



Artigos Científicos Imidazolinonas



Sumário

Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado

Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sobre azevém (*lolium multiflorum* lam.) cultivado em sucessão ao arroz tolerante

Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado

Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas

Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas

CONTROLE QUÍMICO DE ARROZ-VERMELHO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO¹

Red Rice Chemical Control in Irrigated Rice

SANTOS, F.M.², MARCHESAN, E.³, MACHADO, S.L.O.⁴, VILLA, S.C.C.², AVILA, L.A.⁵
e MASSONI, P.F.S.⁶

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 controle do arroz-vermelho: uma usando o Sistema Clearfield e outra utilizando doses elevadas de clomazone em sementes tratadas com protetor para supressão de arroz-vermelho. Os tratamentos constituíram-se de uma testemunha, sem aplicação de herbicida, três referentes à aplicação da mistura formulada (75 g i.a. ha L⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha L⁻¹ de imazapic) e outros três referentes à aplicação do herbicida clomazone. O tratamento mais eficiente no controle de arroz-vermelho foi a aplicação da mistura formulada de imazethapyr + imazapic 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 alto rendimento de grãos do arroz irrigado.

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

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

Keywords: Clearfield System, imazethapyr + imazapic, clomazone, *Oryza sativa*.

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 (Marchesan et al., 2004). Pesquisas

¹ Recebido para publicação em 3.7.2006 e na forma revisada em 17.4.2007.

² Eng^a-Agr^a, Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-210, Dep. de Fitotecnia, prédio 44, sala 5335, Santa Maria-RS <fernandoagro@mail.ufsm.br>; ³ Eng^a-Agr^a, Dr., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM, <emarch@ccr.ufsm.br>; ⁴ Eng^a-Agr^a, Dr., Prof. do Dep. de Defesa Fitossanitária da UFSM; ⁵ Eng^a-Agr^a, Ph.D., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM; ⁶ Acadêmico do curso de Agronomia da UFSM, bolsista CNPq.



anteriores mostram, ainda, que cada panícula de arroz-vermelho por metro quadrado 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 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 dessa planta (Noldin et al., 1999). Nesse contexto, buscaram-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, independentemente da textura do solo, preconiza-se a aplicação fracionada do imazethapyr, na dose de 70 g i.a. ha⁻¹, em pré-plantio incorporado (PPI) ou pré-emergência (PRÉ), seguida da mesma dose em pós-emergência (PÓS), com o arroz no estágio de três a cinco folhas (Ottis et al., 2003). No Brasil, o Sistema Clearfield constitui-se na aplicação da mistura formulada de 75 g i.a. ha L⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha L⁻¹ de imazapic, marca comercial Only, em arroz tolerante, sendo recomendada a dose de 1,0 L ha⁻¹ do produto comercial, aplicado em PÓS.

Outra alternativa apresentada como útil consiste na supressão de arroz-vermelho com a utilização do herbicida clomazone, marca comercial Gamit. Zhang et al. (2004), pesquisando a tolerância de cultivares de arroz à aplicação de clomazone, verificaram que o herbicida pode injuriar alguns cultivares, resultando em redução da estatura de plantas e diminuição do rendimento de grãos da lavoura. Em razão disso, utilizam-se sementes tratadas com protetor, agente químico que reduz a fitotoxicidade de herbicidas nas culturas, por meio 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 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone em PRÉ, em sementes tratadas com o protetor Permit (dietholate 500 g kg⁻¹) na dose de 1,0 kg do produto para cada 100 kg de sementes.

A busca de alternativas para 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 disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de controle de arroz-vermelho proporcionada pelo Sistema Clearfield e pela supressão dele com utilização de clomazone em sementes tratadas com protetor.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado 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 = 0,14 cmol_c dm⁻³; M.O. = 12 g kg⁻¹; Ca = 2,5 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,3 cmol_c dm⁻³; Al = 1,4 cmol_c dm⁻³; e argila = 170 g kg⁻¹.

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 a área útil para estimativa da produtividade de grãos foi de 4,0 x 1,7 m (6,8 m²).

Para homogeneizar o banco de sementes de arroz-vermelho, foram incorporados ao solo 125 kg ha⁻¹ de sementes, obtendo-se densidade média de 219 plantas desse arroz por metro quadrado. O cultivar IRGA 422 CL foi semeado em linhas espaçadas de 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; 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 controle do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

A aplicação dos herbicidas em PRÉ foi realizada aos 2 DAS, utilizando o pulverizador costal pressurizado com CO₂, munido de quatro pontas 11002 do tipo leque e calibrado para um volume de pulverização de 125 L ha⁻¹. A aplicação em PÓS 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. Na aplicação em PÓS foi utilizado o mesmo pulverizador referido, com volume de pulverização 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 PÓS, com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm de espessura.

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

A avaliação de toxicidade às plantas de arroz foi realizada aos 5, 12, 19, 26, 33, 40, 47 e 77 DAE, e a do controle de arroz-vermelho, na pré-colheita; os valores foram estimados visualmente, usando uma escala de 0 a 100%, em que 0% corresponde à ausência de fitotoxicidade ou não-controle de arroz-vermelho e 100%, à 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 e o número de panículas por planta e foram coletadas 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%. Esse material foi

submetido a 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, retiraram-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 de Tukey (Pd_≤0,05). Os dados de controle de arroz-vermelho foram alterados em $y_t = \arccos(\sqrt{(y + 0,5)/100})$. Os demais dados em porcentagem foram transformados para $y_t = \sqrt{y + 1}$.

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 da mistura formulada de 52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em pré-emergência, seguido da mesma dose em pós-emergência, demonstrando que o tratamento constitui-se em uma alternativa eficiente de controle da planta daninha. A aplicação fracionada de imazethapyr como melhor tratamento para 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 PRÉ e outra em PÓS. Em contrapartida, o uso de alta dose da mistura formulada de imazethapyr + imazapic, dependendo das condições edafoclimáticas e do manejo da lavoura, pode potencializar problemas de resíduos do herbicida no solo, resultando em prejuízos para o arroz semeado no ano seguinte, caso o produtor opte por um cultivar não-tolerante, ou para o desenvolvimento de outras culturas, 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 seja 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. Para cultivo de arroz não-tolerante, preconiza-se que seja semeado a partir do 18^o mês após a aplicação de imazethapyr (Williams et al., 2002).

Na dose recomendada da mistura formulada de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em pós-emergência, 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 PRÉ deve ser complementada por outra aplicação em PÓS. 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 que não recebeu aplicação de herbicida em PRÉ (Tabela 1). Esses tratamentos não diferenciaram da utilização da mistura formulada de 52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em pré-emergência, que apresentou estande com mais de 300 plantas m⁻², demonstrando que a aplicação parcelada não promove redução no estande de plantas. Contudo, o aumento da dose da mistura formulada para 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic, em pré-emergência, ocasiona redução de 35% no estande, em relação à testemunha. A população de plantas foi influenciada, também, pelas doses do herbicida clomazone e pela utilização ou não de Permit nas sementes. A aplicação de 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone, 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 toxicidade ao arroz irrigado, avaliada aos 5 DAE (Figura 1). Observa-se, assim, a

necessidade do uso de protetor de sementes quando da aplicação de altas doses de clomazone (Hatzios & Burgos, 2004).

Além do efeito no estande, a toxicidade afetou o número de colmos por planta, aos 25 DAE. Nesta data, os tratamentos com redução no número de colmos, aplicação de 3.000 g i.a. ha⁻¹ de clomazone com Permit e 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone sem protetor, foram os que causaram maior intoxicação às plantas (Figura 1). Em contrapartida, na avaliação realizada aos 37 DAE, a utilização de 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone 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 toxicidade nas plantas restantes. Yoshida (1981) afirma que as plantas de arroz podem compensar o menor estande por meio da emissão de 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 tem maior capacidade de perfilhamento que as plantas de arroz (Diarra et al., 1985), competindo por espaço físico com o arroz cultivado (Marchesan, 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 da mistura formulada de imazethapyr + imazapic em PRÉ e clomazone com utilização de Permit nas sementes. Quanto aos tratamentos com a mistura formulada de imazethapyr + imazapic, observou-se diferença de 9 cm na estatura de plantas entre a utilização de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PRÉ e a aplicação de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS, tratamentos estes que apresentaram, respectivamente, maior e menor estatura. Essa diferença pode ser atribuída à maior fitotoxicidade da aplicação de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS, 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

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 (EP), 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 da mistura formulada de imazethapyr + imazapic, utilizada no cultivar IRGA 422 CL, e à aplicação de doses altas do herbicida clomazone em sementes tratadas com Permit®. Santa Maria-RS, 2005

Tratamento	Doses g i.a. ha ⁻¹		CAV (%) ^{1,2}	EP (m ²)	Colmos por planta			EP (cm)	NP (m ⁻²)	NEP	MMG (g)	EE (%) ³	PG (kg ha ⁻¹)	GI (%) ⁴
	PRÉ ¹	POS ²			25 DAE ⁵	37 DAE ⁵	49 DAE ⁵							
Testemunha	0	0	0 f ²	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
Imazethapyr+ Imazapic	52,5+17,5	52,5+17,5	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
Imazethapyr+ Imazapic	75+25	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
Imazethapyr+ Imazapic	0	75+25	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
Clomazone c/ Permit ²	1500	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
Clomazone c/ Permit	3000	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 e	57 b
Clomazone s/ Permit	1500	0	- ²	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 V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ³ 0,0-dietil-0-fenil fosforotioato (500 g i.a. kg⁻¹); ⁴ Controle de arroz-vermelho foi avaliado visualmente em porcentagem, em que 0 corresponde à ausência de controle e 100, ao controle total; ⁵ Para análise, os dados foram transformados em $y_1 = \arcsin \sqrt{(y+0,5)/100}$; ⁶ Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P<0,05); ⁷ Tratamento não avaliado em razão do grande desenvolvimento das plantas de arroz-vermelho, devido ao baixo estande de plantas; ⁸ Dias após a emergência do arroz; ⁹ Para análise, os dados foram transformados e m $y_1 = \sqrt{y+1}$, (dados apresentados são valores não-transformados).

imidazolinonas. De todos os tratamentos, as menores estaturas de plantas foram obtidas na aplicação de 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone 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 clomazone (Figura 1).

A avaliação dos componentes da produção de grãos demonstrou que o número de panículas por metro quadrado esteve diretamente relacionado ao estande de plantas. Os tratamentos com maior número de panículas foram a aplicação da mistura formulada de 52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PRÉ, seguida da mesma dose em PÓS, e utilização da mistura formulada de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS, que obtiveram também as maiores populações de plantas. Essa relação entre estande e número de panículas só não foi observada na testemunha, na qual a competição por espaço físico com o arroz-vermelho prejudicou o desenvolvimento do arroz. Balbinot Jr. et al. (2003) também mencionam a relação entre o controle da planta daninha e o número

de panículas por metro quadrado, 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 por metro quadrado.

Para número de espiguetas por panícula, observa-se que a aplicação dos tratamentos em PRÉ, tanto para a mistura formulada de imazethapyr + imazapic quanto para clomazone, não teve efeito na variável. Já a aplicação da dose recomendada da mistura formulada, 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS, 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. Nesse contexto, os tratamentos com a mistura formulada



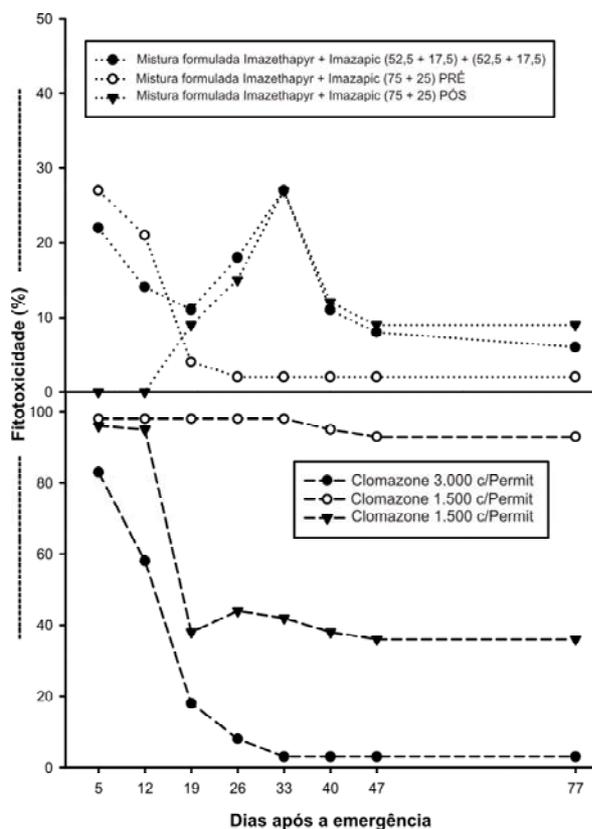


Figura 1 - Fitotoxicidade dos tratamentos para controle de arroz-vermelho sobre o cultivar IRGA-422CL. Legenda: PRÉ = aplicação em pré-emergência; PÓS = aplicação em pós-emergência, [mistura formulada de imazethapyr+imazapic (52,5+17,5) + (52,5+17,5)] = mistura formulada de (52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PRÉ) + (52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS); [mistura formulada imazethapyr+imazapic (75+25) PRÉ] = mistura formulada de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PRÉ; [mistura formulada imazethapyr+imazapic (75+25) PÓS] = mistura formulada de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS; (Clomazone 1.500 c/ Permit) = 1.500 g ha⁻¹ de clomazone em PRÉ com Permit; (Clomazone 1.500 s/ Permit) = 1.500 g ha⁻¹ de clomazone em PRÉ sem Permit; (Clomazone 3.000 c/ Permit) = 3.000 g ha⁻¹ de clomazone em PRÉ com Permit; As barras verticais representam 95% de intervalo de confiança. Santa Maria-RS, 2005.

de imazethapyr + imazapic apresentaram maior quantidade de grãos inteiros, por terem obtido maior grau de controle de arroz-vermelho. Já os tratamentos com clomazone ocasionaram o dobro de espiguetas estéreis em relação às aplicações da mistura formulada, fator fundamental para a menor produtividade

de grãos encontrada naqueles tratamentos. Quanto à massa de mil grãos, a testemunha e a utilização de 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone sem Permit – tratamentos com maior infestação de arroz-vermelho – apresentaram também menor massa. O aumento na esterilidade de espiguetas e 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 da mistura formulada de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PRÉ, tratamento que resultou em 8.411 kg ha⁻¹, apesar da redução do estande e do número de panículas por metro quadrado, decorrentes da aplicação do herbicida. A utilização fracionada da mistura formulada de imazethapyr + imazapic produziu 7.868 kg ha⁻¹, não diferindo significativamente do maior rendimento. Já a aplicação da mistura formulada somente em PÓS, na dose de 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic, apresentou menor rendimento em relação à aplicação da mesma dose somente em PRÉ, 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 no rendimento do arroz com o acréscimo das taxas de imazethapyr em PÓS de 52 para 70 g i.a. ha⁻¹.

