrotóxico persiste no ambiente, maior é a probabilidade de ser carregado para fora do ambiente alvo, podendo estar dissolvido em água ou ainda adsorvido aos sedimentos.

Frente a essas correlações e justificativas, pode-se mencionar que o imazapic teve maior percentagem da massa transportada em relação ao total aplicado do que os demais agrotóxicos avaliados devido aos maiores valores de solubilidade em água, DT_{50} em campo (Tabela 2) e DT_{50} em água (Tabela 4). Por outro lado, para fipronil, o maior peso molecular, K_{ow} e K_{oc} podem ter influenciado na menor percentagem transportada desse ingrediente ativo em relação ao total aplicado na lavoura. Esse fato pode ser explicado pela forte sorção aos colóides do solo (elevado K_{oc}), não ficando disponível na solução para ser transportado. Outro fator que pode ter contribuído foi a menor meia vida de fipronil em água, devido a sua degradação por fotólise, hidrólise e microorganismos (CONNELLY, 2001). Dados da literatura reportam que não foram encontrados resíduos de fipronil em água de lavouras que iniciaram a irrigação de 4 a 6 semanas após a data de semeadura (MEDE, 1997).

Tabela 5. Concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil, com respectivos intervalos de confiança (95%), na água transportada por meio do extravasamento para fora da lavoura de arroz manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente nos 16 eventos de chuva que ocasionaram extravasamento de água dos 27 eventos ocorridos durante o período do experimento. Santa Maria, RS. 2009.

DAE ¹	Imazethapyr ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Imazapic ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Fipronil ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
	Contínuo ²	Intermitente ³	Contínuo	Intermitente	Contínuo	Intermitente
21	12,868 ($\pm 3,249$)	-	5,342 ($\pm 1,120$)	-	9,341 ($\pm 1,974$)	-
37	0,054 ($\pm 0,049$)	-	0,064 ($\pm 0,085$)	-	nd	-
40	0,047 ($\pm 0,029$)	0,059 ($\pm 0,057$)	0,070 ($\pm 0,045$)	0,158 ($\pm 0,088$)	nd	nd
41	0,108 ($\pm 0,064$)	0,042 ($\pm 0,015$)	0,148 ($\pm 0,094$)	0,149 ($\pm 0,036$)	nd	nd
44	0,047 ($\pm 0,049$)	0,035 ($\pm 0,012$)	0,073 ($\pm 0,070$)	0,126 ($\pm 0,024$)	nd	nd
52	0,018 ($\pm 0,014$)	-	0,022 ($\pm 0,020$)	-	nd	-
55	nd	0,031 ($\pm 0,01$)	nd	0,114 ($\pm 0,019$)	nd	nd
58	0,019 ($\pm 0,005$)	-	0,050 ($\pm 0,007$)	-	nd	-
60	0,018 ($\pm 0,009$)	0,028 ($\pm 0,009$)	0,078 ($\pm 0,015$)	0,102 ($\pm 0,015$)	0,002 ($\pm 0,001$)	0,002 ($\pm 0,001$)
70	0,010 ($\pm 0,014$)	-	0,040 ($\pm 0,055$)	-	nd	-
84	nd	-	nd	-	nd	-
101	nd	0,010 ($\pm 0,005$)	nd	0,045 ($\pm 0,006$)	nd	nd
102	nd	nd	nd	nd	nd	nd
103	nd	nd	nd	nd	nd	nd
104	nd	nd	nd	nd	nd	nd
106	nd	-	nd	-	nd	-
Média	1,466	0,034	0,654	0,116	4,671	0,002

¹ Dias após a emergência das plantas.

² Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

³ A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

Tabela 6. Massa total dos ingredientes ativos dos agrotóxicos transportados para o ambiente por meio da água extravasada da lavoura de arroz e percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura de arroz irrigado manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Sistema de irrigação	Imazethapyr	Imazapic	Fipronil	Média
	-----Massa total dos ingredientes ativos transportados (g ha ⁻¹)-----			
Contínuo ¹	2,1484 ³	1,1008	1,4305	1,5578 *
Intermitente ²	0,0645	0,2146	0,0002	0,0930
Diferença	2,0839	0,8862	1,4303	1,4648
Média	1,1064 ^{ns}	0,6577	0,7154	
	Percentagem transportada em relação ao total aplicado na lavoura ⁴			
Contínuo	2,8646	4,3906	3,1790	3,4780 *
Intermitente	0,0860	0,8584	0,0004	0,3149
Diferença	2,7786	3,5322	3,1786	3,1631
Média	1,4753 b ⁵	2,6245 a	1,5897 b	

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

³ Para a análise, os dados foram transformados para $yt = \sqrt{y}$.

