



Sumário

Manejo da adubação e seus efeitos na ocorrência de algas e na produtividade de arroz irrigado em áreas com residual de imidazolinonas

Imazethapyr and imazapic runoff under continuous and intermitente irrigation of paddy rice

Carbofuran promotes biochemical changes in carp exposed to rice field and laboratory conditions

Manejo do solo e residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em arroz não tolerante

Doses e épocas de aplicação do herbicida only em duas cultivares de arroz tolerante a imidazolinonas

Resíduos de herbicidas utilizados na cultura do arroz na água de irrigação

Banco de sementes de arroz vermelho com uso do sistema clearfield

Alternativas de utilização de áreas de arroz irrigado após o uso do sistema clearfield

Controle de arroz vermelho em arroz tolerante a imidazolinonas e o residual em genótipo de arroz não tolerante

Doses e épocas de aplicação do herbicida only em duas cultivares de arroz tolerante as imidazolinonas

Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em área com cultivo sucessivo de arroz irrigado

Rates and timing of herbicide application in the clearfieldtm system and its carryover to non-tolerant rice

Carryover of formulated mixture of the herbicides imazethapyr and imazapic on non-tolerant rice genotype

Manejo da adubação e seus efeitos na ocorrência de algas e na produtividade de arroz irrigado em áreas com residual de imidazolinonas

Fertilizer management in areas with soil residual of imidazolinone herbicides: effects on algae growth and irrigated rice yield

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori^{I*} Enio Marchesan^I Daniéli Saúl da Luz^{II}
Ana Paula Vestena Cassol^{II} Maria Carolina dos Santos Figueiredo^{II} Maria Angélica Oliveira^{II}
Marcos Venícios Evaldt da Silveira^I Rafael Bruck Ferreira^I

RESUMO

Em determinadas áreas de arroz, ocorre o desenvolvimento de algas que, dependendo da quantidade e associadas com presença de residual no solo de herbicidas do grupo das imidazolinonas, afetam o desenvolvimento do arroz na fase inicial. O objetivo do trabalho foi avaliar manejos da adubação de arroz na composição e estrutura das comunidades de algas e na produtividade de arroz irrigado em áreas com residual de herbicidas do grupo das imidazolinonas. O experimento foi conduzido na safra 2008/09, na Universidade Federal de Santa Maria, onde havia sido aplicado imazethapyr + imazapic na dose de (120+40g i.a. ha⁻¹), na safra 2007/08. Os tratamentos foram compostos por manejos de adubação e duas cultivares de arroz irrigado. A cultivar 'IRGA 417' apresentou maior fitotoxicidade, mas, da mesma forma que os manejos de adubação, esta não interferiu na produtividade de grãos e no desenvolvimento de algas. Os manejos de adubação utilizados e a fitotoxicidade de plantas não influenciam no desenvolvimento de microalgas no fitoplâncton e no perifíton, bem como na produtividade das cultivares de arroz irrigado 'IRGA 422 CL' e 'IRGA 417'.

Palavras-chave: fitotoxicidade, fertilizantes, fitoplâncton, perifíton.

ABSTRACT

Several rice producing areas where soil residuals of imidazolinone herbicides are present have shown the development of algae blooms, which, depending on density, may affect rice plant development. This study aimed to evaluate the effects of different fertilizer management systems on the composition and structure of algae communities and also on rice yield in irrigated areas with imidazolinone soil residuals. The experiment was carried out in the crop year of 2008/09,

at the Federal University of Santa Maria, where a field had been treated with imazethapyr + imazapic (120+40g i.a. ha⁻¹) in the crop year 2 of 2007/08. The treatments included two different fertilizer management systems and two rice cultivars. The 'IRGA 417' showed greater phytotoxicity, but in the same way as the fertilizer managements, it did not affect rice productivity or the development of algae. Thus, the two fertilizer management systems tested and also the phytotoxicity of rice plants did not cause changes on the development of planktonic and periphytic algae, neither did it affect the yield of rice cultivars 'IRGA 422 CL' and 'IRGA 417'.

Key words: phytotoxicity, fertilizers, phytoplankton, periphyton.

INTRODUÇÃO

O arroz é um produto de importância econômica e social, em função de sua ampla adaptabilidade, resposta à aplicação de tecnologias e diversas formas de cultivo. No entanto, a elevação de produtividade é desafio para todos os níveis de tecnologia, sendo o arroz-vermelho um dos principais entraves. Entre as ferramentas mais recentes para o controle de arroz-vermelho está o desenvolvimento de cultivares tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas (OTTIS et al., 2003), sendo esse sistema denominado Clearfield®. Entretanto, esse sistema é recomendado para utilização por no máximo dois anos consecutivos e, após, sugere-se fazer rotação com outros sistemas ou com outras culturas, pois o uso continuado pode provocar injúrias em culturas

^IDepartamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: gersonmss@yahoo.com.br. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Fisiologia, Centro de Educação (CE), UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

sucessoras devido à persistência do herbicida no solo (KRAEMER et al., 2009). Quando da migração do sistema Clearfield® para outro sistema, o efeito residual às cultivares de arroz não tolerantes a esses herbicidas, principalmente no estágio inicial das plantas, pode causar retardamento no crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz. Em trabalho realizado por KRAEMER et al. (2009), o residual da mistura formulada de imazethapyr e imazapic causou fitotoxicidade de 50% na cultivar não tolerante IRGA 417, reduziu o estande de plantas, mas sem alterar a produtividade. No entanto, devido ao menor crescimento inicial das plantas em função da fitotoxicidade, ocorre maior penetração de luz no dossel das plantas e aumento da temperatura da água, condições que favorecem o desenvolvimento de algas (BÉCARES et al., 2008).

Além dos fatores climáticos, a quantidade, a natureza química dos fertilizantes e a forma de sua aplicação influenciam na biomassa de algas. Segundo ROGER (1996), a aplicação de fertilizantes em superfície resulta em maior desenvolvimento de algas quando comparado à incorporação dos fertilizantes. A adubação de base, aliada à elevação da temperatura, propicia o desenvolvimento de algas (DIAZ-PULIDO & MCCOOK, 2005). Segundo MATSUZAKI et al. (2004), fertilizantes tais como o nitrogênio e o fósforo são os principais responsáveis pelo desenvolvimento do fitoplâncton e acumulação de biomassa algal. Embora as algas não sejam daninhas ao arroz, quando há grande desenvolvimento no início do cultivo, pode haver redução na produtividade (ROGER, 1996).

Em vista disso, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes manejos da adubação de arroz na composição e estrutura das comunidades de algas e na produtividade de arroz irrigado em áreas com residual de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2008/09, na área experimental da Universidade Federal de Santa, onde havia sido aplicada imazethapyr + imazapic (120+40g i.a. ha⁻¹), produto comercial Only®, na safra 2007/08. O solo apresentava as seguintes características: argila=24%; pH_{água} (1:1)=5,3; P=6,0mg dm⁻³; K= 52mg dm⁻³; Ca=6,3cmol_c dm⁻³; Mg=2,5cmol_c dm⁻³ e MO=2,0%. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial (5x2), com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por manejos de adubação e duas cultivares de arroz irrigado: (T1) adubação de base N, P e K na linha incorporada

ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água, (T2) adubação em superfície aplicada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água, (T3) adubação em superfície aplicada ao solo por ocasião da entrada da água e com nitrogênio, (T4) sem adubação e com nitrogênio por ocasião da entrada da água e (T5) sem adubação e sem nitrogênio. Utilizou-se a cultivar não tolerante as imidazolinonas, 'IRGA 417', e a tolerante, 'IRGA 422 CL', semeadas em cinco de novembro em sistema convencional na quantidade de 110kg ha⁻¹ de semente. A adubação foi aplicada nas quantidades de 15kg ha⁻¹ de N, 45 de P₂O₅ e 90 de K₂O. O N em cobertura foi aplicado no início do perfilhamento (V4) e na iniciação do primórdio floral (R0), segundo a escala de COUNCE et al. (2000), nas doses 70 e 35kg ha⁻¹, respectivamente. Dez dias após a semeadura, ocorreu a emergência das plantas, sendo a irrigação no estágio V4.

Avaliaram-se as concentrações de nitrogênio (N) e ortofosfato (P) na água de irrigação nas datas: 1, 8, 15, 22 e 100 dias após a irrigação definitiva (DAI), determinadas em laboratório segundo TEDESCO et al. (1995). Além disso, aos 15, 22 e 100DAI, coletou-se uma amostra de água (90mL) na subsuperfície de cada parcela e uma planta de arroz para identificação da riqueza de algas e estimativa da densidade de células no fitoplâncton e no perifíton, respectivamente. A análise qualitativa foi realizada em microscópio ótico de campo claro e a quantitativa foi realizada segundo UTERMÖHL (1958), em microscópio ótico invertido. Para o enquadramento dos táxons identificados em classes, utilizou-se a classificação de ROUND (1971).

A fitotoxicidade foi avaliada por observação visual aos 5, 12 e 19DAI, utilizando escala de 0 a 100%, na qual 0 corresponde à ausência de sintomas e 100% corresponde à mortalidade total das plantas. A produtividade foi estimada através da colheita manual de uma área de 3,57m² quando os grãos se encontravam com grau de umidade média de 22%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha⁻¹. O número de panículas m⁻² foi determinado pela contagem das panículas em um metro de linha e nessa mesma área foram coletadas dez panículas por ocasião da colheita para a estimativa do número de grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para a análise estatística, os dados de fitotoxicidade

foram transformados para $y_t = \arccoseno$

$\sqrt{\frac{y + 0,5}{100}}$ e a densidade total de células no

fitoplâncton e esterilidade foram transformados para $y_t = \sqrt{y + 0,5}$. A riqueza de espécies foi obtida pelo somatório do número de espécies que compuseram as comunidades em três repetições para o fitoplâncton e uma para o perifíton. As densidades médias de células do fitoplâncton foram obtidas de três repetições e para o perifíton uma repetição. A densidade total de células no fitoplâncton foi determinada pela soma das células em cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a fitotoxicidade de plantas (Tabela 1), não houve interação entre os manejos de adubação e

cultivares e não foi constatada diferença entre os manejos de adubação nas três épocas de avaliação, realizadas aos 5, 12 e 19DAI. A cultivar 'IRGA 417' apresentou maior fitotoxicidade em comparação a 'IRGA 422 CL', estando de acordo com KRAEMER et al. (2009), o qual relata que a persistência do herbicida no solo pode provocar injúrias em culturas sucessoras. Embora houvesse fitotoxicidade nas plantas até os 19DAI, isso não se refletiu na produtividade de grãos (Tabela 1), concordando com os resultados de KRAEMER et al. (2009). Entre os manejos de adubação, verificaram-se diferenças na produtividade apenas em T5, em que não houve adubação, corroborando os dados obtidos por MARCHEZAN et al. (2007), os quais relatam que a produtividade de arroz irrigado no sistema pré-germinado não é influenciada pelo momento e modo de realização da adubação fosfatada e potássica. Em função da fitotoxicidade, a cultivar 'IRGA 422 CL'

Tabela 1 - Fitotoxicidade de plantas por ação residual no solo de herbicidas do grupo das imidazolinonas, em três épocas de avaliação em dias após a irrigação (DAI), produtividade, panículas por metro quadrado (PMQ), massa de mil grãos (MMG), rendimento de engenho (RE), número de grãos por panícula e esterilidade de espiguetas, em função da aplicação dos tratamentos nas cultivares 'IRGA 417' e 'IRGA 422' CL. Santa Maria, RS, 2010.