A produtividade de grãos foi menor nos tratamentos com clomazone, em comparação à utilização da mistura formulada de imazethapyr + imazapic. Entre as aplicações de clomazone, 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 por metro quadrado 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 clomazone, em comparação com a utilização da mistura formulada de imazethapyr + imazapic (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 toxicidade às plantas de arroz, os tratamentos com o herbicida clomazone apresentaram menor controle da planta daninha. Quanto à aplicação de clomazone, o tratamento sem a utilização de Permit apresentou a maior fitotoxicidade, aos 77 DAE. Nessa avaliação, houve diferença ainda entre as doses utilizadas em PRÉ; a aplicação de 1.500 g i.a. ha⁻¹ de clomazone com Permit obteve menor fitotoxicidade que a aplicação do dobro dessa dose. A recuperação da toxicidade das plantas, em ambas as doses, ocorreu aos 19 DAE.

Em relação à fitotoxicidade da mistura formulada de imazethapyr + imazapic, ela 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 Malefy & Quakenbush (1991), o metabolismo parece ser um fator importante na tolerância do arroz a imidazolinonas e a temperatura influencia a 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, menor injúria foi encontrada no período de temperaturas mais altas.

No que se refere aos tratamentos com a mistura formulada de imazethapyr + imazapic, as doses de 52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic, em PRÉ, proporcionaram maior toxicidade às plantas aos 5 DAE, alcançando a recuperação aos 19 DAE. Já para as aplicações em PÓS, nas doses de 52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic e 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic, 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). Esses resultados evidenciam que, a partir da maior toxicidade, a recuperação

mais rápida da planta se dá nas aplicações em PÓS, possivelmente em razão de a planta estar em estágio de maior desenvolvimento, tornando seu metabolismo mais eficiente na desintoxicação do herbicida.

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

Os resultados evidenciam que, para controle do arroz-vermelho na lavoura de arroz irrigado, a utilização do Sistema Clearfield é mais eficiente que a aplicação de clomazone e uso de protetor de sementes. A aplicação da mistura formulada de 52,5 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 17,5 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PRÉ, seguida da mesma dose em PÓS, apresentou controle de 100% da planta daninha, não prejudicou o estande de plantas e não se diferenciou da maior produtividade de grãos obtida no ensaio. Quanto ao tratamento-referência do produto, 75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic em PÓS, observa-se que não houve controle total do arroz-vermelho, possibilitando escape da planta daninha.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro advindo da concessão de bolsas de mestrado, pesquisa e iniciação científica a Santos, Marchesan e Massoni, respectivamente, e à Universidade Federal de Santa Maria, pela viabilização das pesquisas realizadas.



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., et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesq. Agropec. Bras.**, 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 Sci.**, 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 Sci.**, v. 33, n. 3, p. 310-314, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: 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 Technol.**, v. 17, n. 3, p. 627-645, 2003.

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

HATZIOS, K. K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Sci.**, 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'CONNOR, S. L. (Eds.) **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 104-127.

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

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

MASSON, J. A.; WEBSTER, E. P. Use of imazethapyr in water-seeded imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technol.**, v. 15, p. 103-106, 2001.

NOLDIN, J. A.; CHANDLER, J. M.; MCCAULEY, G. N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technol.**, 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 Technol.**, v. 17, n. 3 p. 526-533, 2003.

SOUZA, P. R.; FISCHER, M. M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lav.Arrozeira**, v. 39, n. 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 Technol.**, v. 16, n. 3, p. 627-630, 2002.

STEELE, G. L. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. **Proc. South. Weed Sci. Soc.**, 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 Sci. Soc.**, v. 52, p. 237, 1999.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 269 p. 1981.

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

ZHANG, W. Differential tolerance of rice (*Oryza sativa*) varieties to clomazone. **Weed Technol.**, v. 18, p. 73-76, 2004.

Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sobre azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivado em sucessão ao arroz tolerante

Carryover of the formulated mixture of the herbicides imazethapyr and imazapic in lowland soils, affecting ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)

Mara Grohs^I Fernando Machado dos Santos^{II} Enio Marchezan^{III*}
Paulo Fabrício Sachet Massoni^I Diego Rost Arosemena^I
Luis Antônio de Avila^{III}

- NOTA -

RESUMO

Herbicidas do grupo das imidazolinonas, como imazethapyr e imazapic, podem persistir no solo e afetar culturas não-tolerantes cultivadas em sucessão. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito residual da mistura formulada de imazethapyr+imazapic sobre azevém semeado e conduzido sob condições de casa de vegetação. Para isso, inicialmente foi conduzido um experimento em campo, em que aplicou-se sobre a cultivar tolerante de arroz ("IRGA 422 CL") diferentes doses da mistura formulada de imazethapyr+imazapic, representadas por: 0L ha⁻¹ (testemunha); 0,7L ha⁻¹ em pré-emergência (PRE) seguido da aplicação de 0,7L ha⁻¹ em pós-emergência (POS); 1,0L ha⁻¹ em PRE; e 1,0L ha⁻¹ em POS. Posteriormente, aos 194 dias após a aplicação das doses, foram coletadas amostras intactas de solo na camada de 0-10cm, as quais foram utilizadas na condução de um bioensaio com azevém. Foram avaliadas a porcentagem de plantas emergidas aos três e 22 DAE (dias após a emergência) e a matéria seca do azevém aos 40 DAE. Verificou-se que a aplicação dos herbicidas na cultura do arroz no verão não ocasiona danos ao azevém semeado 194 dias após a aplicação do produto.

Palavras-chave: bioensaio, atividade residual, imidazolinonas, arroz vermelho.

ABSTRACT

Imidazolinone herbicides, such as imazethapyr and imazapic, may persist in the soil and carryover to non-tolerant crops. This work aimed at evaluating the field carryover of the formulated mixture of imazethapyr+imazapic affecting ryegrass. For this reason, a field experiment was carried out, in which

different rates of the formulated mixture of imazethapyr and imazapic were applied on a tolerant rice cultivar ('IRGA 422 CL'): 0L ha⁻¹ (check plot); 0.7L ha⁻¹ preemergence (PRE) followed by 0.7L ha⁻¹ postemergence (POS); 1.0L ha⁻¹ PRE; 1.0L ha⁻¹ POS. Later, 194 days after herbicide application, intact soils cores samples were collected at 0 to 10cm depth to carry out a bioassay in greenhouse, sowing ryegrass. It was evaluated the percentage of plants established at three and 22 DAE (days after emergence) and ryegrass dry biomass at 40 DAE. The results showed that herbicides applied on rice crop during summer does not cause damage to the ryegrass sowed 194 days after herbicide application.

Key words: bioassay, carryover, imidazolinones, red rice.

O arroz vermelho é um dos fatores mais restritivos à elevação da produtividade da lavoura orizícola no Rio Grande do Sul. A dificuldade de controle químico dessa planta daninha deve-se a semelhanças fisiológicas e bioquímicas entre o arroz vermelho e o arroz cultivado. O Sistema Clearfield® possibilita o controle químico do arroz vermelho em lavouras de arroz cultivado, por meio do uso de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas em cultivares de arroz tolerantes (CROUGHAN, 1994).

Uma das principais características dos herbicidas desse grupo é a prolongada atividade residual no solo (LOUX et al., 1989; LOUX & REESE, 1993), que pode variar de 31 a 410 dias para imazapic

^ICurso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

^{II}Programa de Pós-graduação do Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

^{III}Departamento de Fitotecnia, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: emarchezan@terra.com.br. *Autor para correspondência.

(GRYMES, 1995), de 60 a 360 dias para imazethapyr (GOETZ, 1990; MANGELS, 1991) e de até 436 dias para imazapyr (COX, 1996). Sua permanência no solo depende substancialmente de fatores como pH, matéria orgânica, textura, umidade do solo (LOUX & REESE, 1993), mineralogia, retenção de água pelo solo (GOETZ et al., 1986) e atividade dos microorganismos do solo (WITT & FLINT, 1997). Assim, a presença de resíduos desses herbicidas pode afetar o desenvolvimento de culturas não-tolerantes semeadas em sucessão ou rotação ao arroz irrigado, como, por exemplo, o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), cultura implantada em áreas de várzeas do Rio Grande do Sul logo após a colheita do arroz.

Em vista do apresentado, o objetivo do presente trabalho foi determinar, por meio de bioensaio, a atividade residual da mistura formulada contendo os herbicidas imazethapyr (75g L^{-1}) e imazapic (25g L^{-1}) nas plantas de azevém semeadas 194 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas.

Para isso, foi conduzido um experimento em campo, onde aplicaram-se os tratamentos com o herbicidas sobre a cultivar tolerante ("IRGA 422 CL") e aos 194 DAA coletaram-se amostras intactas de solo, com auxílio de canos de PVC de 10cm de diâmetro na camada de 0-10cm de profundidade. Essas amostras de solo foram utilizadas para condução de um bioensaio em casa de vegetação, semeando-se azevém. Os tratamentos constaram de diferentes doses da mistura formulada de imazethapyr+imazapic contendo 75g de imazethapyr e 25g de imazapic por litro. Os tratamentos foram compostos das seguintes doses do herbicida formulado: $0,7\text{L ha}^{-1}$ em pré-emergência (PRE) seguido da aplicação de $0,7\text{L ha}^{-1}$ em pós-emergência (POS); $1,0\text{L ha}^{-1}$ em PRE; $1,0\text{L ha}^{-1}$ em POS; mais uma testemunha sem aplicação dos herbicidas. O bioensaio foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período de maio a julho de 2005, no delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco repetições, respeitando o delineamento utilizado a campo. O solo utilizado é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, pertencente à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 1999), com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{água}}(1:1)=4,6$; $\text{P}=3,7\text{mg dm}^{-3}$; $\text{K}=0,14\text{cmolc dm}^{-3}$ e $\text{M.O.}=10\text{g kg}^{-1}$.

As sementes de azevém foram semeadas manualmente, sem incorporação, utilizando 10 sementes por unidade experimental. As amostras receberam semanalmente quantidade de água adequada à emergência e ao desenvolvimento inicial das plantas de azevém. A emergência das plantas ocorreu no dia 17/05/2005. As variáveis analisadas foram: porcentagem

de plantas estabelecidas aos três e aos 22 dias após a emergência (DAE), além de fitomassa seca aos 40 DAE. Após a última contagem de plantas estabelecidas (22 DAE), foi realizado desbaste, deixando três plantas por unidade experimental para a determinação de matéria seca aos 40 DAE. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os dados de porcentagem de plantas estabelecidas foram transformados para análise pela transformação arco-seno.

Os resultados obtidos possibilitaram verificar que aos 194 DAA do produto não houve influência dos tratamentos na porcentagem de emergência do azevém, realizada aos três DAE (Tabela 1), entretanto, ocorreu menor emergência de azevém na testemunha, diferindo dos demais tratamentos. Esse resultado se deve provavelmente à desuniformidade de emergência das plântulas, que, por terem sido semeadas sem incorporação, apresentaram variações de contato semente-solo para absorção de umidade. Na segunda avaliação de emergência (22 DAE), bem como na avaliação da matéria seca, realizada aos 40 DAE, também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1).

Para o entendimento dos resultados obtidos, é fundamental a análise das condições ambientais do período. Durante a safra de arroz irrigado, o solo permaneceu, em média, 90 dias inundado, aumentando a mobilidade do herbicida e proporcionando condições para a ocorrência de fotodegradação das moléculas dos herbicidas presentes na lâmina de água, uma das principais formas de degradação das imidazolinonas em água (GOETZ, 1990; AVILA et al., 2006). Além disso, a sua percolação no perfil do solo é influenciada pela infiltração de água e controlada pelas características físico-químicas do solo (GOETZ, 1990; MANGELS, 1991). Por se tratar de solo de textura arenosa e de baixo conteúdo de matéria orgânica (10g kg^{-1}), essas condições favoreceriam a menor adsorção das moléculas dos herbicidas pelas partículas do solo, aumentando sua mobilidade (LOUX et al., 1989). Estudos indicam que herbicidas do grupo das imidazolinonas possuem pouca mobilidade horizontal (TU et al., 2004), porém verticalmente de 80 a 90% do herbicida aplicado pode se concentrar a partir dos 10cm até os 20cm do perfil do solo, podendo permanecer neste local por longos períodos (MANGELS, 1991; LOUX & REESE, 1993), pois apresenta baixa taxa de degradação em condições anaeróbicas. Nas condições do bioensaio, que teve a semeadura do azevém realizada sem prévia incorporação das sementes, criou-se uma condição na qual as plantas se desenvolveram na superfície do solo,

Tabela 1- Efeito residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr+imazapic sobre azevém, cultivado em casa de vegetação, aos 194 dias após a aplicação dos herbicidas, em amostras de solo intactas coletadas em canos de PVC de 10cm de diâmetro (0,008m²) e a 10cm de profundidade. UFSM/Santa Maria- RS, 2007.

Tratamentos ⁶	Plantas de azevém estabelecidas (%)		Matéria seca (g/pote)
	3 DAE ¹	22 DAE	40 DAE
Testemunha	30 b ⁵	40 ^{ns}	0,27 ^{ns}
0,7L do produto formulado (PF ²) ha ⁻¹ em PRE ³ + 0,7L do PF ha ⁻¹ em POS ⁴	50 ab	50	0,19
1L do PF ha ⁻¹ em PRE	60 a	60	0,24
1L do PF ha ⁻¹ em POS	40 ab	50	0,22
CV (%)	15,5	16,5	20,3
Média	45	50	0,23

¹Dias após a emergência do azevém.

²Dose referente à quantidade de produto comercial (Only[®]). Cada litro de produto formulado continha 75g de imazethapyr e 25g de imazapic;

³PRE= herbicida aplicado em pré-emergência do arroz e do arroz vermelho.

⁴POS= herbicida aplicado em pós-emergência do arroz e do arroz vermelho.

⁵Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

⁶Tratamentos aplicados na safra de verão sobre arroz tolerante às imidazolinonas.

^(ns)Médias não significativas a 5% pelo Teste F.

influenciando no volume de solo explorado pelas raízes, as quais, possivelmente, desenvolveram-se em camadas onde havia menor concentração dos herbicidas. Além disso, as amostras foram coletadas até a profundidade de 10cm, região na qual haveria menor concentração dos herbicidas.