⁴ Para a análise, os dados foram transformados para $yt = \arccos \sqrt{(y + 0,5)/100}$.

⁵ Média não ligada por mesma letra na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

* Diferença significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F ($P \leq 0,05$).

^{ns} Diferença não significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F ($P \leq 0,05$).

Tabela 7. Correlação entre algumas propriedades físico químicas dos agrotóxicos (peso molecular, solubilidade em água, K_{ow}, K_{oc}, DT₅₀ em água e DT₅₀ em solo) e a massa de agrotóxico transportada para fora da lavoura durante o ciclo do arroz irrigado no sistema de irrigação contínuo. Santa Maria, RS. 2008.

	Massa de agrotóxico transportada	
	Coefficiente de correlação de Pearson ¹	Valor de P
Peso molecular ² (g mol ⁻¹)	-0,666	0,009
Solubilidade em água ² (mg L ⁻¹)	0,546	0,033
K _{ow} ²	-0,688	0,006
K _{oc} ² (mL g ⁻¹)	-0,728	0,003
DT ₅₀ em água ³ (dias)	0,535	0,035
DT ₅₀ em solo ² (dias)	0,739	0,003

¹ Correlação das propriedades físico química de todos os agrotóxicos avaliados com suas respectivas massa extravasada durante o ciclo do arroz irrigado. Coeficientes positivos e com valores de $P \leq 0,05$ há uma tendência de aumento do extravasamento de agrotóxicos com o aumento do valor da propriedade do agrotóxico. Coeficientes negativos e com valores de $P \leq 0,05$ há uma tendência de diminuição da massa ou percentual de agrotóxico extravasada com o aumento do valor da propriedade do agrotóxico. Para correlação de Pearson com valores de $P > 0,05$ não há relação significativa entre a característica do agrotóxico e a massa extravasada.

² Dados de literatura, conforme Tabela 2. Para os valores de DT₅₀ em solo foram utilizados os valores máximos da tabela.

³ Resultados da análise de agrotóxico na água desse experimento, demonstrados na Tabela 4.

Conclusão

Quando comparada com a irrigação contínua, a irrigação intermitente proporciona economia de 32% do volume de água aplicada, devido ao maior volume de água da chuva armazenada, e consequentemente proporciona redução de 40% no volume de água escoada superficialmente e menor contaminação ambiental.

A irrigação intermitente permite redução de mais de 90% na massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura.

A correlação é positiva entre as propriedades solubilidade em água, DT_{50} em água e em solo e massa do agrotóxico transportada. Já as propriedades peso molecular, K_{ow} e K_{oc} , a correlação é negativa.

CONCLUSÕES GERAIS

A irrigação intermitente proporciona produtividade de grãos semelhante à irrigação contínua. Além disso, proporciona economia de 32% do volume de água aplicado, resultando em uma maior eficiência do uso de água do que a irrigação contínua. Essa economia é ocasionada devido ao maior volume de água da chuva armazenada. Dessa forma, a irrigação intermitente também proporciona redução de 40% no volume de água escoada superficialmente e menor contaminação ambiental, aproximadamente uma redução em mais de 90% na massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura.

Concentrações detectáveis de agrotóxicos são observadas até 101 DAE (85 DAI), entretanto somente o primeiro evento (21 DAE ou 5 DAI) de extravasamento na irrigação contínua ocasionou perdas com concentrações acima de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ de agrotóxicos, necessitando assim adotar práticas que impeçam que a água saia da lavoura em momentos próximos a data de aplicação.

A intermitência da lâmina de água não afeta o controle de plantas daninhas se for utilizado herbicidas com propriedades residuais no solo e a primeira reposição da irrigação for feita quando as plantas de arroz já estiverem com o dossel vegetativo bem desenvolvido, sombreando parcialmente as entrelinhas. Da mesma forma, o ciclo da cultivar IRGA 422 CL não é influenciado pelo sistema de irrigação intermitente.

A correlação é positiva entre as propriedades solubilidade em água, DT_{50} em água e em solo e massa do agrotóxico transportada, ou seja, há uma tendência em aumentar a massa do agrotóxico extravasada com o aumento do valor de alguma dessas propriedades. Já as propriedades peso molecular, K_{ow} e K_{oc} , a correlação é negativa, ou seja, há tendência em diminuir a massa de agrotóxicos extravasados se aumentarem o valor dessas propriedades.