Tratamentos	-----Fitotoxicidade (%)-----			Produtividade (kg ha ⁻¹)	PMQ	MMG (g)	RE (%)
	5DAI	12DAI	19DAI				
T1*	35 ^{ns}	12 ^{ns}	2 ^{ns}	9.497 a ¹	606 a	25,0 ^{ns}	60,0 ^{ns}
T2	45	26	7	9.797 a	573 a	24,2	59,7
T3	51	32	7	9.414 a	616 a	25,1	59,6
T4	42	20	3	9.846 a	491 b	24,9	59,4
T5	36	18	2	7.590 b	478 b	25,5	59,9
-----Cultivar-----							
‘IRGA 417’	64 a	35 a	7 a	9.086 ^{ns}	507 b	24,3 b	60,6 a
‘IRGA 422 CL’	19 b	8 b	1 b	9.372	592 a	25,6 a	58,9 b
Média	42	22	4	9.223	549,5	24,9	59,7
CV (%)	18	23	60	6	9,3	3,5	1,5
-----Número de grãos por panícula-----							
	T1*	T2	T3	T4	T5	Média	
‘IRGA 417’	66 bB	72 nsA	64 bB	65 aB	75 aA	68,4 a	
‘IRGA 422 CL’	73 aAB	73 AB	68 aB	59 bC	55 bC	65,6 b	
Média	69,5	72,5	66	62	65		
CV (%)			3,7				
-----Esterilidade de espiguetas (%)-----							
‘IRGA 417’	12,9 nsAB	9,6 bAB	11 bAB	11,8 nsAB	7,3 nsB	10,5 b	
‘IRGA 422 CL’	11,2 BC	12 aBC	16,2 aAB	13,5 ABC	9 C	12,3 a	
Média	12	10,8	13,6	12,6	8,1		
CV (%)			13				

*T1: adubação de base N, P e K (adubação) na linha incorporada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água;

T2: adubação em superfície aplicada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água;

T3: adubação em superfície aplicada ao solo por ocasião da entrada da água e com nitrogênio;

T4: sem adubação e com nitrogênio por ocasião da entrada da água;

T5: sem adubação e sem nitrogênio.

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste Tukey P=0,05.

^{ns} Não significativo em nível P=0,05.

apresentou maior número de panículas m^{-2} e maior massa de mil grãos, porém, não resultou em produtividade, pois a 'IRGA 417' compensou com maior número de grãos por panículas e menor esterilidade de espiguetas, com média de produtividade do experimento de 9.500kg ha^{-1} .

As concentrações de N e P na água variaram entre os manejos de adubação e a época de avaliação (Figura 1). O tratamento T3, com aplicação do adubo sobre a superfície, proporcionou maior concentração de N em comparação aos demais tratamentos em um DAI. Com o decorrer das avaliações, observou-se que diminuem as diferenças entre os manejos de adubações, bem como se reduzem as concentrações do fertilizante na água. De maneira semelhante ao N, o P demonstrou as maiores concentrações no T3 para a maioria das avaliações. A aplicação direta de fertilizantes em água torna-os prontamente solúveis, resultando em maior concentração. A redução da concentração na água com o decorrer do tempo pode estar relacionada ao potencial de perdas do N e para o P, adsorção às partículas do solo, além da absorção pelas plantas de arroz, somada à utilização pelas algas.

Embora tenha havido maior disponibilidade de fertilizantes no T3, isso não resultou em maior desenvolvimento de algas no fitoplâncton aos 15, 22 e 100DAI (Tabela 2). As elevadas temperaturas da água

até o 22DAI (26°C a 37°C) e o pH favorável (5,8 a 6,7; dados não apresentados), associados à radiação solar incidente, que foi de 720; 778; 709; 556 e 545MJ m^{-2} para os meses de novembro, dezembro, janeiro fevereiro e março, respectivamente (INMET, 2010), favoreceu o desenvolvimento de comunidades metafiticas. Essas florações podem ter sombreado o fitoplâncton, diminuindo sua atividade fotossintética e reprodução, conforme também observado por McCORMICK et al. (2001). O fitoplâncton é capaz de assimilar nitrogênio inorgânico dissolvido em concentrações bastante abaixo daquelas do presente experimento, o que leva a crer que os nutrientes presentes foram suficientes para suprir as necessidades das microalgas. ARIYADEJ et al. (2004) e ÖZKAN et al. (2010) também registraram baixas densidades de fitoplâncton mesmo com níveis altos de nutrientes.

Entre as cultivares, também não houve diferença na densidade do fitoplâncton (Tabela 2). Isso pode ser explicado pela rápida recuperação das plantas da fitotoxicidade, pois aos 19DAI (Tabela 1) estas praticamente não apresentavam mais sintomas, o que provavelmente não afetou diferenciadamente os tratamentos quanto à penetração de luz no dossel.

Ao todo, oito classes estiveram representadas na comunidade fitoplanctônica. A figura 2 (A, B, e C) ilustra a riqueza de espécies e densidade

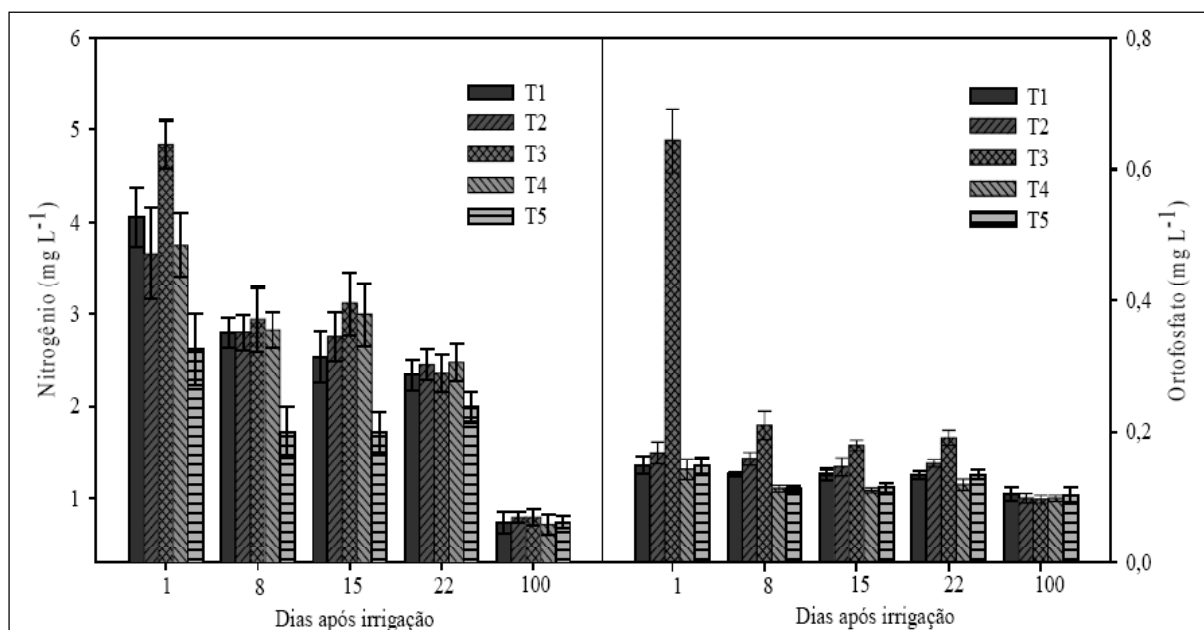


Figura 1 - Concentrações de nitrogênio e ortofosfato na água em resposta à aplicação dos tratamentos. Santa Maria, RS, 2010. As barras de erros correspondem ao intervalo de confiança em 95% de probabilidade. T1: adubação de base N, P e K (adubação) na linha incorporada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T2: adubação em superfície aplicada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T3: adubação em superfície aplicada ao solo por ocasião da entrada da água e com nitrogênio; T4: sem adubação e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T5: sem adubação e sem nitrogênio.

Tabela 2 - Densidade total (células mL⁻¹) do fitoplâncton em três épocas de avaliação em dias após a irrigação (DAI), em função da aplicação dos tratamentos nas cultivares 'IRGA 417' e 'IRGA 422 CL'. Santa Maria, RS, 2010.

Tratamentos	Células mL ⁻¹		
	15DAI	22DAI	100DAI
T1*	25 ^{ns}	2374 ^{ns}	1152 ^{ns}
T2	47	1791	1174
T3	25	1714	489
T4	24	1750	606
T5	71	1000	2114
Cultivar			
'IRGA 417'	30 ^{ns}	1963 ^{ns}	983 ^{ns}
'IRGA 422 CL'	47	1488	1231
Média	38	1726	1107
CV (%)	43	36	45

*T1: adubação de base N, P e K (adubação) na linha incorporada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água;

T2: adubação em superfície aplicada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água;

T3: adubação em superfície aplicada ao solo por ocasião da entrada da água e com nitrogênio;

T4: sem adubação e com nitrogênio por ocasião da entrada da água;

T5: sem adubação e sem nitrogênio.