Outro aspecto que deve ser ressaltado é a relação entre umidade do solo e disponibilidade do herbicida às plantas. A umidade do solo é um dos principais fatores que atuam na persistência dos herbicidas, pois altera a concentração e a mobilidade desses produtos no solo. Com o aumento da umidade, tem-se menor retenção da molécula do herbicida nas partículas do solo, deixando-o mais solúvel e disponível à absorção pelas raízes das plantas. O contrário ocorre em condições de solo com baixo conteúdo de umidade, condição esta apresentada no bioensaio, em que a adsorção do herbicida é maior pelas partículas do solo, ficando disponível em menor quantidade para absorção pelas plantas (ZHANG et al., 2001). Além disso, com a diminuição da umidade do solo, há um provável aumento na atividade microbiana devido à maior aeração do solo, o que contribui substancialmente na degradação das imidazolinonas, já que a ação microbiana é principal forma de degradação (GOETZ, 1990; WITT & FLINT, 1997).

Apesar de não ter sido verificado fitotoxicidade às plantas de azevém semeadas no bioensaio aos 194 DAA, nesse mesmo experimento em campo foi verificado efeito sobre o arroz não-tolerante semeadado um ano após a aplicação dos produtos, ou seja, após o bioensaio do azevém (SANTOS, 2006).

Essas diferenças nos resultados ocorreram provavelmente devido ao efeito residual do produto ser potencializado a partir da entrada da lâmina de água no arroz, pois, segundo WIK & REINHARDT (2001), o herbicida lixiviado poderia voltar à zona de absorção das raízes por meio do movimento capilar realizado pela água, injuriando assim cultivares de arroz não-tolerante.

Assim, em vista das características de solo, da mobilidade dos herbicidas e da característica de semeadura superficial do azevém, apesar de haver residual de herbicidas no solo, não houve efeito na emergência e na fitomassa seca do azevém aos 40 DAE, semeadado em sucessão ao cultivo do arroz irrigado com aplicação de herbicidas do grupo das imidazolinonas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisador para Enio Marchesan, Paulo Fabrício Sachet Massoni e Mara Grohs, e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa ao aluno de Pós-graduação Fernando Machado dos Santos.

REFERÊNCIAS

- 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.
- COX, C. Imazapyr: herbicide factsheet. **Journal of Pesticide Reform Imazapyr**, v.16, n.3, p.16-20, 1996.
- CROUGHAN, T.P. Application of tissue culture techniques to the development of herbicide resistant rice. **Louisiana Agriculture**, v.37, n.1, p.25-26, 1994.

- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro, 1999. p.412.
- GRYMES, C.F. Response of soybean (*Glycine max*) and rice (*Oryza sativa*) in rotation to AC 263222. **Weed Technology**, v.9, p.504-511, 1995.
- GOETZ, A.J. et al. Soil solution and mobility characterization of imazaquin. **Weed Science**, v.34, p.788-793, 1986.
- GOETZ, A.J. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v.38, p.421-428, 1990.
- LOUX, M.M. et al. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, p.259-267, 1989.
- 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, 1993.
- MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil: a review of the literature. In: SHANER, D.L.; O'CONNOR, S.L. **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC, 1991. p.191-209.
- SANTOS F.M. **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.
- TU et al. Imazapic. **Weed control methods handbook**. London: Academic, 2004. Cap.7, p.1-7.
- WIK, L.J.V.; RINNARDT, C.F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Technology**, v.15, p.1-6, 2001.
- WITT, W.W.; FLINT, J.F. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.45, p.586-591, 1997.
- ZHANG, W. et al. Effect of moisture on efficacy of imazethapyr in greenhouse. **Weed Technology**, v.15, p.355-359, 2001.

PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E CLOMAZONE EM LÂMINA DE ÁGUA DO ARROZ IRRIGADO¹

Imazethapyr and Clomazone Persistence in Rice Paddy Water

SANTOS, F.M.², MARCHESAN, E.³, MACHADO, S.L.O.⁴, AVILA, L.A.⁵, ZANELLA, R.⁶ e GONÇALVES, F.F.⁷

RESUMO - Os herbicidas podem persistir no solo ou ser carregados para fora da área, contaminando mananciais hídricos a jusante da lavoura. Em vista disso, o presente trabalho objetivou estimar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água de arroz irrigado. Para isso, foi realizado um ensaio com diferentes doses e épocas de aplicação da mistura formulada (75 g i.a. ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g i.a. ha⁻¹ de imazapic) e clomazone (1.500 g i.a. ha⁻¹). Para determinação dos produtos na água de irrigação, foram coletadas amostras de água a partir do primeiro dia até 62 dias após a inundação. Os resultados demonstraram que 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 de água variou conforme o tratamento, com valores entre 1,6 e 6,2 dias, e a do clomazone foi de cinco dias.

Palavras-chave: imazethapyr, clomazone, residual na água, *Oryza sativa*.

ABSTRACT - *Herbicides can persist in soil and be transported from the application site to the environment. An experiment was conducted to estimate imazethapyr and clomazone persistence in rice paddy water. The treatments included application of the formulated herbicide mixture (imazethapyr 75 g a.i. L⁻¹ + imazapic 25 g a.i. L⁻¹) and clomazone (500 g a.i. L⁻¹). Imazethapyr and clomazone concentrations in water were evaluated from the 1st to the 62nd day after flooding. The period of herbicide detection in water was longer for imazethapyr. Imazethapyr half-life in paddy water varied between 1.6 and 6.2 days and clomazone half-life was 5 days.*

Keywords: imazethapyr, clomazone, residues in water, *Oryza sativa*.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável de reservas limitadas e demanda crescente. A agricultura demanda grande volume de água, sendo responsável por 69% da extração anual (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 demandam água. No Rio Grande do Sul, são utilizados

¹ Recebido para publicação em 23.9.2007 e na forma revisada em 26.4.2008.

Parte integrante da dissertação de mestrado do primeiro autor. Pesquisa financiada pelo CNPq, CAPES, FAPERGS e UFSM.

² Eng^a-Agr^a, Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-210, Dep. de Fitotecnia, prédio 44, sala 5335, Santa Maria-RS <fernandoagro18@hotmail.com>; ³ Eng^a-Agr^a, Dr., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM, <emarch@ccr.ufsm.br>; ⁴ Eng^a-Agr^a, Dr., Prof. do Dep. de Defesa Fitossanitária da UFSM; ⁵ Eng^a-Agr^a, Ph.D., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM; ⁶ Químico, Dr., Prof. do Dep. de Química da UFSM; ⁷ Químico, doutorando em Química da UFSM.



anualmente cerca de 1 milhão de hectares para o cultivo do arroz, sendo usados em média 5.374 a 6.422 m³ de água por hectare de arroz, desconsiderando as perdas de água por condução (Machado et al., 2006). Além disso, para assegurar maior produtividade, o uso de agrotóxicos tem sido largamente adotado, ocasionando especulações acerca da responsabilidade da lavoura orizícola na contaminação dos mananciais hídricos.

A mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. L⁻¹, respectivamente) é um dos herbicidas mais utilizados na lavoura orizícola gaúcha para controle do arroz-vermelho. As duas moléculas herbicidas pertencem ao grupo químico das imidazolinonas e são caracterizadas 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 pelo pH (Loux & Reese, 1992), pela umidade (Baughman & Shaw, 1996) e pelo teor de matéria orgânica do solo (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 (Senseman, 2007).

O herbicida clomazone tem sua atividade influenciada pela matéria orgânica e textura (Loux & Slife, 1989). A meia-vida do clomazone no solo varia de 5 a 117 dias, dependendo do tipo do solo e das condições ambientais (Curran et al., 1992; Kirksey et al., 1996; Mervosh et al., 1995). Senseman (2007) relata que a persistência do clomazone é menor em solos arenosos do que em solos argilosos. A degradação do clomazone é mais rápida em condições anaeróbicas do que em condições aeróbicas (Senseman, 2007); em solo em condições aeróbicas, a meia-vida do herbicida varia de 90 a 276 dias e, em solo anaeróbico, sua meia-vida média é de 60 dias (California, 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 ser transportados para fora da área, contaminando os mananciais hídricos a jusante da lavoura. Por isso, o presente trabalho visou estimar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água da lavoura de arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em área de várzea, onde não havia histórico da aplicação de imazethapyr e clomazone para controle de plantas daninhas. O solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características: pH_{água} (1:1) = 4,5; P = 6,9 mg dm⁻³; K = 55 mg dm⁻³; MO = 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 clima é classificado como subtropical úmido, classe 'Cfa'; as temperaturas mínimas, máximas e médias, a insolação e a precipitação verificadas durante o período de ensaio encontram-se na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, contendo quatro tratamentos e cinco repetições, com unidades experimentais medindo 5 x 4 m (20 m²). Os tratamentos constituíram da aplicação da mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹) ou da aplicação de clomazone (Tabela 2). Nos tratamentos 1 a 3 foi expressa somente a concentração de imazethapyr, pois foi o único analisado na água.

O preparo do solo foi realizado no sistema convencional, consistindo em duas gradagens pesadas e três gradagens leves para nivelamento do terreno. O cultivar IRGA 422 CL foi semeado em linhas espaçadas de 0,17 m, em 28/10/2004, na densidade de 120 kg de sementes ha⁻¹; a emergência do arroz ocorreu aos 12 dias após a semeadura (DAS). Juntamente com a semeadura do arroz, foi realizada a adubação de base, aplicando-se 7, 70 e 105 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Para 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),



Tabela 1 - Temperaturas mínimas, máximas e médias, insolação e precipitação pluvial, por decêndio, ocorridas durante o período de realização do experimento. Santa Maria-RS, 2006

Mês	Decêndio	Temperatura (°C)			Insolação (h)	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	34,9	21,8	28,3	8,0	14,1
	11 – 20	33,2	19,2	26,2	10,4	35,7
	21 – 31	32,4	18,6	25,5	8,6	0,0

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

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 controle de larvas do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

A aplicação do herbicida em PRE foi efetuada aos 2 DAS, utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas 110 02 do tipo leque, calibrado para aplicar uma vazão de 125 L ha⁻¹. A aplicação em POS foi efetuada 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas do arroz cultivado se encontrava no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho se encontravam 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% v v⁻¹ 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. Cada parcela foi separada por taipas, com 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, mas a água ficou retida 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 dias após a inundação do ensaio; 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 conforme metodologia descrita por 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 desse 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 taxa de dissipação dos herbicidas na água. As constantes da taxa de dissipação dos herbicidas foram submetidas à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior persistência de imazethapyr foi observada com a aplicação de 52,5 g ha⁻¹ de herbicida em PRE, seguido da mesma dose em POS, com níveis detectáveis em água até 27 dias após o estabelecimento da lâmina de água na área (Tabela 2). 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 os 13 dias após a entrada da água – comportamento similar à aplicação somente em PRE de imazethapyr, na dose de

75 g ha⁻¹. Autores como Machado et al. (2003) encontraram persistência de 28 dias do clomazone na lâmina de água.

A concentração dos herbicidas decresceu, tanto para o imazethapyr quanto para o clomazone, em função do tempo (Figura 1A). Esse decréscimo pode ser explicado pela existência de condições climáticas favoráveis à degradação dos herbicidas, como insolação e temperatura (Tabela 1). O clomazone sofre degradação microbiana em solos úmidos e sob altas temperaturas (Colômbia, 2005). Em solo arenoso, a degradação do clomazone é mais rápida, devido à sua disponibilidade na solução do solo. Cumming & Doyle (2002), avaliando quatro tipos diferentes de solo, encontraram maior persistência do clomazone em solo com maior teor de argila. Teores menores de argila e matéria orgânica também contribuem na dissipação do imazethapyr, pois o torna mais disponível na solução do solo (Avila, 2005). Segundo esse 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 baixa sorção do herbicida ao solo (Senseman, 2007) pode ter facilitado sua lixiviação, proporcionando seu transporte para camadas mais profundas, 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 em maior quantidade 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,

Tabela 2 - Efeito do tratamento herbicida no período de detecção (PD) dos herbicidas, constante de dissipação (k) e meia-vida dos herbicidas em água (t_{1/2}), calculados a partir da entrada de água. Santa Maria-RS, 2006

Tratamento	PD		k	t _{1/2} (dias)
	DAEA ^{4/}	Total ^{3/}		
Imazethapyr (52,5 ^{1/} PRE ^{2/} + 52,5 POS ^{3/})	27	53	0,1126 b	6,2
Imazethapyr (75,0 PRE)	13	39	0,4450 a	1,6
Imazethapyr (75,0 POS)	20	20	0,1342 b	5,2
Clomazone (1500 PRE)	13	39	0,1376 b	5,0

^{1/} Dose expressa em gramas de ingrediente ativo por hectare; ^{2/} aplicação em pré-emergência; ^{3/} aplicação em pós-emergência; ^{4/} período em dias após a entrada de água; ^{5/} período total, desde a aplicação do herbicida; ^{6/} Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey (p < 0,05).

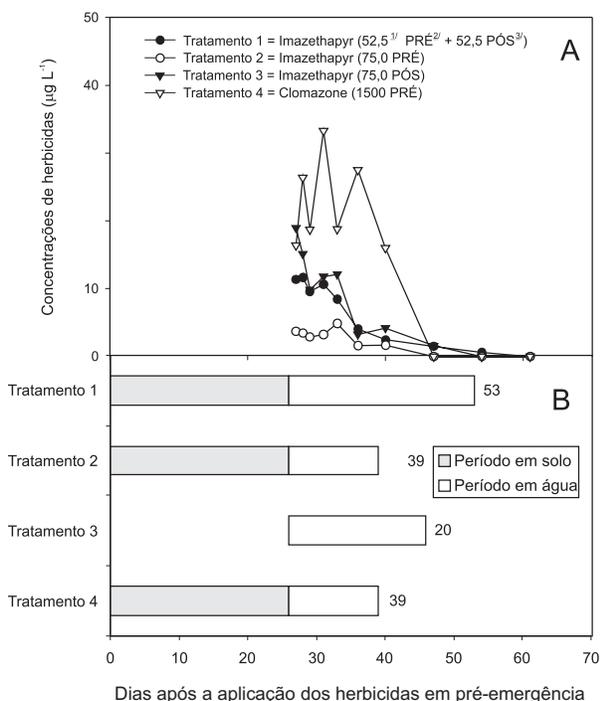


Figura 1 - A: concentração dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água do arroz irrigado do tratamento herbicida. B: período em que o tratamento herbicida ficou em água e em solo. Santa Maria-RS, 2006. ^{1/} Dose expressa em gramas de ingrediente ativo por hectare; ^{2/}PRE = herbicida aplicado em pré-emergência; ^{3/}POS = herbicida aplicado em pós-emergência.

impacto na distribuição, biodisponibilidade e persistência de herbicidas no ambiente.