REFERÊNCIAS

- AVILA, L. A. et al. Effect of flood timing on red rice (*Oryza* spp.) control with imazethapyr applied at different dry-seeded rice growth stages. **Weed Technology**, Champaign, v. 19, n. 2, p. 476-480, May, 2005.
- AVILA, L. A. **Imazethapyr: red rice control and resistance, and environmental fate**. 2005. 81 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Texas A & M University. Texas.
- AYENI, A. O.; MAJEK, B. A.; HAMMERSTEDT, J. Rainfall influence on imazethapyr bioactivity in New Jersey. **Weed Science**, Champaign, v. 46, n. 5, p. 581-586, Sept./Oct. 1998.
- BARIZON, R. R. M. **Sorção e transporte de pesticidas sob condições de não-equilíbrio**. 2004. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, jan./abr. 2005.
- BELDER, P. et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 193-210, Mar. 2004.
- BELTRAME, L. S.; LOUZADA, J. A. Water use rationalization in rice irrigation by flooding. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON EFFICIENT WATER USE, 1.; 1991, Cidade do México. **Anais...** Cidade do México: IWRA, 1991. p. 337-345.
- BHUIYAN, S. I.; CASTAÑEDA, A. R. The impact of ricefield pesticides on the quality of freshwater resources. In: PINGALI, P. L.; ROGER, P. A. (Org). **Impact of pesticides on farmer health and the rice environment**. Massachusetts : International Rice Research Institute, 1995. p. 181-202.
- BORRELL, A.; GARSIDE, A.; FUKAI, S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 231-248, Jun. 1997.

BOUMAN, B. A. M.; CASTAÑEDA, A. R.; BHUIYAN, S. I. Nitrate and pesticide contamination of groundwater under rice-based cropping systems: past and current evidence from the Philippines. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, New York, v. 92, n. 2-3, p. 185-199, Nov. 2002.

CAMARGO, E. R. et al. Influência da aplicação de nitrogênio e fungicida no estágio de emborrachamento sobre o desempenho agrônômico do arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 153-159, jan./abr. 2008.

CEREJEIRA, M. J.; VIANA, P.; BATISTA, S. Pesticide in Portuguese surface and ground waters. **Water Research**, New York, v. 37, n. 5, p. 1055-1063, Mar. 2003.

CONNOLLY, P. **Environmental fate of fipronil**. Sacramento: California Environmental Protection Agency, 2001.

CORRÊA, N. I. et al. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 50, n. 432, p. 3-8, jul./ago. 1997.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing Rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, Mar./Apr. 2000.

DESCHAMPS, F. C. et al. Resíduos de agroquímicos em águas de áreas de arroz irrigado, em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Balneário Camboriú: SOSBAI, 2003. p. 683-685.

FILIZOLA, H. F. et al. Monitoramento de agrotóxicos e qualidade das águas em área de agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 245-250, abr./jun. 2005.

FEPAM — Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. In: **Licenciamento** ambiental: atividade agricultura. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamentoambiental/enquadramento/p1.htm>. Acesso em: 29 jun. 2007.

GAYNOR, J. D. et al. Runoff and drainage losses of atrazine, metribuzin, and metolachlor in three water management systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, n. 1, p. 300-308, Jan./Feb. 2002.

GONÇALVES, F. F. **Estudo de métodos empregando HPLC–DAD e LC-MS/MS para determinação de resíduos de herbicidas em água e solo do cultivo de arroz irrigado**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores da qualidade da água como ferramenta em estudo de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, Pará de Minas, n. 2, v. 1, p. 1-9, 2003.

GRUTZMACHER, D. D. et al. Avaliação e monitoramento de agrotóxicos no sedimento de dois mananciais hídricos da região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. 1 CD-ROM.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 8, n. 4, p. 339-357, Apr. 1989.

HAMILTON, D.J. et al. Regulatory limits for pesticide residues in water. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v.75, n.8, p.1123-1155, Aug. 2003.

HANADA, K. Tillers. In: MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. (Org). **Science of the plant**. Tokyo: Food Agriculture Policy Research Center, 1993. p. 222-258.

HEISER, J. W. **Dissipation and carryover of imidazolinone herbicides in imidazolinone-resistance rice (Oryza sativa)**. 2007. 104 f. Thesis (Master of Science), University of Missouri - Columbia. Columbia.

HUBER, A.; BACH, M.; FREDE, H.G. Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 80, n. 3, p. 191-204, Sept. 2000.

INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 545 - 555, jul./set. 2007.

KRAEMER, A. F. **Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em áreas de arroz sob diferentes manejos de solo**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

KURZ, M. H. S. **Estudo de métodos empregando extração em fase sólida e análise por HPLC-DAD e GC-ECD para determinação de resíduos de pesticidas em águas e degradação a campo**. 2007. 161 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

LEE, D. J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, Champaign, v. 52, n. 2, p. 310-318, Mar. 2004.

MACHADO, S. L. O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 65-71, jan./fev., 2006.

MACHADO, S. L. O. et al. Lavoura arrozeira e recursos hídricos. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 97-106, 2003.