^{ns} Não significativo em nível P=0,05.

de células em cada classe aos 15, 22 e 100DAI. As classes *Euglenophyceae* e *Cyanophyceae* estiveram bem representadas nas três épocas de avaliação (Figura 2D, 2E e 2F). FURTADO & DE LUCA (2003) também documentaram a predominância dessas classes no fitoplâncton em cultura de arroz, especialmente no final do ciclo. A riqueza total do fitoplâncton foi maior aos 22DAI no T4 e aos 100DAI no T2, ambos com 22 espécies identificadas. Aos 15DAI (Figura 2A) os representantes de *Chlorophyceae* apresentaram o maior número em todos os tratamentos, enquanto que aos 22DAI (Figura 2B) *Euglenophyceae* predominou, demonstrando uma substituição do grupo mais rico, possivelmente com um maior número de espécies adaptadas ao ambiente raso. SILVA & TAMANAHA (2008) e PEREIRA et al. (2000) também documentaram riquezas altas de *Euglenophyceae* em arrozais.

No perifíton, foram identificados indivíduos dos filos Chlorophyta, Bacillariophyta e Cyanobacteria também citados por GOLDSBOROUGH & ROBSON (1996) como predominantes no epifíton de áreas úmidas e ricas em nutrientes. Em relação à riqueza total de espécies no perifíton (Figura 3A, 3B e 3C), as maiores médias foram aos 100DAI em T3 e T1. Mudanças nas características gerais das comunidades perifíticas ao longo do processo de maturação são bem documentadas (JANSEN & ALTENBURGER, 2005). Quanto à distribuição da riqueza, *Bacillariophyceae* e *Chlorophyceae* apresentaram o maior número de espécies aos 15, 22 e 100DAI. Até os 22DAI,

Bacillariophyceae predominou, porém, aos 100DAI, *Chlorophyceae* foi melhor representada. Esta substituição se deve às formas de crescimento predominantes e às variações na arquitetura da comunidade perifítica ao longo do processo de amadurecimento. Enquanto as *Bacillariophyceae* apresentam formas de crescimento de prostradas a verticalmente aderidas, as algas verdes podem se estabelecer nos estratos superiores da comunidade, geralmente predominando em comunidades mais próximas do platô de crescimento (OLIVEIRA & SCHWARZBOLD, 1998).

A densidade total do perifíton apresentou um incremento aos 22 e 100DAI em relação à primeira data. Diversos trabalhos documentam o pico de crescimento das comunidades aderidas em torno de quatro a seis semanas, sendo que após esse período existem perdas de biomassa devido ao pastejo e à senescência (VILLENEUVE et al., 2010). Quanto à distribuição da densidade do perifíton por classe, *Oedogoniophyceae* e *Zygnemaphyceae* foram as predominantes aos 15 e 22DAI, respectivamente. Por outro lado, aos 100DAI *Cyanophyceae* e *Chlorophyceae* estiveram melhor representadas. VILLENEUVE et al. (2010) descreve a sucessão das comunidades perifíticas como quantitativamente dominadas inicialmente por diatomáceas, em seguida, desenvolvem-se as formas filamentosas como *Oedogonium* e *Zygnema*. Finalmente, após alcançado o platô de crescimento, passa a haver predomínio de cianobactérias.

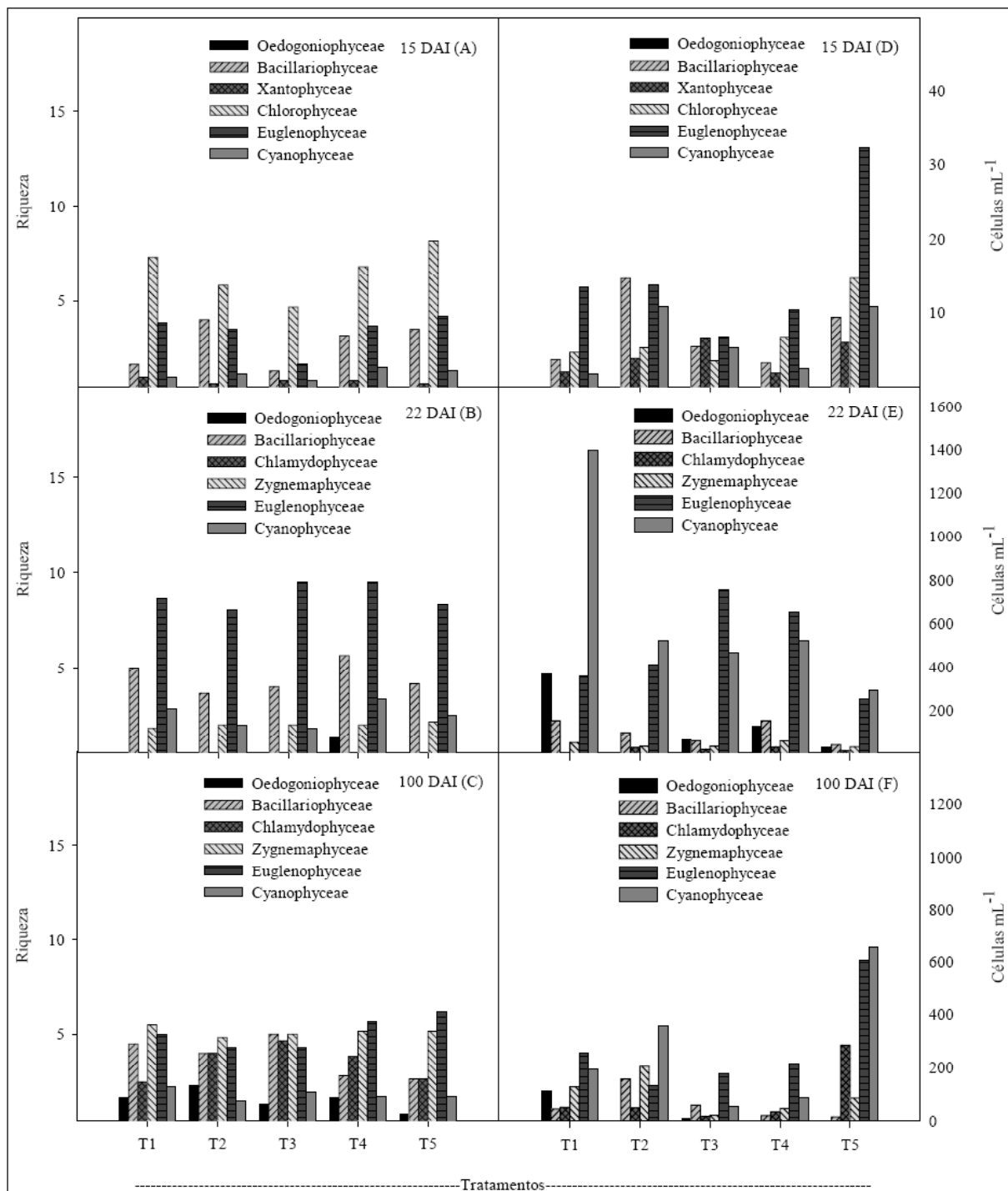


Figura 2 - Riqueza de espécies e densidade de células no fitoplâncton aos 15, 22 e 100 dias após a irrigação (DAI) em resposta à aplicação dos tratamentos. Santa Maria, RS, 2010.

T1: adubação de base N, P e K (adubação) na linha incorporada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T2: adubação em superfície aplicada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T3: adubação em superfície aplicada ao solo por ocasião da entrada da água e com nitrogênio; T4: sem adubação e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T5: sem adubação e sem nitrogênio.

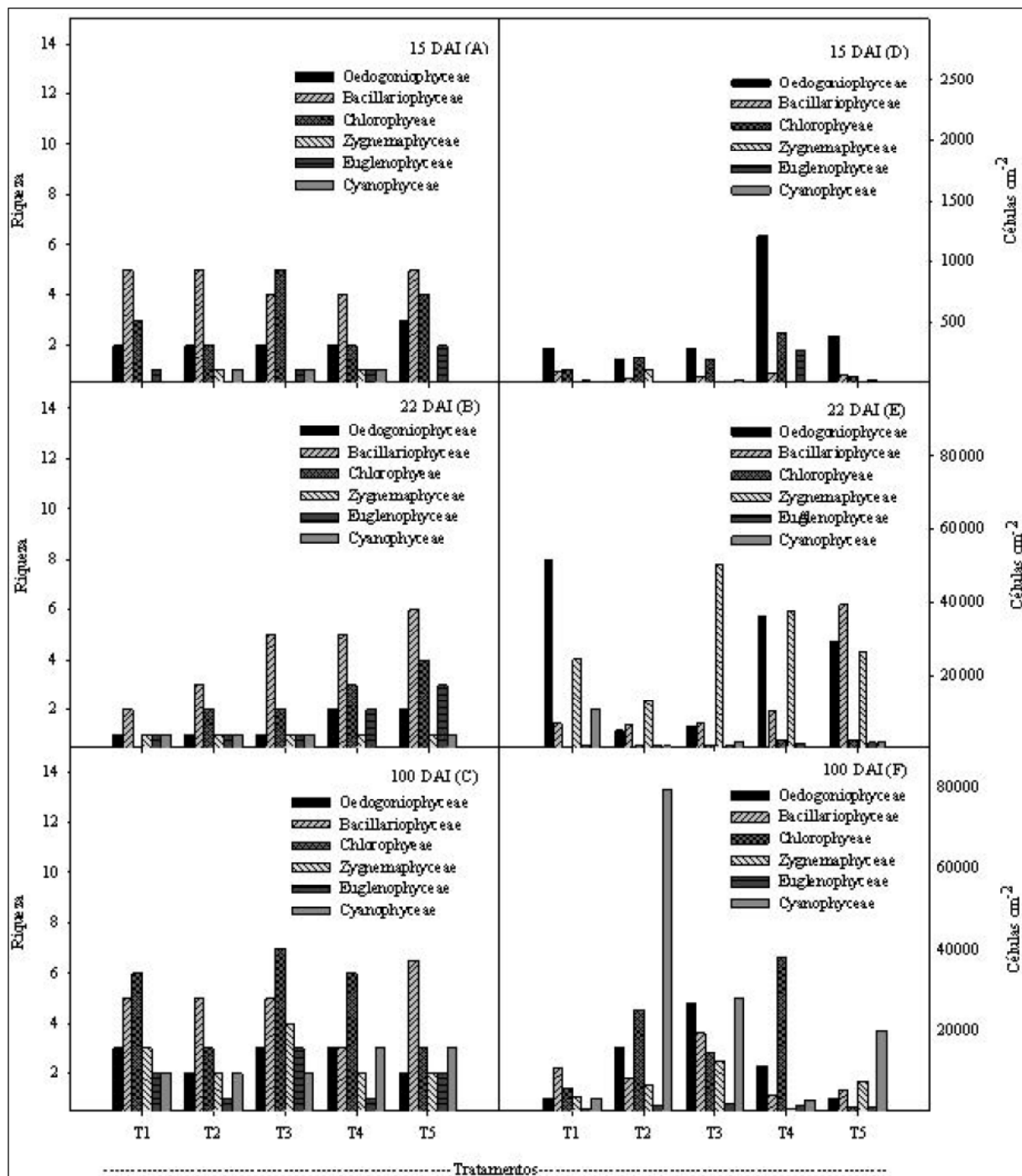


Figura 3 - Riqueza de algas e células cm^{-2} no perífiton aos 15, 22 e 100 dias após a irrigação (DAI) em resposta à aplicação dos tratamentos. Santa Maria, RS, 2010.