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 da irrigação, pode ter acelerado as perdas do herbicida por volatilização. Thelen et al. (1988) verificaram 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 anteriormente 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 a degradação dos herbicidas, como hidrólise e degradação anaeróbica, até estes alcançarem sua concentração mínima detectável na água (Tabela 2). 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 (Califórnia, 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 elevada 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 (Senseman, 2007). 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 1). Logo, a menor meia-vida do imazethapyr na aplicação somente em POS pode ter decorrido do fato de o herbicida ter tido 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, há suposição de que, após algumas semanas de alagamento, essas reações do herbicida com o solo possam ser desfeitas, em função da elevação do pH a próximo da neutralidade (Snyder & Slaton, 2002), o que disponibilizaria aos poucos as moléculas do herbicida na lâmina d'água. Essa mudança no pH, sob inundação da área, pode ocorrer semanas após a entrada d'água, dependendo do tipo do solo, do nível da matéria orgânica, da população de



microrganismos, de temperatura e de outras propriedades químicas do solo (Snyder & Slaton, 2002).

A meia-vida do imazethapyr na lâmina d'água variou conforme o tratamento, com valores entre 1,6 e 6,2 dias, e a do clomazone foi de cinco dias. Contudo, essa meia-vida refere-se à sua dissipação em água, e em solo a meia-vida pode ser maior. Além do período de 27 e 13 dias de detecção na lâmina de água de irrigação para imazethapyr e clomazone, respectivamente, 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, totalizando um período de 53 e 39 dias, respectivamente para imazethapyr e clomazone. Nesse período, esses herbicidas podem, potencialmente, ser transportados da lavoura para fora do sistema produtivo, recomendando-se a adoção de práticas de manejo que reduzam essa possibilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro advindo da concessão de bolsas de mestrado, pesquisa e iniciação científica, e à Universidade Federal de Santa Maria, pela viabilização das pesquisas realizadas.

LITERATURA CITADA

- AVILA, L. A. **Imazethapyr**: Red rice control and resistance, and environmental fate. 2005. 81 f. Dissertation (Ph.D.) – Graduate Studies of Texas A&M University, Stanford, 2005.
- BAUGHMAN, T. A.; SHAW, D. R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Sci.**, v. 44, n. 2, p. 380-382, 1996.
- CALIFORNIA. Department of Pesticide Regulation. **Clomazone. Public Report, 2003 - 01**. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/registration/ais/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2007.
- 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, n. 4, p. 698-703, 1992.
- COLOMBIA. Ministério de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia. **Resolução nº 681, de 2 de junho de 2005**. “Por la cual se expide un dictamen técnico ambiental para el producto Saat Minuetto ® 480 EC del ingrediente activo clomazone dentro del trámite administrativo de registro”. Colombia: 2005.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Sci.**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.
- CUMMING, J. P.; DOYLE, R. B. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Sci.**, v. 50, n. 3, 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 Sci.**, v. 40, p. 482-489, 1992.
- FAO. **Faostat database results**. 2003. Disponível em: www.fao.org/faostat. Acesso em: abril de 2007.
- GBUREK, W. J.; SHARPLEY, A. N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **J. Environ. Qual.**, n. 27, p. 267-277, 1997.
- GENNARI, M.; NÉGRE, M.; VIDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and imazaquin on soils and humic acids. **J. Environ. Sci. Health**, v. 33, n. 5, p. 547-567, 1998.
- GOETZ, A.; LAVY, T.; GBUR, E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, n. 2, p. 421-428, 1990.
- KIRKSEY, K. B. et al. Clomazone dissipation in two Tennessee soils. **Weed Sci.**, v. 44, n. 4, p. 959-963, 1996.
- LOUX, M. M.; REESE, K. D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technol.**, v. 7, n. 2, p. 452-458, 1993.
- LOUX, M. M.; SLIFE, F. W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Sci.**, v. 37, n. 2, p. 259-267, 1989.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Sci.**, v. 40, n. 3, p. 490-496, 1992.
- MACHADO, S. L. O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ci. 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, Balneário Camboriú. **Anais...** Camboriú: EPAGRI, 2003, p. 92-694.



- MALLIPUDI, N. M. et al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **J. Agric. Food Chem.**, v. 39, n. 2, p. 412-417, 1991.
- MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JUNIOR, S. A. 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. **J. Agric. Food Chem.**, v. 43, p. 537-543, 1995.
- 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.
- SENSEMAN, S. A. (Ed.). **Herbicide handbook**. 9.ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.
- SHAW, D.; WIXSON, M. Post emergence combinations of imazaquin or imazethapyr with AC 263,222 for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Sci.**, v. 39, p. 644-649, 1991.
- SNYDER, C. S.; SLATON, D. N. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. **News 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 Sci.**, v. 36, n. 1, p. 67-73, 1990.
- THELEN, K. D.; KELLS, J. J.; PENNER, D. Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. **Weed Technol.**, v. 2, p. 323-326, 1988.
- 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. **J. Sep. Sci.**, v. 26, n. 9/10, p. 935-938, 2003.



DESTINO AMBIENTAL DOS HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS – REVISÃO¹

Environmental Fate of Imidazolinone Herbicides – A Review

KRAEMER, A.F.², MARCHESAN, E.³, AVILA, L.A.³, MACHADO, S.L.O.³ e GROHS, M.⁴

RESUMO - Os herbicidas do grupo das imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, sendo absorvidos pelas raízes e folhas e translocados pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. Esse grupo de herbicidas atua inibindo a enzima acetolactato sintetase (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 sua solução, podendo sofrer fotólise, hidrólise, degradação microbiana ou lixiviação. A sorção das imidazolinonas é rápida e regula os outros processos. Altos conteúdos de argila e matéria orgânica e pH menor que 6,0 em solos aumentam a sorção e a persistência das imidazolinonas no solo. Condições que favoreçam o desenvolvimento de microrganismos aumentam a degradação das imidazolinonas, por ser essa a principal via de sua degradação.

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

ABSTRACT - The herbicides of the imidazolinone group control a wide range of weed species. They are absorbed by weed roots and leaves and transported through the phloem and xylem, accumulating in the plant growing points. 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, microbial degradation or leaching. The sorption of imidazolinone is faster and affects other processes. High contents of clay, organic matter and pH lower than 6.0 contribute to enhance the sorption and persistence of imidazolinones in soil. The most important way of dissipation is by microbial degradation, thus conditions favoring microbial development will also enhance imidazolinone degradation.

Keywords: degradations, photolysis, hydrolysis, mode of action, persistence, sorption.

INTRODUÇÃO

Há evidências de que os lençóis subterâneos e corpos de água superficiais são contaminados por pesticidas utilizados na 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 solubilidade em água e alta persistência no ambiente. Nos EUA, foram encontrados 16 ingredientes ativos de herbicidas pertencentes aos grupos das

¹ Recebido para publicação em / / e na forma revisada em / / .

² Pesquisador do Inta EEA Corrientes, Argentina, <akraemer@corrientes.inta.gov.ar>; ³ Professor do Dep. de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria-RS, Brasil; ⁴ Acadêmica do Curso de Agronomia, Dep. de Fitotecnia, UFSM, Santa Maria-RS, Brasil.



sulfonilureias, sulfonamidas e imidazolinonas em amostras coletadas de águas superficiais e subterrâneas (Battaglin et al., 2000). 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 controle de plantas em ferrovias (Börjesson et al., 2004).

Além disso, existe o problema da permanência das imidazolinonas no solo em quantidade suficiente para comprometer a utilização futura da área com culturas sensíveis ao produto. 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, quando semeados em rotação com culturas onde havia sido aplicada alguma imidazolinona na safra anterior (Alister & Kogan, 2005; Marchesan et al., 2007; Pinto et al., 2007). Os danos causados nessas culturas são variáveis, dependendo das condições físicas, químicas e de manejo do solo, entre outros fatores, o que dificulta prever o comportamento das imidazolinonas no solo e água. Em vista do exposto, a presente revisão teve por objetivo contribuir com o melhor entendimento do comportamento das imidazolinonas no solo e na água.

MECANISMO DE AÇÃO

As imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo poáceas, ciperáceas e latifoliadas. Esses herbicidas são absorvidos pelas raízes e folhas das plantas, sendo transportados 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 desses aminoácidos, provocando a diminuição na síntese de proteínas e de DNA, afetando assim a divisão celular e a translocação de fotossintatos aos pontos de crescimento. Esses processos provocam redução no crescimento das plantas e no alongamento das folhas e cloroses entre as nervuras foliares (Shaner & Singh, 1993; Tan et al., 2006).

ESTRUTURA QUÍMICA

Os herbicidas integrantes do grupo das imidazolinonas são o imazapyr, imazapic, imazethapyr, imazamox, imazamethabenz e imazaquin, que contêm em suas moléculas uma estrutura em comum, o imidazol, separando-se em três subgrupos com base em uma segunda estrutura cíclica (Figura 1). O imazaquin tem um grupo quinolina (Figura 1c); o imazamethabenz, um anel benzeno

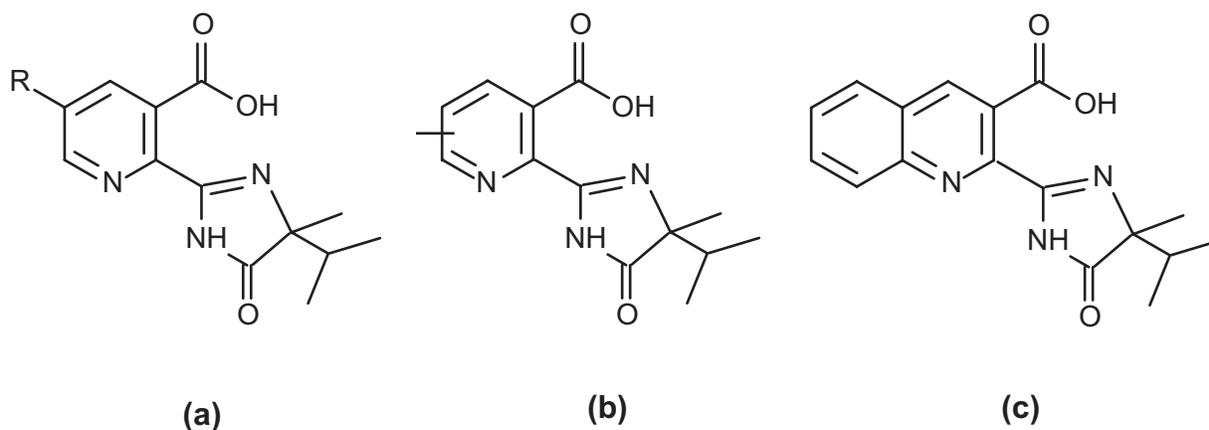


Figura 1 - Estruturas químicas dos herbicidas do grupo das imidazolinonas: a) imidazolinona piridina, b) benzeno imidazolinona e c) imidazolinona quinolina. Imidazolinona piridina classificada segundo o radical (R) em imazapyr: R = H; imazapic: R = CH₃; imazethapyr: R = CH₃—CH₂; e imazamox: R = CH₃—O—CH₂. Extraído de TAN et al. (2005).

(Figura 1b); e as outras imidazolinonas, um anel piridina (Figura 1a). A este último grupo, piridina imidazolinona, pertencem quatro moléculas, que se diferenciam por um radical unido ao carbono 5 do anel piridina. O imazapyr apresenta um hidrogênio (H) no lugar do radical (R); o imazapic, um grupo metil (CH_3); o imazethapyr, um grupo etil ($\text{CH}_3\text{-CH}_2$); e o imazamox, um grupo metoximetil ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_2$) (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, esses radicais também são importantes na inibição da ALS. Os diferentes radicais do grupo piridina apresentam pouca atividade na inibição da ALS, mas exercem 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 proporção atinge o solo, seja por contato direto, por escorrimento 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 aos 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 escorrimento superficial, podendo contaminar fontes de água superficiais ou subsuperficiais.

Sorção

O termo sorção envolve todos os processos em que os pesticidas entram em contato com a matriz do solo, sem fazer distinção entre partição, adsorção, absorção e difusão. Adsorção é o contato entre o pesticida e a superfície da matriz do solo, sendo uma interação bidimensional na interfase solo-pesticida. A absorção envolve uma penetração tridimensional da molécula na matriz do solo. Partição é a distribuição da molécula entre duas fases (ex.: gasosa e sólida, ou líquida e sólida), governada por um equilíbrio. Para contaminantes de solo, o termo partição compreende vários

processos que resultam na distribuição entre pesticidas hidrofóbicos, a solução do solo e a fase não polar da matriz do solo. A adsorção pode ser considerada um tipo de partição, já que envolve a distribuição de pesticidas, entre a água dos poros e a matriz do solo (Schwarzenbach et al., 2003; Ehlers & Loibner, 2006). Difusão é um processo de transporte do pesticida para dentro da matriz do solo, colocando-o em contato com maior número de sítios para ele ser sorvido. A difusão pode ser para dentro da matéria orgânica (MO) do solo (difusão intramatéria orgânica); para dentro de partículas minerais do solo (difusão intrapartícula); laminar, sobre a superfície da matriz do solo; e para dentro dos poros da matriz do solo (difusão intraporos) (Northcott & Jones, 2000; Ehlers & Loibner, 2006).

A sorção dos herbicidas no solo é um processo muito importante, porque determina quanto do herbicida ficará retido na matriz do solo e quanto ficará disponível na solução do solo. Essa proporção afeta a absorção pelas plantas, a degradação microbiana, a fotólise, a lixiviação e o 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, os quais, por sua vez, variam em sua influência, dependendo do lugar e do momento (Koskinen & Harper, 2001; Curran et al., 1992; Wang & Weiping, 1999; Madani et al., 2003). Essa variação dificulta a obtenção de uma recomendação única, tanto do ponto de vista agrônomo como ambiental. A sorção acontece muito rapidamente, antecipando-se aos outros processos, regulando-os; para imazapyr, mais de 90% de sorção 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, a quantidade sorvida de pesticidas decresce com o aumento da temperatura (Biggar & Cheung, 1973; Fusi et al., 1993). O contrário acontece com as imidazolinonas; para imazapyr, as porcentagens de sorção aumentaram com o aumento da temperatura, sendo um processo endotérmico (Wang & Weiping, 1999; Jenkins et al., 2000).