MACHADO, S. L. O. et al. Persistência de alguns herbicidas em lâmina de água de lavoura de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 2003. Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p. 775-777.

MARCHEZAN, E. et al. Rice herbicides monitoring in two brazilian rivers during the rice growing season. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 131-137, jan./mar. 2007.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JR, S. A. Persistência de herbicida imazethapyr na lâmina de água em diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005. Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. p. 560-562.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JR, S. A. Persistência de herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Balneário Camboriú: SOSBAI, 2003. p. 686-688.

MARIOT, C. H. P.; MENEZES, V.G. Controle de angiquinho no sistema clearfield em arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26., CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 18., 2008, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto: SBPCPD, 2008. 1 CD-ROM.

MASSONI, et al. Controle de arroz vermelho em arroz tolerante a imidazolinonas e o residual em genótipo de arroz não tolerante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. 1 CD-ROM.

MATSUNAKA, S. Historical review of rice herbicides in Japan. **Weed Biology and Management**, v. 1, n. 1, p. 10-14, 2001.

MEDE, K. **Fipronil**: Aquatic Field Dissipation. Rhône-Poulenc Agricultural Limited. Data Package ID No. 169043-45 DPR Document No. 52062-240 Pt.1, 1997.

MEDEIROS, R. D. et al. Manejo de água em arroz irrigado no Estado de Roraima. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v. 48, n. 420, p. 12-14, mar./abr. 1995.

MEROTTO JR., A.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Absorção e translocação de herbicidas. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. (Org). **Herbicidologia**. Porto Alegre: R. A. Vidal ; A. Merotto Jr., 2001. p. 6-14.

NOLDIN, J. A. et al. Estratégia de coleta de amostras de água para monitoramento do impacto ambiental de cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., 2001, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 760-762.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances In Agronomy**, San Diego, v. 24, p. 29-96, 1972.

PRIMEL, E. G. et al. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 605-609, jul. / ago. 2005.

RAVETON, M. et al. Soil distribution of fipronil and its metabolites originating from a seed-coated formulation. **Chemosphere**, Oxford, v. 69, n. 7, p. 1124-1129, Oct. 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 85-96, 2003.

RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. **Considerações sobre os impactos ambientais da agricultura irrigada**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

ROGER, P. A.; BHUIYAN, S. I. Behavior of pesticides in rice-based agrosystems: a review. In: PINGALI, P. L.; ROGER, P. A. (Org). **Impact of pesticides on farmer health and the rice environment**. Massachusetts: International Rice Research Institute, 1995. p. 111-148.

SANTOS, A. B. et al. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 565-573, abr. 1999.

SANTOS, F. M. et al. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 405-412, 2007.

SANTOS, F. M. et al. Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 875-881, 2008.

SELBORNE, L. **A ética do uso da água doce**: um levantamento. Brasília, DF: UNESCO, 2001.

SENSEMAN, S.A. (Ed.). **Herbicide handbook**. 9th ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007.

SHI, Q. et al. Effects of different water management practices on rice growth. In: BOUMAN, B. A. M et al. **Water-wise rice production**. Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production. Los Bãnos (Philippines): International Rice Institute, 2002. p. 3-13.

SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; JR. OLIVEIRA, R. S. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Org). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora da UFV, 2007. p. 189-243.

SILVA, L. S. et al. Avaliação de métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo para arroz em solos de Várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 207-216, jan./fev. 2008.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado:** Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado; Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 5., Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 27. Pelotas: SOSBAI, 2007.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA, 1996.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

STONE, L. F. et al. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 323-337, mar. 1990.

TABBAL, D. F. et al. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 93-112, Jul. 2002.

TOESCHER, C. F. **Produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação**. 1991. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

TOESCHER, C. F.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 4, n. 1, p. 75-79, 1997.

TUONG, T. P.; BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 117-122, Mar. 1999.

VILLA, S. C. C. et al. 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, jul. / set. 2006.

WATANABE, H. et al. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, n. 1-3, p.132-140, Mar. 2007.

WATANABE, H.; KAKEGAWA, Y.; VU, S. H. Evaluation of the management practise for controlling herbicide runoff from paddy fields using intermittenr and spillover-irrigation schemes. **Paddy Water Environmental**, Tokyo, n. 4, p. 21-28, Feb. 2006.

WAUCHOPE, R. D. The pesticide content of suface water draining from agricultural fields - a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, n. 7, p. 459-472, 1978.

WILLIAMS, B. J. et al. Weed management systems for Clearfield rice. **Louisiana Agriculture**, Baton Rouge, v.45, n.3, p.16-17, Jul./Sept. 2002.

ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed science**. San Diego: Academic Press, 1999.