T1: adubação de base N, P e K (adubação) na linha incorporada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T2: adubação em superfície aplicada ao solo no momento da semeadura e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T3: adubação em superfície aplicada ao solo por ocasião da entrada da água e com nitrogênio; T4: sem adubação e com nitrogênio por ocasião da entrada da água; T5: sem adubação e sem nitrogênio.

CONCLUSÃO

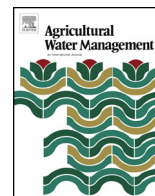
Os manejos de adubação utilizados e o grau de fitotoxicidade proporcionado pelos herbicidas às plantas de arroz não influenciam no desenvolvimento de microalgas no fitoplâncton e no perifíton, bem como a produtividade das cultivares de arroz irrigado 'IRGA 422 CL' e 'IRGA 417'.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de apoio técnico à pesquisa para Gerson Meneghetti Sarzi Sartori e pela bolsa de produtividade em pesquisa para Enio Marchesan.

REFERÊNCIAS

- ARIYADEJ, C. et al. Phytoplankton diversity and its relationships to the physico-chemical environment in the Banglang Reservoir, Yala Province. **Songklanakarin Journal of Science Technology**, v.26, n.5, p.595-607, 2004.
- BÉCARES, E. et al. Effects of nutrients and fish on periphyton and plant biomass across a European latitudinal gradient. **Aquatic Ecology**, v.42, n.4, p.561-574, 2008. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/6204h3202v356635/>>. Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1007/s10452-007-9126-y.
- COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n.2, p.436-443, 2000.
- DIAZ-PULIDO, G.; MCCOOK, L.J. Effects of nutrient enhancement on the fecundity of a coral reef macroalga. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.317, n.1, p.13-24, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098104006240>>. Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1016/j.jembe.2004.11.013.
- FURTADO, D.F.; LUCA, S.J. Técnicas de cultivo de arroz irrigado: relação com a qualidade de água, protozoários e diversidade fitoplanctônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.165-172, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000100027>. Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1590/S1415-43662003000100027.
- GOLDSBOROUGH, L.G.; ROBSON, G.C. *Pattern in Wetlands* 1996. In: STEVENSON, J. et al. (Ed.). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. San Diego: Academic, 1996. p.78-109.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Online. Acesso em: 14 dez. 2010.
- JANSEN, S.M.; ALTENBURGER, R. Predicting and observing responses of algal communities to photosystem II-herbicide exposure using pollution-induced community tolerance and species-sensitivity distributions. **Environmental Toxicology & Chemistry**, v.24, n.2, p.304-312, 2005. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1897/03-647.1/full>>. Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1897/03-647.1.
- KRAEMER, A.F. et al. Persistência dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v.27, n.3, p.581-588, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-83582009000300020&script=sci_arttext>. Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1590/S0100-83582009000300020.
- MCCORMICK, P.V. et al. Periphyton responses to experimental phosphorus enrichment in a subtropical wetland. **Aquatic Botany**, v.71, n.2, p.119-139, 2001.
- MARCHEZAN, E. et al. Manejo dos fertilizantes fosfatados e potássicos em arroz irrigado no sistema pré-germinado. **Bragantia**, v.66, n.2, p.219-226, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052007000200005&script=sci_arttext>. Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1590/S0006-87052007000200005.
- MATSUZAKI, M. et al. Comunidade fitoplanctônica de um pesqueiro na cidade de São Paulo. **Revista Saúde Pública**, v.5, n.38 p.679-686, 2004.
- OLIVEIRA, M.A.; SCHWARZBOLD, A. Influência de fatores abióticos sobre a estrutura da comunidade perifítica de limnotopos da Bacia do Arroio Sampaio, Mato Leitão, Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre. **Iheringia Série Botânica**, v.51, p.39-61, 1998.
- OTTIS, B.V. et al. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, n.3, p.526-533, 2003.
- ÖZKAN, K. et al. The response of periphyton and submerged macrophytes to nitrogen and phosphorus loading in shallow warm lakes: a mesocosm experiment. **Freshwater Biology**, v.55, n.2, p.463-475, 2010.
- PEREIRA, I. et al. Cyanophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae, Zygnematophyceae & Charophyceae em arrozais de Chile. **Gayana: Botânica**, v.57, p.29-53, 2000.
- ROGER, P.A. **Biology and management of the floodwater ecosystem in rice fields**. Manila 1999, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), P. O. Box 933, 1996. 250p.
- ROUND, F.E. The taxonomy of the Chlorophyta, II. **British Phycological Journal**, v.6, n.2, p.235-264, 1971.
- SILVA, S.M.A da.; TAMANAHA, M. da S. Ocorrência de Euglenophyceae pigmentadas em rizipiscicultura na região do Vale do Itajaí, SC, Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.22, n.1 p.145-163, 2008.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton metodik. **Mitt. Int. Rer. Theor. Argrew. Limnology**, v.9, p.1-38, 1958.
- VILLENEUVE, A. et al. Influence of slight differences in environmental conditions (light, hydrodynamics) on the structure and function of periphyton. **Aquatic Sciences**, v.72, n.1, p.33-44, 2010. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/u72w2718p21wk855/>> Acesso em: 11 mar. 2010. doi: 10.1007/s00027-009-0108-0.



Imazethapyr and imazapic runoff under continuous and intermittent irrigation of paddy rice



Luiz Fernando Dias Martini^a, Rafael Frigueto Mezzomo^a, Luis Antonio de Avila^{a,*}, Joseph Harry Massey^b, Enio Marchesan^a, Renato Zanella^a, Sandra Cadore Peixoto^a, João Paulo Refatti^a, Guilherme Vestena Cassol^a, Mariah Marques^a

^a Universidade Federal de Santa Maria, 1000 Roraima av., 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil

^b Mississippi State University, 117 Dorman Hall, 39762, Starckville, MS, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 July 2012

Received in revised form 20 March 2013

Accepted 8 April 2013

Available online 21 May 2013

Keywords:

Environmental contamination

Pesticide runoff

Storage of rainwater

ABSTRACT

In the Brazilian state of Rio Grande do Sul, rice (*Oryza sativa*) is predominantly grown using a continuous flood, which can cause herbicide runoff when fields are over-irrigated or heavy rainfall occurs. Proper irrigation and drainage management can reduce herbicide transport to the environment. The objective of this study was to evaluate the effect of different irrigation practices on water runoff and the transport and dissipation of the herbicides imazethapyr and imazapic. The experiments were conducted in the 2007/08 and 2008/09 growing seasons at the experimental area of the Universidade Federal de Santa Maria. The treatments comprised two irrigation management systems: continuous flooding of an approximate 10-cm flood depth and intermittent flooding where the flood was allowed to fully subside before being reestablished to a 10-cm height. The amount of water runoff and the rates of herbicide dissipation and transport were evaluated. Owing to increased storage of rainwater, intermittent flooding reduced water runoff by 47% and runoff of imazethapyr and imazapic by 89 and 77%, respectively, relative to the continuously flooded control. Imazapic was significantly more persistent than imazethapyr, but there was no effect of irrigation management on herbicide persistence in water.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Rice (*Oryza sativa*) production in southern Brazil uses flood irrigation and intensive use of pesticides to obtain high yields. Pesticides are used to minimize competition from pests such as weeds, insects and diseases (Marchezan et al., 2007) so as to express the full production potential of rice.

After application, all pesticides are subject to different transformation mechanisms in the environment, such as chemical degradation, photolysis, and degradation by microorganisms, as well as transport by volatilization, leaching and runoff (Harper, 1994). Pesticide transport can cause environmental contamination and ecosystem impacts, mainly of surface water sources.

In paddy rice fields, contamination of water bodies has a significant importance. Most of these fields are located in low elevation areas, with the water table near the soil surface and/or positioned close to streams, creeks or rivers. These factors make rice fields potential sources of water pollution and can affect both aquatic ecosystems and drinking water quality.

The rice crop in Rio Grande do Sul is produced primarily using flood irrigation, characterized by keeping a shallow flood on the crop during the entire crop cycle (IRGA, 2009). This widely adopted irrigation practice requires a continuous input of water to avoid drought stress, which can cause losses in yield, and is also used to suppress the germination and emergence of certain weeds (Radosevich et al., 1997).

Use of a permanent or continuous flood may increase percolation losses (Walker, 1999), which increases water demand (Stone, 2005; Watanabe et al., 2006, 2007), and may also increase the occurrence of runoff from the rice crop during rainfall events. In these situations, runoff can transport herbicides dissolved in solution and/or adsorbed to soil colloids (Watanabe et al., 2006, 2007; Chang et al., 2007; Phong et al., 2008a,b), promoting greater risk of environmental contamination.

Surface water monitoring studies have found contamination in rivers and lakes. In the U.S., Battaglin et al. (2000) found that 83% of

* Corresponding author. Tel.: +55 53 8125 0417.

E-mail addresses: fernando-martini@hotmail.com (L.F.D. Martini), rafaelmezzomo@gmail.com (R.F. Mezzomo), laavilabr@gmail.com (L.A. Avila), jmassey@pss.msstate.edu (J.H. Massey), eniomarchesan@gmail.com (E. Marchesan), larp.rz@yahoo.com.br (R. Zanella), sandracadore@bol.com.br (S.C. Peixoto), joaopaulorefatti@hotmail.com (J.P. Refatti), guilhermemevcassol@hotmail.com (G.V. Cassol), mariahmarques@mail.com (M. Marques).

all surface water samples contained at least one herbicide belonging to the sulfonylurea, sulfonamide or imidazolinone chemical families. Among these, the herbicide imazethapyr had a significant presence and was detected in 72% of all samples, demonstrating the high susceptibility of transport of this herbicide, which is widely used in rice crops in southern Brazil. In the state of Rio Grande do Sul, Brazil, Silva et al. (2009) reported a large number of pesticides detected in surface water in different regions. Fipronil, an insecticide, was the most frequently detected pesticide followed by imazethapyr, clomazone, tebuconazole, imazapic, quinclorac, penoxsulam and 3-hydroxy-carbofuran (carbofuran metabolite).