Outro fator importante na sorção das imidazolinonas é a umidade do solo, a qual favorece a sorção desses herbicidas, atuando como meio para a difusão das moléculas para as superfícies externas ativas e para os poros internos do material adsorvente (Pignatello & Xing, 1996; Ehlers & Loibner, 2006), embora em condições de alta umidade (solo saturado) a dessorção seja favorecida, como efeito de uma maior diluição desses herbicidas (Avila, 2005).

Os resultados de pesquisa sobre o efeito do teor de argilas na retenção desses herbicidas são diferentes: alguns sugerem que ele aumenta a sorção (Wei & Weiping, 1998; Loux et al., 1989), enquanto outros sugerem que não afeta a sorção das imidazolinonas (Leon & Carl, 2001; Madami et al., 2003). Essas diferenças podem estar relacionadas ao pH do solo e ao tipo de argila. As concentrações de matéria orgânica e de argila aumentam a sorção das imidazolinonas ao solo, por terem uma grande superfície específica.

O principal mecanismo que envolve a sorção das moléculas das imidazolinonas no solo é a partição hidrofóbica entre elas e as porções hidrofóbicas da matéria orgânica. No entanto, os mecanismos de interação envolvendo as cargas positivas das argilas e superfícies dos óxidos de Fe e Al com as moléculas destes herbicidas ocorrem principalmente por mecanismos de troca aniônica e/ou formação de radicais ligantes, sendo um importante mecanismo de ligação em solos altamente intemperizados com acúmulo de minerais de argila de tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al comuns na maioria dos solos brasileiros (Pusino et al., 1997; Regitano et al., 1997, 2001). Nesse sentido, Firmino et al. (2008b) acharam correlação positiva, altamente significativa, entre a relação de sorção de imazapyr e os teores de MO, argila, Fe oxálico e Fe ditionito sob três solos de Minas Gerais. A relação de sorção de um solo muito argiloso é 3,5 vezes maior que a de um solo franco-argilo-arenoso e 5,8 vezes maior que a de uma areia franca. Os autores atribuíram essa maior adsorção a uma maior concentração de Fe oxalato e de Fe ditionito no primeiro solo. Contudo, esse tipo de interação é desprezível em solos com teores de matéria orgânica maiores que 1% (Gevao et al., 2000; Regitano et al., 2001).

O pH da solução do solo, juntamente com o teor de matéria orgânica, são os fatores que mais influenciam a dinâmica desses herbicidas (Koskinen & Harper, 2001). As moléculas das imidazolinonas apresentam 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; 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⁻; 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 com cargas positivas (CNH₂⁺) e 50% sem carga (CNH). Quando o pH for menor que o pKa, predominam moléculas positivas; quando for maior que o pKa, predominam moléculas neutras.

Com valores de pH elevados, a sorção desses 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 biodisponíveis na solução do solo. No entanto, as moléculas COO⁻ de imidazolinonas em solos altamente intemperizados podem interagir com as porções positivas da MO e com os cátions metálicos, como os óxidos de ferro. Esse fato aumentaria a adsorção desses herbicidas com as superfícies de argilas ricas em Fe ditio-nítico, Fe oxalato e da MO do solo (Firmino et al., 2008b). Com pH baixo, o número de moléculas COOH ou protonadas (NH₂⁺) 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 3, o que não é comum em solos agrícolas, embora Bresnaham et al. (2000) considerem 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

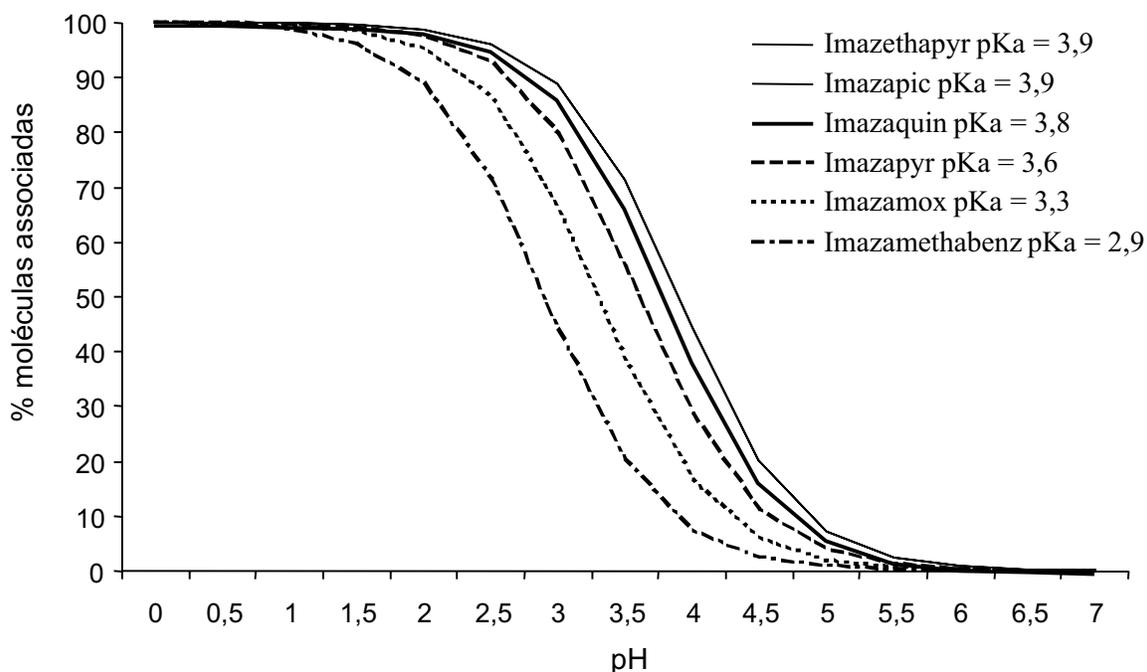


Figura 2 - Curva teórica de titulação das imidazolinonas, calculada pelo autor utilizando a equação de Henderson-Hasselbalch.

do solo, transcorridos três meses de aplicação do herbicida. Quando a proporção de moléculas associadas aumenta, o herbicida fica menos solúvel, aumentando as interações hidrofóbicas com a matéria orgânica, ficando menos biodisponível e, com isso, 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.

O principal mecanismo envolvido na sorção do imazaquin é a partição hidrofóbica; o incremento do teor de carbono orgânico aumenta a sorção (Regitano et al., 2001) e reduz a sua dessorção do solo (Wang & Weiping, 1999). Em vista da maior sorção do herbicida em solos com maiores teores de matéria orgânica, a taxa da degradação do imazapyr é menor quando comparada com a de solos com menores teores de matéria orgânica (McDowell et al., 1997). Incrementos nos conteúdos de matéria orgânica 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 imazaquin > imazethapyr > imazamox (Bhalla et al., 1991). Em solos com pH superiores a 6,0 esses herbicidas encontram-se predominantemente na forma dissociada e na solução do solo (Mangels, 1991; Aichele & Penner, 2005). Quando o pH da solução do solo diminui, 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 do herbicida biodisponível na solução do solo (Loux et al., 1989; Aichele & Penner, 2005). Para imazethapyr, a porcentagem de herbicida dessorvido foi consideravelmente maior a pH 7,0 do que a pH 5,0. Independentemente do valor de pH avaliado, sempre foi encontrada na solução do solo maior quantidade de imazamox do que de imazaquin e imazethapyr – que os dois últimos encontravam-se em quantidades similares (Aichele & Penner, 2005). Como imazamox tem pKa menor, maiores 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 matéria orgânica 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 aumentou quando o pH foi aumentado de 3,7 para 6,5, porém, para valores superiores a este, o pH não teve efeito sobre a bioatividade do herbicida (Jourdan et al., 1998). A concentração de imazethapyr remanescente no solo após cinco meses foi menor em maiores valores do pH de solo. Quando o pH é baixo, vários mecanismos de sorção são incrementados, incluindo forças físicas fracas ou pontes de hidrogênio, através de grupos carboxila associados (Wang & Weiping, 1999). A alta solubilidade do imazethapyr e a fraca retenção que ele apresenta em solos com pH superiores a 7,0 indicam que ele teria alta mobilidade nessas condições, aumentando significativamente o risco de contaminação de lençóis freáticos por lixiviação (Madami et al., 2003). Loux (1989) e Regitano et al. (2001) constataram comportamento similar para imazaquin em relação ao pH.

A sorção das imidazolinonas está relacionada com as propriedades do solo, sendo necessário ajustar as doses dos herbicidas de acordo as características deste, com o objetivo de manter a eficácia do produto e diminuir a contaminação ambiental, sem afetar o controle das plantas daninhas. As doses devem ser maiores quando aplicadas em solos com alto teor de matéria orgânica e baixo pH, a fim de manter a eficácia de controle; contudo, quando as condições do solo são contrárias a essas, as doses a serem aplicadas 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 nesse meio. Entretanto, em solo, as taxas de fotólise são mais lentas. A penetração da luz no interior do perfil do solo é limitada de 0,1 a 0,5 mm (Balmer et al., 2000) e nunca mais do que 1,0 mm (Frank et al., 2002). Em solos arenosos, em condições de capacidade de campo, a fotólise pode ser elevada, porém, em condições de solo seco ou com maiores conteúdos de matéria orgânica e/ou argila, a fotólise perde importância. Foi observado que 45% do imazaquin e 52% do imazethapyr foram dissipados em solo arenoso em condições de capacidade de campo após 48 horas. Em solo arenoso seco ou solo argiloso, a dissipação dos herbicidas após 48 horas foi menor do que 10% (Curran et al., 1992).

Em laboratório, a luz ultravioleta (UV) causa 100% de degradação do imazethapyr em água pura após 48 horas (Curran et al., 1992), sendo a meia-vida em torno de 4-6 horas, podendo sofrer tanto fotólise direta como indireta (Avila et al., 2006). 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 El et al., 2002). Os ácidos húmicos diminuem a fotodegradação do imazethapyr, por competirem por luz com as moléculas do herbicida. Substâncias inorgânicas solúveis podem diminuir a fotólise direta, diminuindo a intensidade de luz, ou acelerar a fotólise indireta, gerando espécies reativas de oxigênio.

A sorção das moléculas das imidazolinonas ao solo também afeta a fotólise, sendo seu efeito mais importante quando os herbicidas são aplicados em pré-emergência (Curran et al., 1992). Elementos químicos adsorvidos dentro de espaços coloidais ou sequestrados pela matéria orgânica ficariam protegidos da luz. A maior sorção ou a menor disponibilidade do herbicida diminui a taxa da fotólise (Curran et al., 1992). A fotólise em água do imazethapyr varia pouco com o pH da solução (Shaner & O'Connor 1991) ou não é afetada (Avila et al., 2006), embora no solo o pH afete indiretamente a fotólise por meio da interferência na sorção do herbicida (Loux et al., 1989; Stougaard et al., 1990). Em solo alagado, o efeito do pH só é observado durante as primeiras 3-4 semanas após a inundação, já que após esse período o

pH do solo estabiliza-se próximo da neutralidade, por meio do processo natural de autocatalagem (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 seis 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, 2006a). Essa relativa maior estabilidade da molécula de imazamox em relação à molécula do imazapyr está relacionada à 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 em vez do H, ele é fotodegradado mais rapidamente que imazapyr (Quivet et al., 2004, 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. Em primeiro lugar, acontece a abertura do anel imidazol, seguida por um processo de descarboxilação, resultando como fotoproduto um composto com 14 carbonos ($C_{14}H_{19}N_3O_3$) (Mallipudi et al., 1991; Quivet et al., 2004, 2006a). Também foram identificados dois metabólitos na primeira etapa da fotólise do imazethapyr (Azzouzi El et al., 2002).

A presença de metais como Na^+ , Ca^{2+} ou Cu^{2+} faz com que diminua a taxa de degradação de imazamox. A presença desses 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 et al. (1991) afirmaram que para imazapyr a fotodegradação não foi afetada pelo pH quando em solução aquosa e que a presença de ácidos húmicos a diminui. Azzouzi El et al. (1999) observaram efeito “guardachuva” 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 microrganismos 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., 1992; Quivet et al., 2004, 2006a). A ordem de suscetibilidade decrescente à fotodegradação é imazaquin = imazethapyr > imazapyr > imazamox > imazamethabenz; a fitotoxicidade dessas 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., 1992).

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 ($t_{1/2}$ H \approx 9,6 meses a 25 °C) (Shaner & O'Connor, 1991). Foi demonstrado que a degradação hidrolítica não é importante para os herbicidas imazapyr (Curran et al., 1992; Quivet 2004, 2006a), imazethapyr (Curran et al., 1992), imazamox (Quivet, 2004, 2006a), imazamethabenz (Curran et al., 1992) e imazaquin (Curran et al., 1992; Barkani et al., 2005); não foram encontrados resultados de pesquisa sobre imazapic.

Degradação microbiana

O principal mecanismo de dissipação das imidazolinonas no solo é por meio da degradação microbiana (Loux et al., 1989; Flint & Witt, 1997). A degradação de imazapyr foi 2,3 a 4,4 vezes mais lenta em solos estéreis, quando comparada com a de 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 exclusivamente em condições de aerobiose, 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 favorecem o desenvolvimento dos microrganismos e a biodisponibilidade dos herbicidas, a degradação das imidazolinonas aumenta.

A temperatura do solo altera a degradação das imidazolinonas; 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 microrganismos 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 acima de 7,0 e aumentando a temperatura, observou-se redução na concentração de imazethapyr, que foi 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 destes e os protege dos processos de biodegradação. Aichele & Penner (2005) afirmaram 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 consequente redução da biodisponibilidade. A degradação microbiana desses herbicidas tem estreita relação com a quantidade de moléculas biodisponíveis na solução do solo (Cantwell et al., 1989). O imazamox foi degradado mais rapidamente que os outros dois, sendo a meia-vida do imazamox a pH 7,0 de 1,4 semana; a do imazethapyr, 16 semanas; e a do imazaquin, mais de 16 semanas (Aichele & Penner, 2005). Alguns autores afirmaram que a persistência do imazapyr no solo varia entre 90 e 730 dias (Ars, 2001) e, para o imazethapyr, de 60 a 360 dias (Goetz et al., 1990; Mangels, 1991). No entanto, Grynes et al. (1995) determinaram que a vida média de imazapic no solo é de

90 dias. As altas persistências no solo desses herbicidas comprometem 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 et al. (2006) – *Arthrobacter crystallopoietes* (WWX-1) –, a qual degrada imazaquin em altas concentrações, 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 5 DAA, o herbicida atingiu 20 cm, embora as maiores concentrações se encontrassem nos primeiros 10 cm. Já aos 30 DAA, a maior concentração do produto encontrava-se nos primeiros 15 cm, detectando-se a presença do herbicida até 30 cm de profundidade. A partir dos 90 DAA, a concentração nos primeiros 5 cm diminuiu, ficando o herbicida concentrado entre 5 e 30 cm de profundidade, indicando diminuição na camada superficial e aumento na espessura com as maiores concentrações. Após cinco meses, não foi detectada presença de imazethapyr no solo. 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, aos 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 aos 90 DAA. Além do movimento em profundidade, imazethapyr e imazapyr apresentam movimento para a superfície, arrastados pelas correntes ascendentes de água (van Wyk & Reinhardt, 2001; Firmino et al., 2008a).