Proper irrigation management, in general, can reduce pesticide transport to the environment. In this sense, Watanabe et al. (2007) reported that with continuous irrigation, the total amount of simetryn, thiobencarb and mefenacet carried was 37, 12 and 35%; however, with intermittent irrigation management, these losses were reduced to 3.8, 1.2, 2.7%, respectively. In another study, Watanabe et al. (2006) reported cumulative losses of 38 and 49% of the total applied mefenacet and bensulfuron-methyl in the fields managed with continuous flooding, but with intermittent irrigation management there were no losses.

Intermittent irrigation of rice, besides maintaining high yields levels compared to continuous irrigation (Belder et al., 2004), allows water-savings (Borrell et al., 1997; Stone, 2005). This improved irrigation efficiency is provided by better use of rainfall (Borrell et al., 1997; Toeschler et al., 1997) and reduced losses due to leakage (Stone, 2005; Watanabe et al., 2006, 2007) and percolation through the soil profile (Borrell et al., 1997; Tuong and Bhuiyan, 1999; Tabbal et al., 2002; Stone, 2005; Tuong et al., 2005).

Thus, the irrigation management of rice crops can be an important tool in saving irrigation water and in mitigating the transport of herbicides to the environment. The aim of this study was to evaluate the effect of continuous and intermittent rice irrigation on water use and runoff, transport and dissipation of the herbicides imazethapyr and imazapic.

2. Material and methods

A field experiment was conducted in the 2007/08 and repeated in the 2008/09 growing seasons at the experimental area of Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. The soil is an Albaqualf sandy-loam, with the following characteristics: $\text{pH}_{\text{water}} (1:1) = 5.1$, clay content = 21%, organic matter content = 1.9%, $\text{P} = 18 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{K} = 36 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Ca} = 4.8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 1.8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Al} = 1.7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

The experiments were arranged in a complete randomized design in a factorial arrangement with four replications. Factor A was crop season (2007/08 and 2008/09) and factor B consisted of two irrigation treatments: continuous flood (CF) and intermittent flood (IF). After beginning of irrigation, in CF plots, water depth was kept at 10 cm until the end of crop cycle. In IF, which started at same day of CF, complete subsiding of a 10-cm flood was allowed to the point of soil saturation at which point the flood was reestablished to a 10-cm depth. In this treatment, three wetting-drying cycles were conducted during each growing season. For both treatments, irrigation was stopped when the rice plants were at the R7 growth stage, which occurred 92 days after beginning of irrigation (DABI) (Counce et al., 2000).

The experimental plots were 57 m^2 ($15 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$) in size and were separated by 0.3-m-high levees constructed of soil prior to establishment of the experiment. Rice cultivar 'IRGA 422 CL' was planted on November 8th, 2007 and November 3rd, 2008 at a seeding rate of 120 kg ha^{-1} with a 0.17-m row spacing in a conventional tillage and no-tillage systems, respectively to 2007/08 and 2008/09. The seeds were previously treated with the insecticide fipronil at

a rate of $37.5 \text{ g ai } 100 \text{ kg}^{-1}$ seed. Cultural practices such as fertilization and pest control were performed according to rice production recommendations for the region (SOSBAI, 2007).

Weeds were controlled in pre and postemergence. In preemergence it was applied glyphosate at $1440 \text{ g ai ha}^{-1}$. Postemergence herbicides were applied in December 5, 2007 and November 28, 2008 using a commercial pre-mixture of imazethapyr and imazapic at a rate of 1 L ha^{-1} (75 and 25 g ai L^{-1}) at the V3–V4 stage of rice growth. The physico-chemical characteristics of herbicides are listed in Table 1. The herbicides were sprayed with a backpack CO_2 pressurized sprayer using TeeJet XR 110015 flat fan nozzles at 140 kPa pressure, resulting in a spray volume of 150 L ha^{-1} . The irrigation treatments were initiated one day after the application of post-emergence herbicides.

Irrigation was performed independently and was automated. The irrigation system was pressurized by a pump that distributed the water independently for each plot. The system was automated by floating valves that stopped the supply of water when the water depth reached 10 cm and by a pressure switch device, which kept the system pressure between 138 and 276 kPa. In case of intermittent irrigation, when reached 100 mm of water depth in each irrigation event, the float valves were closed. In each plot a flow meter was installed that measured the volume of water applied. Flow meter readings were recorded daily and the water depths in each plot were measured using rulers.

In each plot, zero-grade leveling was done and then a gate was installed in the levee at 11 cm from the level of the soil inside each levee. These drainage gates allowed room for the 10-cm flood and 1 cm of freeboard (height of the bank above the highest water level) to prevent water losses due to waves caused by wind (Fig. 1). Each gate consisted of a metallic plate with three rows of 17 drainage holes to collect a fraction of the runoff water. The center holes were connected to a 500-L tank by three hoses installed in 15° down-angle, therefore it was collected 1/17th of the runoff water. The hose gauge selected (50 mm diameter) was adequate, allowing free water flow. The runoff water volumes for each plot were measured after each runoff event using a graduated ruler. Rainfall was obtained from a rain gauge installed in the center of the field.

When runoff events occurred, a 1-L sample was stored in amber glass bottles and transported to the Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas (LARP-UFMS) for analysis of imazethapyr and imazapic. Herbicide runoff was calculated on the basis of concentration of each herbicide in the formulation, which provided a valid comparison between them, giving a variable called percentage of total applied.

The reference evapotranspiration ET_0 was calculated through FAO-Penman Monteith (Allen et al., 1998), using meteorological data from a station 300 m far from the experiment. The daily crop evapotranspiration ET_c was calculated based on rice crop coefficients proposed by Allen et al. (1998): $K_c \text{ ini} = 1.05$, $K_c \text{ mid} = 1.20$ and $K_c \text{ end} = 0.75$. The length of these stages was about 55, 40 and 25 day, respectively.

$$\text{ET}_c = \text{ET}_0 K_c \quad (1)$$

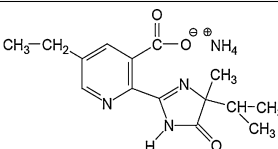
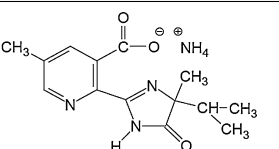
The percolation amount was calculated by the difference between inputs and outputs:

$$\text{PERC} = \text{IRR} + \text{RAIN} - \text{RUNOFF} - \text{ET}_c \quad (2)$$

where PERC is the vertical percolation through paddy soil and the seepage through levees and plot borders; IRR is the irrigation; RAIN is the rainfall; RUNOFF is the paddy water discharge from paddy plot by overflow from drainage gate and ET_c is evapotranspiration.

In each plot, the paddy water was collected in amber glass bottles to determine the herbicide dissipation half-life in water. To be a valid comparison, independently of irrigation management, the concentrations of imazethapyr and imazapic detected in irrigation

Table 1
Molecular structure, physico-chemical properties and Goss classification regarding the probability of surface water contamination by imazethapyr and imazapic herbicides.

	Imazethapyr ^a	Imazapic ^a
Molecular structure		
Molecular weight (g mol ⁻¹)	289.3	275.3
Water solubility (mg L ⁻¹)	1400	2200
K _{ow} ^b	11 (pH 5); 31 (pH 7); 16 (pH 9)	0.16 (pH 5); 0.01 (pH 7); 0.002 (pH 9)
K _{oc} ^c (mL g ⁻¹)	52	206
pK _a ^d	2.1–3.9	2.0; 3.9–11.1
PV ^e (mPa)	<0.013	<0.013
Field half-life (days)	60–90	120
Goss ^f	High potential ^g	High potential

^a Senseman (2007).
^b Partition coefficient between n-octanol and water. Indicates how lipophilic or hydrophilic is the compound (Harper, 1994).
^c Partition coefficient between soil organic matter and soil solution. Tendency of compound to be attached to soil (sorption) (Harper, 1994).
^d Indicates the pH value that 50% of total molecules are associated, in a neutral form and 50% of total molecules are dissociated, ionic form (Harper, 1994).
^e Compound volatility measured by pressure vapor (Gavrilescu, 2005).
^f Method of classification of potential surface water contamination (high, medium and low).
^g Criteria for solution transport classification: (a) DT₅₀soil > 35 days; K_{oc} < 100,000 mL g⁻¹; solubility > 1 mg L⁻¹; or (b) K_{oc} ≤ 700 mL g⁻¹; 10 ≤ solubility ≤ 100 mg L⁻¹ (Goss, 1992).

water were normalized to a 10-cm flood depth in order to remove the effect of dilution from the differences in height of flood between treatments. In 2007/08, samples were obtained at 1, 3, 8, 14, 21, 28, 50 and 74 DABI, and in 2008/09, collections were made 1, 2, 3, 5, 7, 10, 16, 25, 35, 41, 52, 74, 82 and 93 DABI.

The water samples from the paddies were acidified at pH 2.0 using HCl, and 100 mL of sample without previous filtration was passed through cartridges containing 500 mg STRATA C18 adsorbent. After the pre-concentration step, 3 mL of purified water was percolated through cartridges and then, it was dried by applying vacuum for 15 min. Subsequently, the elution of analytes was made using two 1-mL aliquots of dichloromethane:methanol (65:35, v/v). The solvent was evaporated using a nitrogen gas flow and the residue was redissolved in 500 mL of mobile phase, resulting in a pre-concentration factor of 200 times. The detection and quantitation of the herbicides imazethapyr and imazapic was performed using LC–MS–MS using a detection wavelength of 220 nm and a Bondesil C18 column (250 mm × 4.6 mm id, 5 mm) with a mobile

phase of methanol and water (60:40, v/v), adjusted to pH 3.0 with phosphoric acid at 0.8 mL min⁻¹ flow rate. The limits of detection and quantification of imazethapyr and imazapic were 0.001 and 0.004 µg L⁻¹ and recovery for blank samples spiked with 0.12, 0.60 and 1.20 µg L⁻¹ ranged from 80.9 to 106.7%, with relative standard deviation (RSD) below 9.0%.

The rate of herbicide dissipation in the paddies was calculated using the formula below:

$$k_p = \text{Ln} \left(\frac{C}{C_0} \right) \tag{3}$$

where k_p is the daily rate of herbicide dissipation; C and C_0 is the final and initial concentration, respectively. The dissipation half-life of herbicides was calculated using the equation:

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln } 2}{k_p} \tag{4}$$

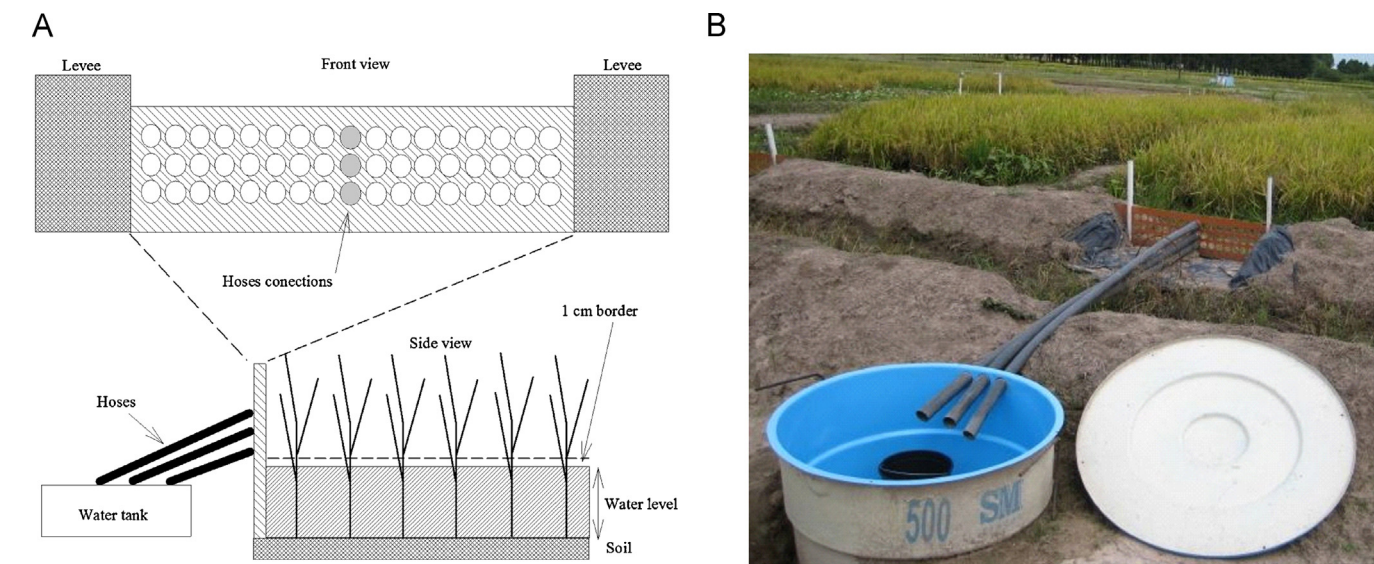


Fig. 1. Drainage system scheme (A) and picture (B).

where k_p means the absolute value of linear equation slope as well as the rate of pesticide dissipation in water and soil (Santos et al., 2008), as mentioned above.

The data related to the rate of pesticide dissipation (k_p), amount of water applied ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), water loss ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), herbicide runoff (g ha^{-1}) and percentage of herbicide transported were initially tested for normality and homogeneity of variance. Percentage of herbicide transported was transformed to arcsin. All data were subjected to analysis of variance and, in case of significant differences between treatments, F test ($p \leq 0.05$) was used to separate means. A test for the interaction between years (factor A) and irrigation management (factor B) was also performed. The statistical analysis was performed using SPSS (Statistical Analysis for Social Sciences).

3. Results and discussion

The water balance components (Table 2) show that there was a significant difference between irrigation management practices for irrigation water applied ($p = 0.000$) and for runoff water ($p = 0.001$) in both growing seasons. The rainfall for the 3-month study period of December, January and February was 558 and 513 mm, for 2007/08 and 2008/09, respectively. The average daily ETc was 5.18 and 5.13 mm day^{-1} which corresponded to 627 and 621 mm in 121 days cycle for 2007/08 and 2008/09, respectively. The average water percolation during the study was 324 and 236 mm for 2007/08 and 96 and 188 mm for 2008/09 for the continuous and intermittent irrigation management plots, respectively. The difference between growing seasons can be attributed to soil management in both years, where no-tillage soil management done in 2008/09 exhibited 49% lesser percolation than conventional management done in 2007/08.

Intermittent flooding reduced water runoff an average of 53% for both years when compared with CF, with 251 and 215 mm runoff, respectively, in the 2007/08 and 2008/09 growing seasons (Table 2). According to Phong et al. (2008a) this difference can be explained by greater excess water storage depth (EWSD) provided by a higher freeboard in the IF plots. This allowed for potentially increased rainfall capture, which was reflected in the increased EWSD in IF plots (Table 1 and Figs. 2 and 3). The average EWSD for IF plots was 39 mm and 41 mm, and for CF plots was 15 and 16 mm, for 2007/08 and 2008/09, respectively. These differences between CF and IF agree with the findings of others that have studied intermittent irrigation (Watanabe et al., 2006, 2007; Phong et al., 2008b).

From the total rainfall of the 3-month period of the 2007/08 and 2008/09 growing seasons, the IF plots stored 307 mm and 298 mm, respectively. In comparison the CF plots stored 133 and 58 mm over the same time period (Figs. 2 and 3). The IF treatment stored 55 and 58% of the total rainfall for 2007/08 and 2008/09, respectively. These results also agree with findings of other authors, such as Borrell et al. (1997), who showed that IF irrigation saved 29–42% in applied irrigation water and that this level of savings depends on the rainfall amount during the growing season. Watanabe et al. (2006) reported that IF irrigation combined with levee gates raised to create freeboard within the paddy, stored about 75% more rainfall than CF irrigation. In the same study, there was no runoff from fields managed with IF, while runoff from CF plots at times of high rainfall resulted in a loss of up to 20 mm day^{-1} . These authors mention that the storage of excess rainwater reduces runoff from crop fields.

In the 2007/08 growing season, there were 27 rainfall events, and runoff occurred 16 and 9 times to CF and IF plots, respectively. Of the 16 events occurred in CF, the herbicides were detected in 9 of those. Concerning IF plots, of 9 runoff events, the herbicides were detected only in 6 occasions (Fig. 2 and Table 3). In 2008/09, of 25 rainfall events, we observed runoff in 10 and 9 of them, respectively

for CF and IF. Herbicides were detected in all ten runoff events from the CF plots. Concerning the IF plots, herbicides were detected in eight of nine runoff events (Fig. 3 and Table 4).

The highest herbicide concentration in runoff water occurred in the first runoff event in for both water management systems and both growing seasons. Concerning CF plots, the first runoff event occurred 6 DABI in 2007/08 with concentrations of 12.868 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and 5.342 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazapic (Table 3) and, in 2008/09, the first runoff event occurred at 26 DABI, with 1.174 and 7.308 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and imazapic, respectively (Table 4). Regarding IF plots, in 2007/08, the first runoff event occurred at 25 DABI with concentrations of 0.059 and 0.158 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and imazapic, respectively; and 35 DABI for 2008/09, with concentrations of 0.295 and 0.308 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and imazapic, respectively.

In 2007/08, the imazethapyr concentration in CF runoff was higher than the imazapic concentration. The next year, the behavior was opposite, imazapic concentration being the highest. The difference between the two herbicide concentrations at first runoff in each year can be attributed to different timing of initial runoff. In the 2007/08 growing season, the first runoff event in CF was 20 days earlier than in the 2008/09 growing season (6 and 26 DABI, respectively); therefore, in 2008/09 the later timing of runoff probably allowed for more dissipation of imazethapyr than in 2007/08. The earlier runoff in 2007/08 allowed less time for herbicide dissipation and more closely reflected the ratio of concentration calculated from the rate applied 46.87 and 17.55 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and imazapic, respectively. The difference between the concentration found and the values mentioned above can be related to time-dependent processes as sorption, leaching and degradation. In 2008/09, imazethapyr dissipation over time appeared to be greater than dissipation of imazapic, which can be attributed to lower environmental persistence of imazethapyr than of imazapic. As reported in Table 1, the K_{oc} of imazethapyr is 52 mL g^{-1} while the K_{oc} of imazapic is 206 mL g^{-1} . The K_{oc} value is used to estimate the persistence of pesticides in the environment because it measures their partition between the organic carbon and aqueous phase. Once bound in the organic carbon phase, the active ingredient is less available for transport and degradation processes, increasing its persistence in the environment (Harper, 1994). It is good to highlight that the term dissipation refers to herbicide degradation and transport by runoff and leaching.

The Brazilian Environment Council has not yet established an allowed concentration of imazethapyr and imazapic present in surface and drinking water. The European Union (EU) established a limit of concentration of 0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ for a single pesticide and 0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ for the summation of concentration of all pesticides found in water. These are the maximum allowable concentrations of pesticides in drinking water, with the exception of aldrin, dieldrin, heptachlor and heptachlor oxide, which each have a limit of 0.03 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Hamilton et al., 2003).

In this study, in 2007/08, the concentration of imazethapyr was $>0.1 \mu\text{g L}^{-1}$ at 6 and 26 DABI in CF plots, whereas in IF plots all imazethapyr concentrations were below the allowed limit (Table 3). Similarly, imazapic concentration in runoff water from CF plots was above the allowed limit only at 6 and 26 DABI. For IF, concentrations above the limit were observed at 25, 26, 29, 40 and 45 DABI. In 2008/09 in CF, both imazethapyr and imazapic were detected above the limit at 26, 35, 42, 44 and 53 DABI; for IF, imazethapyr exceeded this limit at 35, 42, 44, 83, 85, 90 DABI and imazapic exceeded the limit at 35, 42, 44 and 83 DABI. The concentrations of imazapic were generally higher than imazethapyr in both seasons, which can be related to the greater persistence of imazapic mentioned above, especially in IF because of mitigation of water loss in that management.

Table 2
Water balance in paddy plots under continuous and intermittent irrigation in 2007/08 and 2008/09.

	2007/08			2008/09		
	Continuous	Intermittent	Average	Continuous	Intermittent	Average
Input (mm)						
Irrigation	818 A ^b	556 B	687 [*]	658 A	510 B	584
Precipitation	558	558	–	513	513	–
Total	1376	1114	–	1171	1023	–
Output (mm)						
Runoff water	425 A	251 B	338 ^{ns}	455 A	215 B	335
Percolation	324 ^{ns}	236	280 [*]	96 ^{ns}	188	142
ET	627	627	–	620	620	–
EWSD ^a (mm)	15 A	39 B	27 ^{ns}	16 A	41 B	28.5

^a Excess water storage depth (Phong et al., 2008a).