Em resumo, 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

governada principalmente pelo pH e pelos teores 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 estará disponível para fotólise, degradação microbiana, lixiviação e para ser absorvido pelas plantas; dessa forma, tem influência na eficácia e na persistência do herbicida.

A dissipação das imidazolinonas pode se dar por: fotólise tanto direta como indireta – em condições de campo, a primeira só adquire importância em solos arenosos e úmidos, e a segunda pode ser uma via importante de dissipação desses herbicidas em condições de solos alagados, como os da lavoura de arroz; degradação microbiana – a qual é exclusivamente aeróbica para imazethapyr e aeróbica e anaeróbica para imazapyr; e lixiviação – diminuindo sua concentração na camada superficial do solo, acumulando-se em diferentes profundidades, podendo atingir lençóis freáticos. A hidrólise não é uma via de dissipação relevante para as imidazolinonas.

LITERATURA CITADA

- ALISTER, C.; KOGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protec.**, v. 24, n. 4, p. 375-379, 2005.
- AICHELE, T. M.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technol.**, v. 19, n. 1, p. 154-159, 2005.
- ARS. Pesticide properties database Capturado em 2001. Online. Disponível em: <<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 content. 2005. 95 f.. Tese (Doctor in Agronomy.) – 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.
- AZZOUZI EL, M. et al. Photodegradation of imazapyr in the presence of humic substances. **Fres. Environ. Bull.**, v. 8, n.7-8, p. 478-485, 1999.
- AZZOUZI EL, M. et al. Abiotic degradation of imazethapyr in aqueous solution. **J. Environ. Sci. Health, Part B-Pest, Food Contam. Agric. Wastes**, v.37, n. 5, p. 445-451, 2002.
- BALMER, M. E. et al. Photolytic transformation of organic pollutants on soil surfaces-an experimental approach. **Environ 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, n. 1, p. 27-35, 2005.
- BASHAM, G. W.; LAVY, T. L. Microbial and photolytic dissipation of imazaquin in soil. **Weed Sci.**, v. 35, n. 6, p. 865-870, 1987.
- BATTAGLIN, W. A. et al Occurrence of sulfonyleurea, sulphonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. **Sci. Total Environ.**, v. 248, n.2-3, p. 123-133, 2000.
- BAUGHMAN, T. A.; SHAW, D. R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Sci.**, v. 44, n. 2, p. 380-382, 1996.
- BHALLA, P. et al. Imazaquin herbicides. In: SHANER, D.L.; O'CONNOR, S. L. (Eds.). **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC, 1991. p. 239-246.
- 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. Am.**, v. 37, p. 863-868, 1973.
- BÖRJESSON, E. et al. The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment. **Pest Manag. Sci.**, v. 60, n. 6, p. 544-549, 2004.
- BRESNAHAM, G. A. Influence of soil pH-sorption interactions on imazethapyr carry-over. **J. Agric. Food Chem.**, v. 60, n. 5, p. 1929-1934, 2000.
- CANTWELL, J. R. et al. Biodegradation characteristics of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 37, n. 6, p. 815-819, 1989.
- CURRAN, W. S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous solution and soil. **Weed Sci.**, v. 40, n.1, p. 143-148, 1992.



- 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. **Environ. 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. Agropec. Brasil.**, v. 39, n. 8, p. 787-793, 2004.
- FIRMINO, L. E. et al. Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 223-230, 2008a.
- FIRMINO, L. E. et al. Sorção do imazapyr em solo com diferentes texturas. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008b.
- FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 45, p. 586-591, 1997.
- 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 acetanilidade herbicides with clay surfaces modified with Fe(III) oxyhydroxides and hexadecyltrimethyl ammonium. **Chemosphere**, v. 27, p. 765-771, 1993.
- GEVAO et al. Bound pesticide residues in soils: A review. **Environ. Pollut.**, v. 108, n. 1, p. 3-14, 2000.
- GOETZ, A. et al. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, p. 421-428, 1990.
- GRYNES, 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: SHANER, D.; CONNOR, S. (Eds.) **The imidazolinones herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 247-256.
- 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.
- JOURDAN, S. W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. **Weed Sci.**, v. 46, p. 608-613, 1998.
- KOSKINEN, W. C.; HARPER, S. S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, LEON, V. W. J.; CARL, R. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependant activity. **Weed Technol.**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2001.
- 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.
- LOUX, M. M. et al. Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments and selected adsorbants. **Weed Sci.**, v. 37, p. 712-718, 1989.
- MADANI, M. E. et al. pH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. **Fres. Environ. Bull.**, v. 12, p. 1114-1119, 2003.
- MALLIPUDI, N. M. et al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **J. Agric. Food Chem.**, v. 39, p. 412-417, 1991.
- MANGELS, G. Imazethapyr herbicides. In: SHANER, D.; CONNOR, S. (Eds.) **The imidazolinones herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 191-209.
- 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. v. 2. p. 287-289.
- McDOWELL, R. W. et al. Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil. **Weed Res.**, v. 37, p. 381-389, 1997.
- NORTHCOTT, G. L.; JONES, K. C. Experimental approaches and analytical techniques for determining organic compound bound residues in soil and sediment. **Environ. Pollut.**, v. 108, n. 1, p. 19-43, 2000.
- PIGNATELLO, J. J.; XING, B. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles. **Environ. Sci. Technol.**, v. 30, n. 1, p. 1-11, 1996.
- 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. v. 2. p. 307-309.
- PUSINO, A. et al. Adsorption and desorption of imazapyr by soil. **J. Agric. Food Chem.**, v. 45, p. 1012-1016, 1997.

- QUIVET, E. et al. Kinetic studies of imazapyr photolysis and characterization of the main photoproducts. **Toxicol. Environ. 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, n. 1, p. 31-34, 2006a.
- QUIVET, E. et al. Influence of metal salts on the photodegradation of imazapyr, an imidazolinone pesticide. **Pest Manag. Sci.**, v. 62, p. 407-413, 2006b.
- REGITANO, J. B. et al. Retention of imazaquin in soil. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 16, p. 397-404, 1997.
- REGITANO, J. B. et al. Atributos de solos tropicais e sorção de imazaquin. **Sci. Agric.**, v. 58, p. 801-807, 2001.
- SCHWARZENBACH, R. P. et al. **Environmental chemistry**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 2003.
- 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**. Boca Raton: CRC Press, 1991.
- SHANER, D. L.; SINGH, B. K. Phytotoxicity of acetohydroxyacid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. **Plant Physiol.**, v. 103, p. 1221-1226, 1993.
- SNYDER, C. S.; SLATON, D. N. Effects of soil flooding and drying on phosphorous reactions. **News & Views**, v.4, p.1-3, 2002.
- STOUGAARD, R. N. et al. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, n. 1, p. 67-73, 1990.
- TAN, S. et al. Imidazolinone-tolerant crops: History, current status and future. **Pestic. Manag. 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.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **National water quality inventory: 1990. Report to Congress**. Washington: 1992.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Pesticide in ground water database: national summary. Rep. 734-r-92**. Washington: 1993.
- van WYK, L. J.; REINAHARDT, C. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Sci.**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2001.
- 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. Environ. 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. Environ. 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. Sim.**, v. 18, p. 476-480, 1998.





CONTROLE DE ARROZ-VERMELHO EM DOIS GENÓTIPOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) TOLERANTES A HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS¹

*Red Rice Control in Two Rice (*Oryza sativa*) Genotypes Tolerant to Imidazolinone Herbicides*

VILLA, S.C.C.², MARCHEZAN, E.², MASSONI, P.F.S.³, SANTOS, F.M.⁴, AVILA, L.A.⁵,
MACHADO, S.L.O.⁶ e TELO, G.M.⁷

RESUMO - A infestação por arroz-vermelho (*Oryza* spp.) constitui-se num dos principais fatores limitantes da produtividade de grãos do arroz irrigado. 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, tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas em resposta a doses e épocas de aplicações da mistura formulada de imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) (produto comercial Only®), 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 (2 x 10), com quatro repetições. O fator A foi composto por dois genótipos de arroz tolerantes às imidazolinonas, um cultivar (IRGA 422 CL) e um híbrido (Tuno CL); e o fator D, pelos tratamentos para controle de arroz-vermelho oriundos de combinações de doses e épocas de aplicação do herbicida. Constatou-se que o híbrido é mais tolerante ao herbicida Only®, quando comparado ao cultivar, sendo possível a utilização de dose total de até 200% no híbrido, em áreas com alta infestação de arroz-vermelho, sem afetar a produtividade. Porém é importante salientar que o incremento da dose do herbicida pode causar problemas de residual a culturas não tolerantes semeadas na seqüência. O controle de arroz-vermelho é total com aplicação fracionada do herbicida em pré e pós-emergência (PRÉ + PÓS), desde que o total aplicado não seja inferior a 125%. Essa condição é atendida pelo tratamento com 75% em PRÉ seguido de 50% em PÓS, o qual propicia a menor dose total entre aqueles com 100% de controle, não afetando a produtividade e apresentando fitotoxicidade semelhante ao tratamento com 100% em PÓS, 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*) yield. An experiment was carried out to evaluate red rice control and the behavior of two rice genotypes tolerant to the imidazolinone herbicides in response to imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) application rates and timing. The experiment was conducted in Santa Maria-RS, Brazil in 2004/2005 and was arranged in a factorial scheme, in a randomized block design, with four replications. Factor A included the two rice genotypes tolerant to the imidazolinones, a cultivar (IRGA 422 CL) and a hybrid (Tuno CL); and factor D included the treatments for red rice control, which was a combination of rates and herbicide application timing. The hybrid was found to be more tolerant to the herbicide only than the cultivar. Application rates up to 200% on the hybrid genotype could be done without affecting rice yield. It is important to state that increasing the rate of herbicide application can create carryover problems to non-tolerant crops. Red rice control was total with split application of imazethapyr + imazapic in PRE and POST emergence with the total rate above 125%. The most efficient treatment was application of 75% in PRE followed by 50% in POST, which was the lowest rate promoting 100% control, with relatively low toxicity to the cultivar and without affecting rice yield.

Keywords: Clearfield, imazapic, imazethapyr, IRGA 422 CL, Only®, Tuno CL.

¹ Recebido para publicação em 6.2.2006 e na forma revisada em 4.8.2006.

Parte integrante da dissertação de mestrado do primeiro autor. Pesquisa financiada pelo CNPq, CAPES, FAPERGS e UFSM.

² Eng.-Agr., Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Dep. de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, prédio 44, sala 5335, 97105-210 Santa Maria-RS, bolsista CAPES, <svilla@ricetec.com.br>; ³ Eng.-Agr., Dr., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM, pesquisador CNPq, <emarch@ccr.ufsm.br>; ⁴ Acadêmico do curso de Agronomia da UFSM, bolsista CNPq; ⁵ Eng.-Agr., Dr., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM; ⁶ Eng.-Agr., Dr., Prof. do Dep. de Defesa Fitossanitária da UFSM; ⁷ Acadêmico do curso de Agronomia da UFSM, bolsista FAPERGS.



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 herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, através de mutação induzida por radiação gama e/ou transformação química por etil metanossulfonato – EMS (Croughan, 1998). O uso de herbicidas em genótipos com essa característica constitui-se numa estratégia 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% nesse sistema, mas para que esse nível seja alcançado há necessidade de duas aspersões de imazethapyr: uma em pré-emergência (PRÉ) e outra em pós-emergência (PÓS) (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; contudo, 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 & Webster, 2004).

Nos EUA, preconiza-se a utilização de aplicações sequenciais de imazethapyr: uma com 70 g ha⁻¹, em pré-plantio incorporado ou PRÉ, seguido de 70 g ha⁻¹ em PÓS, com o arroz no estádio de três a cinco folhas, independentemente da textura do solo (Ottis et al., 2003). Por outro lado, no Brasil, preconiza-se uma única aplicação de 1,0 L ha⁻¹ da mistura formulada de imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) em PÓS, 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 controle deficiente e as plantas remanescentes florescem simultaneamente, podendo causar

o surgimento de biótipos de arroz-vermelho tolerantes 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 desse cruzamento natural.

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, tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas em resposta a doses e épocas de aplicações da mistura formulada dos herbicidas 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_{agua} (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, um cultivar (IRGA 422 CL) e um híbrido (Tuno CL), ambos tolerantes às imidazolinonas; e o fator D, pelos tratamentos com os herbicidas imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹).

Visando garantir uma boa população 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 m⁻². A semeadura do arroz cultivado foi realizada em linhas espaçadas de 20 cm, no dia 29.10.2004, utilizando-se 108 e 45 kg ha⁻¹ de sementes, para o cultivar e para o híbrido, respectivamente.

A aplicação do herbicida em PRÉ foi efetuada um dia após a semeadura, com pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas leque 11002, com vazão de 125 L ha⁻¹.



O grau de umidade do solo no momento dessa aplicação encontrava-se adequado para a germinação das sementes; na semana seguinte ocorreu precipitação pluvial de 50 mm, constituindo-se numa condição favorável para aplicação em PRÉ desse herbicida. A aplicação em PÓS 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 em V5. A vazão utilizada foi de 150 L ha⁻¹, com adição de 0,5% v/v de óleo mineral emulsivo.

Um dia após a aplicação do tratamento em PÓS, 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 inundação; e 60 kg ha⁻¹ de N na iniciação da panícula (R0). Juntamente com a terceira aplicação de N, foram aplicados 500 g ha⁻¹ do inseticida carbofuran para controlar larvas do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

Efetuiu-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 foram coletadas 10 panículas, nas quais se determinou o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos. A avaliação de toxicidade ao arroz foi realizada aos 16 dias após a aplicação dos tratamentos em PÓS. As avaliações de controle de arroz-vermelho e angiquinho (*Aeschynomene denticulata*) foram realizadas no dia da colheita, sendo os valores estimados visualmente, utilizando a escala percentual de 0 a 100%, em que 0 = ausência de fitotoxicidade ou controle e 100 = morte das plantas ou controle total.

A produtividade de grãos foi determinada através da colheita manual em área de 8,0 m² (5,0 x 1,6 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. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P>0,05). Para

a análise estatística, os dados de controle de arroz-vermelho e fitotoxicidade foram transformados para $y_t | \arcsen \frac{y-0,5}{\sqrt{y(20,5)}}/100$ e os demais dados em porcentagem foram transformados para $y_t | \sqrt{y(21)}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para produtividade de grãos, fitotoxicidade e controle de arroz-vermelho (Tabela 1), houve interação entre genótipos e tratamentos do herbicida. As doses totais neste trabalho são de 0 a 200% da recomendada a campo (75 g ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g ha⁻¹ de imazapic). O híbrido (Tuno CL) destacou-se como genótipo mais produtivo do que o cultivar (IRGA 422 CL), independentemente 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 à testemunha, com acréscimo de 55% para o cultivar e de 121% para o híbrido. No híbrido, as doses e épocas não afetaram a produtividade de grãos, porém, para o 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. No cultivar, a aplicação em PÓS 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; Agostinetto et al., 2005). Deve-se levar em conta que, aumentando a dose acima do recomendado, pode haver problemas de persistência desses herbicidas no solo, o que pode causar danos a culturas sucessoras não-tolerantes (Williams et al., 2002).

O híbrido foi mais tolerante que o cultivar quando se aplicaram 100% em PÓS (D3) e naqueles tratamentos com dose total superior a 100% (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 Luzzardi⁽¹⁾, comunicação pessoal). Para os tratamentos com dose total de 100%, o aumento da dose em PÓS ocasionou maior fitotoxicidade (Figura 1), não se refletindo na produtividade. Contudo, em condições adversas para o desenvolvimento da cultura, essa fitotoxicidade poderá afetar a produtividade de grãos.

Para o cultivar (Tabela 1), os tratamentos com as doses de 75% em PRÉ (D2), 100% em PRÉ (D4) e a dose de 100% fracionada (D5) proporcionaram menor fitotoxicidade que o tratamento-referência com a dose de 100% em PÓS (D3). Verificou-se também que o tratamento D3 apresentou fitotoxicidade semelhante à dos tratamentos com dose total de 125 a 150% (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 à de D7 e D9.

O controle de 100% do arroz-vermelho foi obtido com os tratamentos com dose total aplicada a partir de 125% (D6, D7, D8, D9 e D10), e foram nesses tratamentos que ocorreu a maior fitotoxicidade para ambos os genótipos. Devem-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 PÓS, 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 para a emergência das plantas de arroz-vermelho, auxiliando no controle. Nesse sentido, o perfeito nivelamento da área em sua superfície é decisivo para manter lâmina uniforme de água e, com isso, ser um importante fator para elevada porcentagem de controle. Em condições de campo, a presença de taipas, por exemplo, pode permitir escapes e a reinfestação de arroz-vermelho.

Tabela 1 - 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 dos herbicidas imazethapyr + imazapic, utilizando genótipos de arroz tolerantes. Santa Maria-RS, 2005

Doses de imazethapyr + imazapic ^{1/}				Genótipos					
Código do tratamento	PRÉ ^{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
	(%)			(kg ha ⁻¹)		(%) ^{4,5/}			
D1	0	0	0	A 4.720 c ^{6/}	A 4.978 b	---	---	---	---
D2	75	0	75	B 8.346 a	A 11.200 a	A 4 e	A 5 cd	A 97 b	A 98 b
D3	0	100	100	B 7.046 ab	A 10.646 a	A 22 d	B 14 bc	A 97 b	A 98 b
D4	100	0	100	B 8.131 ab	A 11.452 a	A 6 e	A 4 d	A 97 b	A 98 b
D5	50	50	100	B 7.511 ab	A 11.190 a	A 11 e	A 6 cd	B 97 b	A 99 a
D6	75	50	125	B 7.495 ab	A 11.143 a	A 26 cd	B 8 cd	A 100 a	A 100 a
D7	75	75	150	B 6.725 b	A 10.792 a	A 40 b	B 12 bcd	A 100 a	A 100 a
D8	100	50	150	B 6.766 b	A 11.409 a	A 33 bc	B 8 cd	A 100 a	A 100 a
D9	100	100	200	B 7.016 ab	A 10.809 a	A 54 a	B 19 ab	A 100 a	A 100 a
D10	0	200	200	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
CV (%)				7,6		3,3		0,2	

^{1/} Produto comercial Only, contendo 75 + 25 g ha⁻¹ dos ativos citados, respectivamente. Doses expressas em valores percentuais em relação à dose de 75 g ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g ha⁻¹ de imazapic; ^{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 $y | \arccos \sqrt{(y - 2,5)/100}$; ^{5/} Controle de AV e a fitotoxicidade no arroz foram avaliados visualmente em porcentagem, em que 0 corresponde a ausência de controle ou fitotoxicidade e 100 ao 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).

(1) Eng.-Agrônomo, M.S., Gerente de Pesquisa da RiceTec Sementes Ltda., Av. São Paulo, 877, Bairro São Geraldo, 90230-161 Porto Alegre-RS.

Para as variáveis controle de angiquinho, 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 2). O controle de angiquinho foi de 100% quando a dose aplicada foi igual ou maior que 125%. Destacou-se também a aplicação de 100% em PÓS (D3), com 93% de controle. Cabe ressaltar que, na área do experimento, a infestação média dessa invasora na parcela testemunha era de apenas uma planta por metro quadrado. O controle químico de angiquinho passa a ser economicamente viável quando a população de plantas for acima de duas plantas por metro quadrado (Adoryan, 2004). Dessa forma, em áreas com alta infestação de angiquinho, pode haver necessidade de medidas complementares à aplicação de imazethapyr + imazapic para o controle desta espécie.

O número de colmos por planta do arroz (24 e 36 DAE) foi menor quando se aplicaram

100% em PÓS ou com doses maiores que 100%, mas não foi afetado na avaliação aos 48 DAE. Isso indica que a fitotoxicidade do herbicida retardou a emissão de perfilhos, porém as

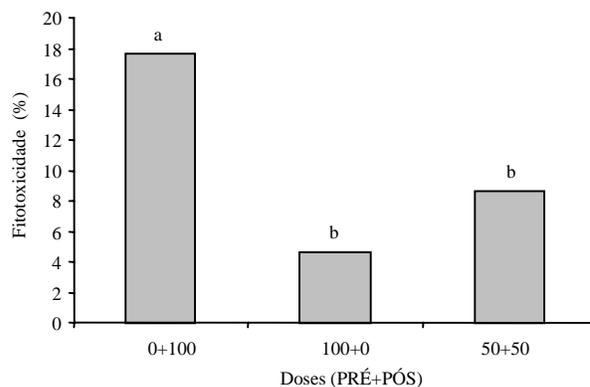


Figura 1 - Fitotoxicidade média dos herbicidas imazethapyr + imazapic em genótipos de arroz tolerantes, medida aos 16 dias após a aplicação dos tratamentos em PÓS, em resposta à época de aplicação do herbicida. Santa Maria-RS, 2005.

Tabela 2 - Controle de angiquinho (AESDE) avaliado no dia da colheita, 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) e esterilidade de espiguetas (EE) de genótipos de arroz tolerantes em resposta a doses e épocas de aplicação dos herbicidas imazethapyr + imazapic. Santa Maria-RS, 2005

Doses de imazethapyr + imazapic ^{1/}				AESDE	Colmos por planta			Estatura	PMQ	GP	MMG	EE ^{5/}
Código do tratamento	PRÉ ^{2/}	PÓS ^{3/}	Total		24 DAE ^{4/}	36 DAE ^{4/}	48 DAE ^{4/}					
	(%)			(%) ^{6,7/}				(cm)				
D1	0	0	0	---	2,7 ab	3,7 ab	3,5 ^{ns}	74 ^{ns}	321 b	73 b	25 ^{ns}	21 ^{ns}
D2	75	0	75	52 c ^{8/}	2,9 a	4,1 ab	4,2	78	491 a	84 ab	27	17
D3	0	100	100	93 a	2,1 bc	3,3 b	3,7	78	538 a	80 ab	26	17
D4	100	0	100	44 b	2,9 a	5,0 a	4,6	80	536 a	99 a	26	15
D5	50	50	100	89 a	2,9 a	4,8 ab	4,8	77	513 a	91 ab	26	15
D6	75	50	125	100 a	2,7 ab	4,8 ab	4,7	79	528 a	84 ab	26	18
D7	75	75	150	100 a	2,0 bc	3,7 ab	4,6	79	471 a	81 ab	27	18
D8	100	50	150	100 a	2,8 ab	4,7 ab	4,8	78	510 a	94 a	27	14
D9	100	100	200	100 a	1,8 c	3,6 ab	4,0	78	414 ab	87 ab	27	15
D10	0	200	200	100 a	1,4 c	3,2 b	3,9	79	478 a	85 ab	27	17
Genótipos												
IRGA 422 CL				74 b	2,0 b	3,7 b	3,9 b	70 b	489 ^{ns}	64 b	29 a	20 a
Tuno CL				81 a	2,9 a	4,5 a	4,7 a	86 a	470	108 a	24 b	14 b
Média geral				78	2,4	4,1	4,3	78	480	86	26	17
CV (%)				5,5	19,3	24,0	25,0	4,5	15,8	14,0	3,5	14,1

^{1/} Produto comercial Only, contendo 75 + 25 g ha⁻¹ dos ativos citados, respectivamente. Doses expressas em valores percentuais em relação à dose de 75 g ha⁻¹ de imazethapyr + 25 g ha⁻¹ de imazapic; ^{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 análise, os dados foram transformados para $yr | \sqrt{y+21}$; ^{6/} Para análise, os dados foram transformados para $yr | \arccos \sqrt{(y+20,5)/100}$; ^{7/} Avaliação percentual, em que 0 significa sem controle e 100 corresponde ao controle total; ^{8/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra para cada parâmetro analisado (dentro de cada fator) diferem pelo teste de Tukey (P<0,05); e ^{ns} Teste F não-significativo (P<0,05).



plantas compensaram através da emissão de colmos após o efeito fitotóxico. Independentemente da época de avaliação, o híbrido apresentou maior número de colmos por planta.

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 sua vez, a testemunha sem a aplicação do herbicida (D1) afetou negativamente esses parâmetros devido à 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., 2003).

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

A utilização de genótipos de arroz tolerantes com a mistura formulada dos herbicidas imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) não pode ser considerada 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 desses fatores no desenvolvimento da planta de arroz tolerante e no controle do

arroz-vermelho nesse sistema é fundamental para o sucesso dessa tecnologia. Práticas de manejo como a época de semeadura e o manejo do nitrogênio e da irrigação, entre outras, devem ser mais bem entendidas.

O Tuno CL é mais tolerante ao herbicida quando comparado ao cultivar IRGA 422 CL, tolerando dose total de até 200%, sem afetar a produtividade.

O controle de arroz-vermelho é total com aplicação fracionada do herbicida (PRÉ + PÓS), desde que o total aplicado não seja inferior a 125%. Essa condição é atendida pelo tratamento com 75% em PRÉ mais 50% em PÓS (D6), o qual propicia a menor dose total entre aqueles com 100% de controle, não afetando a produtividade e apresentando fitotoxicidade semelhante à do tratamento com 100% em PÓS (D3), utilizado como referência.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq, FAPERGS e UFSM, pelo auxílio financeiro. À RiceTec Sementes Ltda., pela doação da semente do híbrido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida a Enio Marchezan, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de Mestrado concedida a Silvio Carlos Cazarotto Villa.

Ao Dr. Scott Allen Senseman, pelo auxílio na redação e revisão do trabalho.

LITERATURA CITADA

ADORYAN, M. L. **Efeitos de densidades de *Aeschynomene rudis* Benth. e seu controle com o herbicida ethoxysulfuron em duas épocas de aplicação na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado.** 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

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. v. 1. p. 143-145.



Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz ...

BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de genótipos de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesq. Agropec. Bras.**, 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 Sci.**, 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=/netacgi/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 Technol.**, 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 Technol.**, 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 Technol.**, 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 Technol.**, 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 Agric.**, v. 45, n. 1, p. 16-17, 2002.





ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS: CONTROLE DO ARROZ-VERMELHO, FLUXO GÊNICO E EFEITO RESIDUAL DO HERBICIDA EM CULTURAS SUCESSORAS NÃO-TOLERANTES¹

Imidazolinone Tolerant Rice: Red Rice Control, Out-Crossing and Herbicide Carryover to Non-Tolerant Crops

VILLA, S.C.C.², MARCHEZAN, E.³, AVILA, L.A.⁴, MASSONI, P.F.S.⁵, TELO, G.M.⁶, MACHADO, S.L.O.⁷ e CAMARGO, E.R.⁸

RESUMO - Após várias décadas de busca de alternativas para controle do arroz-vermelho, desenvolveram-se genótipos de arroz tolerantes a herbicida do grupo químico das imidazolinonas, o qual controla eficientemente esta planta daninha no Sistema Clearfield. O experimento teve como objetivo avaliar: a eficiência do controle de arroz-vermelho com a mistura formulada dos herbicidas imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) (produto comercial Only®); o residual do herbicida no solo através dos danos causados ao azevém e arroz não-tolerante; e 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 doze repetições. Para determinar o fluxo gênico entre o arroz tolerante a imidazolinonas e o arroz-vermelho, foram coletadas e analisadas as panículas de arroz-vermelho não-controladas. O efeito residual do herbicida em culturas não-tolerantes foi verificado através de coleta de fitomassa de azevém e do estande inicial do cultivar de arroz não-tolerante semeado no ano seguinte. O herbicida testado controlou eficientemente o arroz-vermelho e a fitotoxicidade inicial não reduziu a produtividade do cultivar tolerante. O estande inicial do cultivar IRGA 417 foi afetado pelo residual do herbicida no solo. Os resultados mostraram também que ocorre cruzamento natural entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado, e 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, imidazolinone tolerant rice was developed to selectively control red rice. To better understand this technology an experiment was conducted in 2004/2005, in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil to evaluate: 1) red rice control by imidazolinone herbicides in Clearfield™ rice; 2) evaluate the imidazolinone herbicide carryover effect on ryegrass 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, virtually all the red rice panicle was collected and analyzed in the area. The carryover effect was tested using ryegrass and a non-tolerant rice cultivar (IRGA 417). The herbicides tested controlled red rice. Although injury to Clearfield rice was observed, the herbicide did not affect yield. Herbicide carry-over to non-tolerant rice was observed, reducing plant stand on rice seeded 361 days after herbicide application. Natural out-crossing occurred between Clearfield rice and red rice, at rates of 0.065%.