^b Means followed by different letter, differ between irrigation management according F test ($p \leq 0.05$).

^{*} The two means are significantly different between growing season, according to F test ($p \leq 0.05$).

^{ns} No significant difference between irrigation management and/or growing season according to F test ($p \geq 0.05$).

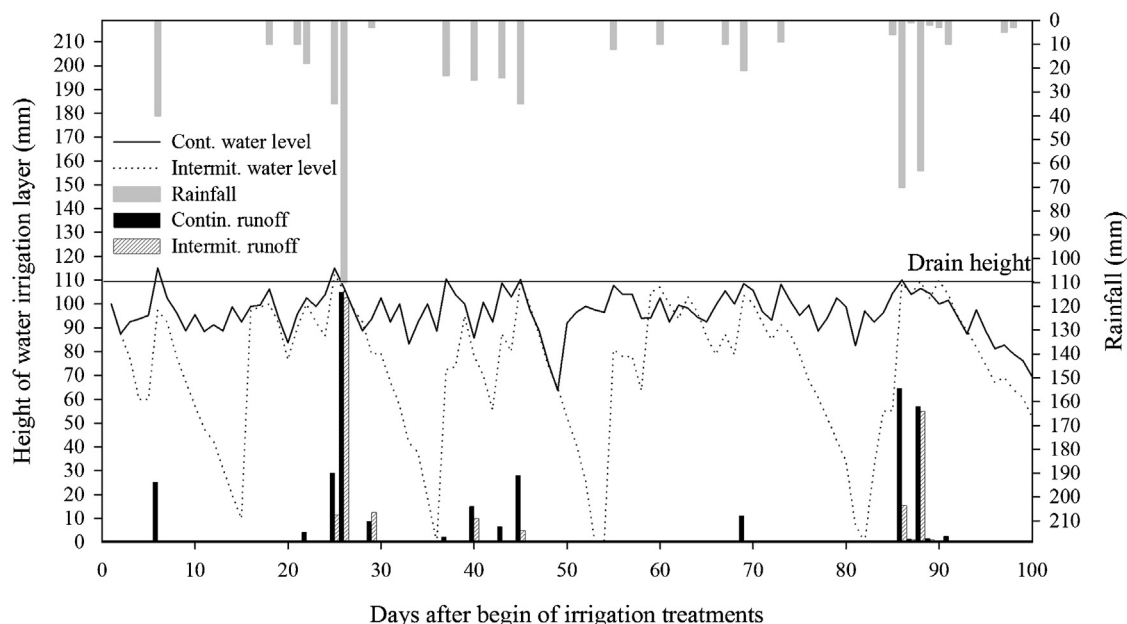


Fig. 2. Flood height in plots managed using continuous and intermittent flooding and rainfall during study, in days after the begin of irrigation treatments, in the 2007/08 growing season.

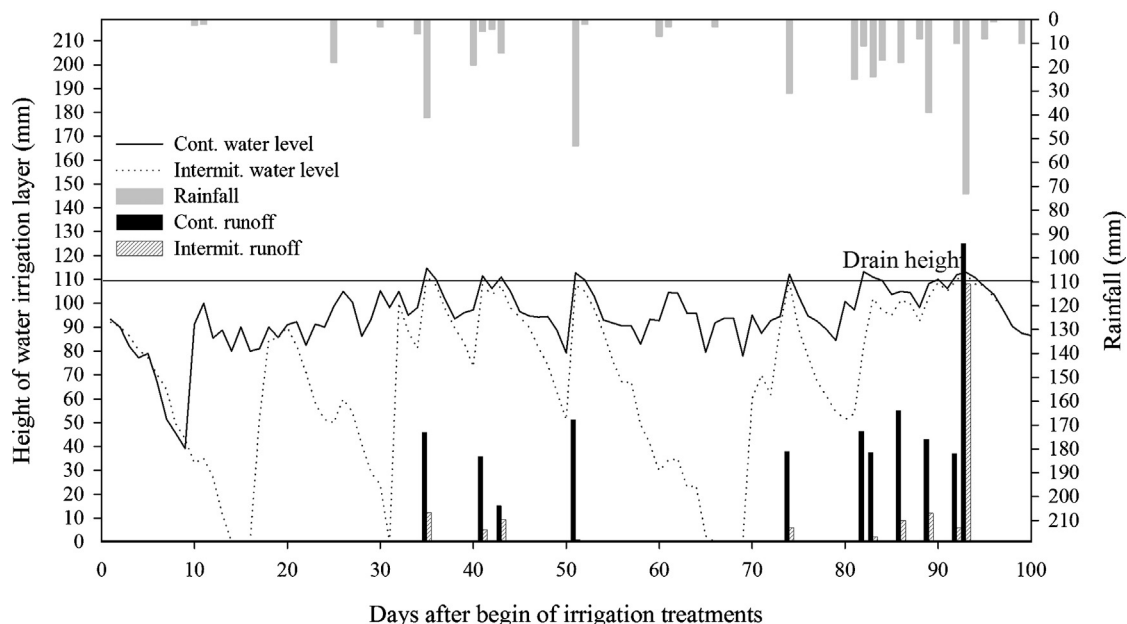


Fig. 3. Flood height in plots managed using continuous and intermittent flooding and rainfall during study, in days after the begin of irrigation treatments, in the 2008/09 growing season.

Table 3

Imazethapyr and imazapic concentrations (with 95% confidence intervals) in runoff water from rice crops managed using continuous and intermittent flooding in the 2007/08 growing season.

DABI ^a	Imazethapyr concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Imazapic concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
	Continuous	Intermittent	Continuous	Intermittent
6	12.868 (± 3.249)	– ^b	5.342 (± 1.120)	–
22	0.054 (± 0.049)	–	0.064 (± 0.085)	–
25	0.047 (± 0.029)	0.059 (± 0.057)	0.070 (± 0.045)	0.158 (± 0.088)
26	0.108 (± 0.064)	0.042 (± 0.015)	0.148 (± 0.094)	0.149 (± 0.036)
29	0.047 (± 0.049)	0.035 (± 0.012)	0.073 (± 0.070)	0.126 (± 0.024)
37	0.018 (± 0.014)	–	0.022 (± 0.020)	–
40	nd ^c	0.031 (± 0.01)	nd	0.114 (± 0.019)
43	0.019 (± 0.005)	–	0.050 (± 0.007)	–
45	0.018 (± 0.009)	0.028 (± 0.009)	0.078 (± 0.015)	0.102 (± 0.015)
55	0.010 (± 0.014)	–	0.040 (± 0.055)	–
69	nd	–	nd	–
86	nd	0.010 (± 0.005)	nd	0.045 (± 0.006)
87	nd	nd	nd	nd
88	nd	nd	nd	nd
89	nd	nd	nd	nd
91	nd	–	nd	–
Average	1.466	0.034	0.654	0.116

^a Days after beginning of irrigation.

^b No occurrence of runoff.

^c Not detected by method used.

Table 4

Imazethapyr and imazapic concentrations (95% confidence intervals), in runoff water from rice crops managed using continuous and intermittent flooding in the 2008/09 growing season.

DABI ^a	Imazethapyr ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Imazapic ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
	Continuous	Intermittent	Continuous	Intermittent
26	1.174 (± 0.161)	– ^b	7.308 (± 10.309)	–
35	0.402 (± 0.745)	0.295 (± 0.305)	0.283 (± 0.219)	0.308 (± 0.408)
42	0.310 (± 0.201)	0.262 (± 0.143)	0.358 (± 0.466)	0.350 (± 0.150)
44	0.255 (± 0.164)	0.284 (± 0.021)	0.477 (± 0.522)	1.279 (± 2.248)
53	0.264 (± 0.131)	nd ^c	0.471 (± 0.246)	nd
75	0.031 (± 0.021)	0.059 (± 0.010)	0.049 (± 0.055)	0.032 (± 0.001)
83	0.073 (± 0.064)	0.181 (± 0.315)	0.056 (± 0.059)	0.138 (± 0.241)
85	0.083 (± 0.034)	0.129 (± 0.049)	0.043 (± 0.016)	0.051 (± 0.003)
90	0.049 (± 0.048)	0.105 (± 0.036)	0.038 (± 0.045)	0.046 (± 0.021)
94	0.053 (± 0.007)	0.074 (± 0.021)	0.030 (± 0.008)	0.041 (± 0.004)
Average	0.269	0.183	0.911	0.260

^a Days after beginning of irrigation.

^b No occurrence of runoff.

^c Not detected by method used.

For runoff water, herbicide transport and dissipation, there was no significant effect of growing season ($p=0.395$; $p=0.202$; $p=0.743$, respectively), so results were pooled across growing seasons. Moreover, there was no interaction between irrigation management and herbicide for transport and dissipation ($p=0.430$ and $p=0.915$). For irrigation management practice, the amount of herbicide transported was significantly higher ($p=0.001$) in CF than in IF (Table 5), resulting in a reduction of at least 84% in herbicide transport from the plots. Similar results were obtained by Watanabe et al. (2006, 2007).

The percentage of herbicide transported was relatively small, not exceeding 3% of the total applied (Table 5). However, even small amounts of different pesticides simultaneously transported to the same basin may compromise water quality (Marchezan et al., 2007). Compared to CF, the IF irrigation reduced herbicide transport 89 and 77% for imazethapyr and imazapic, respectively. These results are similar to Watanabe et al. (2007) who showed that using IF reduced transport of simetryn, mefenacet and thiobencarb by 90–92%. In our study, a higher percentage of imazapic was transported compared to imazethapyr (Table 5), probably due to its higher water solubility (Table 1).

A statistical comparison of herbicide dissipation rate in paddy water (K_p) was performed using the data from Figs. 4 and 5. There was no interaction between irrigation management, type of herbicide and growing season ($p=0.891$), so the data were pooled across growing seasons (Table 6). There was also no interaction

Table 5

Total mass of imazethapyr and imazapic transported and percentage of those in relation to total applied in continuous and intermittent flooding, averaged across years 2007/08 and 2008/09.

	Imazethapyr	Imazapic	Average
Herbicide transport (g ha^{-1})			
Continuous	1.4099	0.8668	1.1383*
Intermittent	0.1581	0.2016	0.1798
Average	0.7423	0.5342	
CV %	60.57		
Herbicide transport (% of total applied)			
Continuous	1.8806	3.4672	2.6739*
Intermittent	0.2108	0.8063	0.5086
Average	1.0457*	2.1368	
CV %	2.47		

* The two means are significantly different according to F test ($p \leq 0.05$); interactions were not significant ($p \geq 0.05$).