Keywords: IRGA 422 CL, imazethapyr, imazapic, persistence.

¹ Recebido para publicação em 1.8.2006 e na forma revisada em 10.11.2006.

Parte integrante da dissertação de Mestrado do primeiro autor. Pesquisa financiada pelo CNPq, CAPES, FAPERGS e UFSM.

² Eng.-Agr., Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista CAPES, Dep. Fitotecnia, prédio 44, sala 5335, 97105-900 Santa Maria-RS, <svilla@ricetec.com.br>; ³ Eng.-Agr., Dr., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM, pesquisador CNPq, <emarch@ccr.ufsm.br>; ⁴ Eng.-Agr., Dr., Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFSM; ⁵ Acadêmico do curso de Agronomia da UFSM, bolsista CNPq; ⁶ Acadêmico do curso de Agronomia da UFSM, bolsista FAPERGS; ⁷ Eng.-Agr., Dr., Prof. do Dep. de Defesa Fitossanitária da UFSM; ⁸ Eng.-Agr., Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFSM, bolsista CNPq.





INTRODUÇÃO

A produtividade média de arroz no Rio Grande do 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 elevada redução 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 ao mesmo gênero, 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 o uso de cultivares que detêm capacidade competitiva (Balbinot Jr. et al., 2003).

Como alternativa de controle químico do arroz-vermelho, desenvolveram-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 metanossulfonato – EMS (Croughan, 1998). A partir da safra de 1998/1999, pesquisadores do Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) iniciaram o processo de transferência dessa característica, por meio de retrocruzamento, para seus genótipos (Lopes et al., 2001). Os herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas são inibidores da acetolactato sintase (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 pode afetar culturas em sucessão. O uso desses herbicidas em genótipos de arroz tolerante permite o controle seletivo do arroz-vermelho e de 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, 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 seja observado. O arroz não-tolerante deve ser semeado, por exemplo, a partir do 18º mês após a aplicação de imazethapyr. Contudo, o uso continuado deste arroz, 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 necessidade de duas aspersões de imazethapyr, uma em pré-emergência e outra 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 porcentagem 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, o qual fica em menos de 1,0% (Gealy et al., 2003). Nas condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, Magalhães Jr. 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 estes 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 5 metros.

Já nos Estados Unidos, Dillon et al. (2002) encontraram três plantas de arroz-vermelho



híbridas em 12 mil sementes analisadas, e Estorninos Jr. et al. (2003) afirmam que as taxas de cruzamento entre o arroz tolerante e o arroz-vermelho variam com o cultivar e, embora numericamente pequenos, podem resultar em centenas ou milhares de plantas, dependendo do nível de infestação na área. De acordo com os primeiros autores, 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 essa 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 avaliar: a eficiência do controle de arroz-vermelho com a mistura formulada dos herbicidas imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) (produto comercial Only®); o residual do herbicida no solo, através dos danos causados ao azevém e arroz não-tolerante; e 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 de 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 por metro quadrado. A semeadura do cultivar tolerante, IRGA 422 CL, foi feita 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 na semeadura e constou de 7 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 70 de P₂O₅ e 105 de K₂O. A emergência ocorreu dia 10/11/2004.

A aplicação do herbicida em pré-emergência (PRÉ), um dia após a semeadura, foi efetuada com um pulverizador costal pressurizado com CO₂, munido de pontas leque 11002, com vazão de 125 L ha⁻¹. O grau de umidade do solo no momento dessa aplicação encontrava-se adequado para a germinação das sementes; na semana seguinte ocorreu

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 PÓS (DAT) e controle de arroz-vermelho (AV) aos 62 DAT e na colheita do cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria-RS, 2006

Herbicida	Tratamento		EI (plantas m ⁻²)	Colmos por planta		FITO	Controle de AV	
	PRÉ ^{1/}	PÓS ^{2/}		23 DAE	48 DAE		62 DAT	Pré-colheita
	(g i.a. ha ⁻¹)			(n ^o)			(%) ^{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
CV(%)			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 estádio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Recomendação para o cultivo do arroz tolerante a imidazolinonas no Brasil; ^{4/} Para análise, os dados foram transformados em $yt | \arccos(\sqrt{(y-20,5)/100})$; ^{5/} Controle de AV e a fitotoxicidade no arroz foram avaliados visualmente em porcentagem, em que 0 corresponde à ausência de controle ou fitotoxicidade e 100 ao 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 (P<0,05).





precipitação pluvial de 50 mm, constituindo-se numa condição favorável para aplicação em PRÉ desse herbicida. A aplicação em pós-emergência (PÓS) 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, 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 PÓS, 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 entaipadeira 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, a fim de 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 inundaçãõ; e 60 kg ha⁻¹ de N na iniciaçãõ da panícula (R0). Juntamente com a segunda aplicaçãõ de N em cobertura, foram utilizados 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 populaçãõ de plantas em um metro de comprimento da linha de semeadura. No mesmo local, efetuou-se a contagem do número de colmos aos 23 e 48 DAE. Nessa mesma área, determinou-se o número de panículas por planta e coletaram-se dez panículas, das quais se determinou o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos. A avaliaçãõ de fitotoxicidade ao arroz tolerante foi realizada aos 15 dias após a aplicaçãõ dos tratamentos em PÓS. As avaliações do controle de arroz-vermelho foram realizadas aos 62 dias após a aplicaçãõ do tratamento em PÓS (DAT), no dia da colheita, sendo os valores estimados visualmente, utilizando uma escala de 0 a 100%, em que 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, coletaram-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 germinaçãõ (Silva, 2003). Aos quatro dias após a semeadura em papel de germinaçãõ, foi realizada a avaliaçãõ, na qual foram consideradas oriundas do cruzamento as plantas que germinaram normalmente.

O efeito residual dos herbicidas em culturas não-tolerantes foi verificado por meio de coleta de fitomassa da cultura do azevém (*Lolium multiflorum*) e da avaliaçãõ do estande inicial do cultivar não-tolerante (IRGA 417) semeado no dia 2/11 do 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 avaliaçãõ do estande inicial do cultivar não-tolerante foi feita através da contagem da populaçãõ de plantas em um metro de comprimento da linha de semeadura. No referido ano foi utilizado o sistema plantio direto, para não haver contaminaçãõ do solo entre as parcelas, caso fosse realizado o preparo convencional.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05). Para a análise estatística, os dados de controle de arroz-vermelho e fitotoxicidade foram transformados em $yt | \arcseno \frac{\sqrt{(y-20,5)}}{100}$, e os demais dados em porcentagem, em $yt | \sqrt{y-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve influência dos tratamentos com herbicidas no estande inicial do arroz





(Tabela 1), demonstrando que a aplicação em PRÉ do herbicida não afetou o estabelecimento do arroz tolerante. O número de colmos por planta do arroz, aos 23 DAE, foi menor quando se aplicou o herbicida apenas em PÓS, porém o número de colmos por planta, avaliado aos 48 DAE, não foi afetado pelos tratamentos. Isso indica que a fitotoxicidade do herbicida, que foi superior no tratamento com a aplicação apenas em PÓS, 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, o que 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 PÓS, 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.

A estatura de plantas, avaliada no momento da colheita, não foi afetada pela aplicação do herbicida (Tabela 2). Para os componentes de 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 do cultivar IRGA 422 CL não foi afetada pelos tratamentos com o herbicida, ainda que na avaliação de fitotoxicidade inicial tenham 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; Agostinetto et al., 2005). O tratamento com aplicação do herbicida apenas em PÓS ocasionou maior fitotoxicidade, mas sem reflexos na produtividade. Entretanto, em condições adversas ao 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 PÓS, se comparado à aplicação em PRÉ.

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 esse tratamento.

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 do cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria-RS, 2006

Herbicida	Tratamento		Estatura (cm)	PMQ (n ^o)	EP	EE (%) ^{4/}	MMG (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	
	PRÉ ^{1/}	PÓS ^{2/}							
		(g i.a. ha ⁻¹)							
Testemunha	0	0	---	---	---	---	---	---	
Imazethapyr +imazapic ^{3/}	0	100	74 ^{ns}	662 ^{ns}	74 ^{ns}	24 ^{ns}	28 ^{ns}	5.765 ^{ns}	
Imazethapyr +imazapic	50	50	73	632	81	25	28	5.764	
Média			74	647	78	25	28	5.765	
CV(%)			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 V₃, segundo escala de Counce et al. (2000);

^{3/} Recomendação para o cultivo do arroz tolerante a imidazolinonas no Brasil; ^{4/} Para análise, os dados foram transformados em $yt | \sqrt{y 2 I}$;

^{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 (P<0,05).



Para determinar o fluxo gênico entre arroz-vermelho e arroz tolerante a imidazolinonas, foram coletadas e analisadas todas as 4.637 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). Esses 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) afirmam que as taxas de cruzamento entre o arroz tolerante e o arroz-vermelho variam de 0,0045% a 0,0014%, dependendo do cultivar. Segundo Magalhães Jr. 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 5 metros. Cabe ressaltar que as sementes coletadas foram oriundas das plantas que estavam na parcela, ou seja, a distância entre o arroz-vermelho e o 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 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 do cultivar IRGA 417, semeados em sucessão à aplicação dos herbicidas (Tabela 4). Verificou-se que, nas avaliações de massa seca do azevém, o tratamento com

Tabela 3 - Efeito residual do herbicida imazethapyr + imazapic sobre o azevém (*Lolium multiflorum*) semeado 196 dias após a aplicação dos herbicidas em PRÉ, através da análise da massa seca da parte aérea coletada aos 119 e 137 dias após a semeadura (DAS). Santa Maria-RS, 2006

Tratamento			MS 119 DAS (kg ha ⁻¹)	MS 137 DAS (kg ha ⁻¹)
Herbicida	PRÉ ^{1/}	PÓS ^{2/}		
	(g i.a. ha ⁻¹)			
Testemunha	0	0	1.997 b ^{4/}	2.760 b
Imazethapyr +imazapic ^{3/}	0	100	2.509 a	3.130 ab
Imazethapyr +imazapic	50	50	2.506 a	3.320 ab
Média			2.337	3.070
CV(%)			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 tolerante a imidazolinonas no Brasil; ^{4/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra, para cada parâmetro analisado, diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 4 - Efeito residual do herbicida imazethapyr + imazapic no estande inicial (EI) dos cultivares IRGA 417 e IRGA 422 CL, na safra 2005/06, semeado 361 dias após a aplicação em PRÉ dos herbicidas do grupo das imidazolinonas. Santa Maria-RS, 2006

Tratamento utilizado na safra 04/05			EI	Redução EI	EI	Redução EI
Herbicida	PRÉ ^{1/}	PÓS ^{2/}	IRGA 417		IRGA 422 CL	
	(g i.a. ha ⁻¹)		(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
CV(%)			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 tolerante a imidazolinonas no Brasil; ^{4/} Na coluna, médias não seguidas da mesma letra diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).



menor valor foi a testemunha. Isso se deve à 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 ao 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.

O estande inicial do cultivar IRGA 417 foi afetado 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, causando morte de plântulas. Em geral, a persistência dos herbicidas do grupo das imidazolinonas aumenta conforme aumenta o teor de argila e matéria orgânica do solo, e diminuindo com o aumento do pH (Mangels, 1991; Oliveira Jr. et al., 1999; Stougaard et al., 1990). Segundo Marsh & Lloyd (1996), na cultura do milho os maiores danos de persistência do herbicida imazaquin ocorrem quando o pH é menor ou igual a 5,5; assim, nas condições do experimento, com baixo teor de argila e de matéria orgânica, o principal fator de solo que atua na persistência desses herbicidas é o pH. Comparando o estande inicial do cultivar IRGA 417 com o estande do cultivar IRGA 422 CL, observa-se que este foi menor no cultivar não-tolerante. Mesmo o estande do cultivar tolerante foi afetado quando no ano anterior foram utilizados herbicidas do grupo das imidazolinonas. Os principais mecanismos da degradação desses herbicidas no solo são a degradação microbiana (Goetz et al., 1990) e a decomposição fotolítica, especialmente quando expostos à luz ultravioleta (Mallipudi et al., 1991). Portanto, deve-se levar em conta o sistema de cultivo utilizado, que foi o plantio direto; assim, ocorre menor exposição dos herbicidas à luz e à ação dos microrganismos, diminuindo conseqüentemente a degradação desses herbicidas.

Sumarizando os resultados desse experimento, a mistura formulada dos herbicidas imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹) controla eficientemente o arroz-vermelho em arroz tolerante e, embora presente alta fitotoxicidade inicial no primeiro ano de aplicação, não afeta a produtividade do cultivar tolerante.

O estande inicial do cultivar IRGA 417, semeado 361 dias após a aplicação dos herbicidas em PRÉ, é afetado pelo residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹).

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

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq, FAPERGS e UFSM, pelo auxílio financeiro; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida a Enio Marchezan; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de Mestrado concedida a Silvio Carlos Cazarotto Villa.

LITERATURA CITADA

- AGOSTINETTO, D. et al. Arroz-vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ci. Rural**, v. 31, n. 2, p. 341-349, 2001.
- 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. 567 p. v. 1. p. 143-145.
- BALBINOT Jr., A. A. et al. Características de plantas de arroz e a habilidade competitiva com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 165-174, 2003.
- BALL, D. A. et al. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotationl crops. **Weed Technol.**, v. 17, n. 1, p. 161-165, 2003.
- COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Sci.**, 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 Sci.**, 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 Technol.**, 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 Sci.**, 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. **J. Agric. Food Chem.**, v. 39, n. 2, p. 412-417, 1991.
- MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in the aquatic environment. In: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 183-190.
- MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ci. Rural**, v. 24, n. 2, p. 415-421, 1994.
- MARSH, B. H.; LLOYD, R. W. Soil pH effect on imazaquin persistence in soil. **Weed Technol.**, v. 10, n. 2, p. 337-340, 1996.
- OLIVEIRA Jr., R. S. et al. Spatial variability of imazethapyr sorption in soil. **Weed Sci.**, 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 Technol.**, v. 17, n. 3, p. 526-533, 2003.
- RENNER, K. A. et al. Effect of tillage an application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technol.**, v. 12, n. 2, p. 281-285, 1998.
- SILVA, M. P. **Identificação de sementes de arroz mutante tolerante ao princípio herbicida imazethapyr**. 2003. 30 f. 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 Technol.**, 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 Sci.**, v. 36, n. 1, p. 67-73, 1990.
- VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: VIDAL, R.A., 1997. 165 p.
- 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 Agric.**, v. 45, n. 1, p. 16-17, 2002.