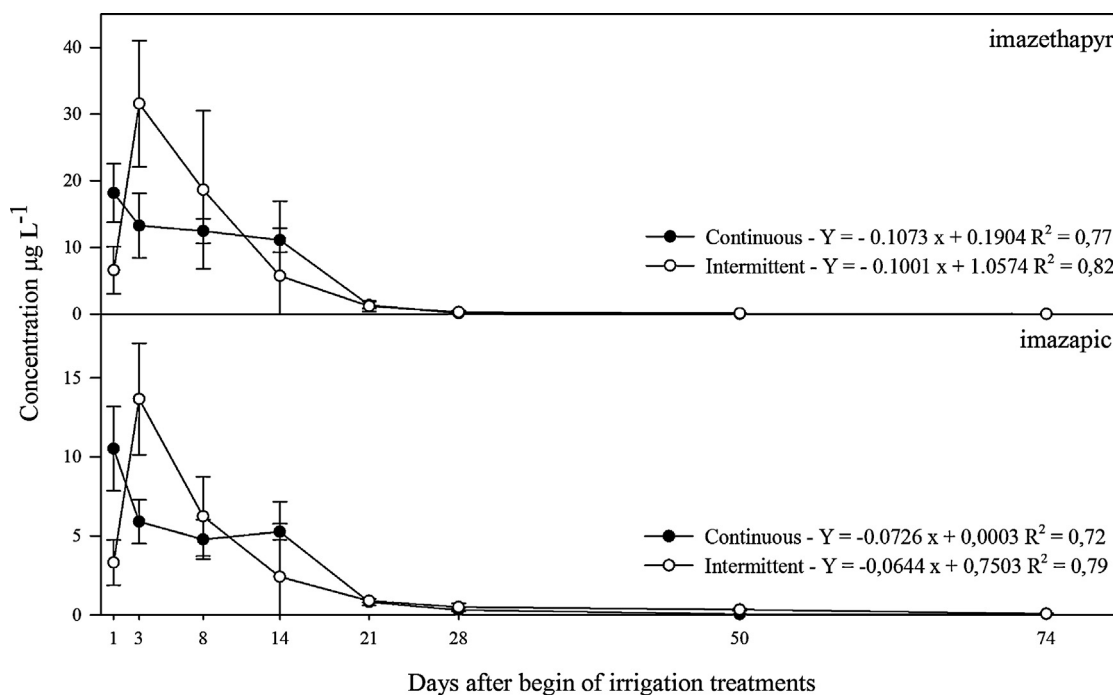


Fig. 4. Dissipation curves of imazethapyr and imazapic in paddy water with 95% confidence intervals under continuous and intermittent flooding in 2007/08. The herbicide concentration was normalized to 10 cm water depth.

of irrigation management and herbicide ($p=0.975$). However, comparing herbicides, imazapic had a greater ($p=0.001$) half-life than imazethapyr, with 8.95 and 7.25 days, respectively (Table 6). This difference can be attributed to greater soil sorption of imazapic (higher K_{oc} than imazethapyr) (Table 1).

Regarding herbicide concentration inside the plot (paddy water), in 2007/08 imazethapyr and imazapic were detected in paddy water until the end of monitoring season (74 DABI), with concentrations ranging from 0.020 to 0.018 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr

and 0.065 to 0.684 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazapic, respectively, for continuous and intermittent irrigation managements (Fig. 4). For the CF treatment, the maximum concentration of active ingredients was observed at 1 DABI with concentration peaks of 18.15 and 10.52 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and imazapic, respectively. For IF, the peak concentrations occurred 3 DABI with 31.54 and 13.64 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and imazapic, respectively. The peak concentration was delayed in the IF plots because the soil in all plots was dry when herbicides were applied, the irrigation was initiated earlier

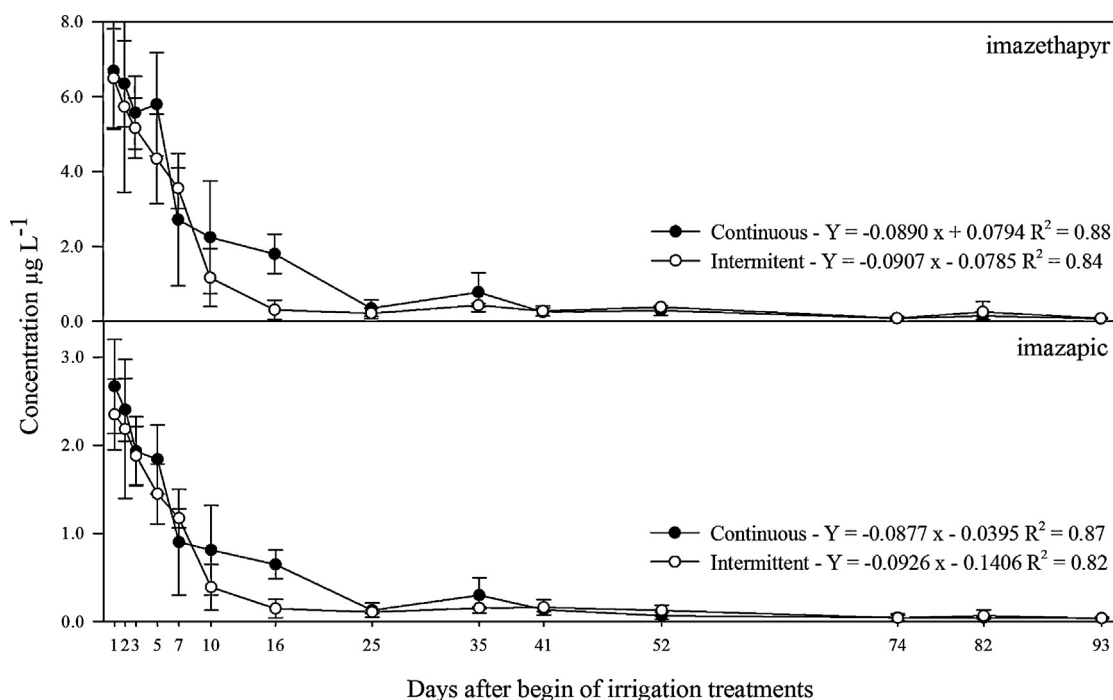


Fig. 5. Dissipation curves of imazethapyr and imazapic in paddy water with 95% confidence intervals, under continuous and intermittent flooding in 2008/09. The herbicide concentration was normalized to 10 cm water depth.

Table 6

Half-life of dissipation in water (DT_{50}) of imazethapyr and imazapic herbicides, under continuous and intermittent flooding, averaged across years 2007/08 and 2008/09.

	Imazethapyr		Imazapic		Average
Dissipation rate (day^{-1})					
Continuous	0.0985		0.0815		0.0900 ^{ns}
Intermittent	0.0950		0.0784		0.0867
Average	0.0967 [*]	± 0.0052	0.0799	± 0.0072	
CV %	14.95				
Half-life (days)					
Continuous	7.15		8.70		7.92 ^{ns}
Intermittent	7.35		9.21		8.28
Average	7.25 [*]	± 0.4065	8.95	± 0.8181	

^{*} The two means are significantly different according to F test ($p \leq 0.05$); interactions were not significant ($p \geq 0.05$).

(but in the same day) in CF plots than in IF plots, providing a small time gap that was potentially enough to enhance herbicide binding to soil in IF plots, thus promoting a relatively slow release of herbicides to irrigation water.

Similarly in 2008/09, detectable concentrations in paddy water were observed until the end of the monitoring season at 93 DABI, with concentrations ranging from 0.696 to 0.812 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazethapyr and 0.373 to 0.348 $\mu\text{g L}^{-1}$ for imazapic in CF and IF systems, respectively (Fig. 5). Peak concentrations occurred at 1 DABI, regardless of irrigation treatment. The maximum concentration of imazethapyr and imazapic was 6.69 and 2.67 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively, in CF and 6.49 and 2.35 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively, in IF. Differences in concentration of the two herbicides can be explained in part by differences in the amount of each herbicide applied (75 g imazethapyr L^{-1} and 25 g imazapic L^{-1}) and by the higher sorption coefficient (K_{oc}) of imazapic. The results for imazethapyr contrast with studies that detected the herbicide for shorter time periods of up to 27 (Santos et al., 2008), 32 (Marcolin et al., 2003) and 42 DABI (Marcolin et al., 2005). These differences in the detection period may be related to differences in the analytical methods used for pesticide detection in water samples. In the present study the limits of detection and quantification of imazethapyr and imazapic were 0.001 and 0.004 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively.

The imidazolinone herbicides are known to have a high contamination potential of surface and ground waters because of their high persistence and water solubilities that increase mobility in the environment (Vischetti, 1995). The primary degradation mechanism of these herbicides is aerobic microbial degradation, but under anaerobic conditions, such as in paddy soils and flooded environments, degradation is slow (Mangels, 1991). So, despite the high mobility and persistence in an anaerobic environment, previously reported by Mangels (1991), in our study the concentration of both herbicides in water was significantly lower. Runoff, leaching, plant uptake and sorption of the active ingredients in the soil all account for reduction in active ingredients final concentration in paddy water. Moreover this decrease can be related to the occurrence of environmental conditions favorable to the process of photolysis, such as high solar radiation and temperature (Santos et al., 2008). The imidazolinone herbicides are susceptible to degradation by photolysis. For example, the aqueous photolysis half-life for imazethapyr was 4.86 days (Avila et al., 2006). This is related to its molecular structure in which the imidazole ring absorbs wavelengths above 290 nm which has high energy, making it susceptible to photosensitization by sunlight (Avila et al., 2006).

One concern linked to intermittent irrigation in rice is grain yield reduction. In our two year experiment the grain yield of the intermittent irrigation did not differ from the continuous flooding, averaging of 9116 kg ha⁻¹ in 2007/08 and 9843 kg ha⁻¹ in 2008/09. This result was very consistent in years and occurred because in our

system there was not water deficit as the soil was kept always at least saturated. Another concern in the intermittent flooding is the weed infestation which can be more aggressive because in absence of flooding, the weeds can be a relevant issue. In our experiment we used a residual herbicide that kept the field weed free. In the adoption of intermittent irrigation producers needs to pay attention to manage the water in such a way that there is no water stress during the growing season and to use residual herbicide.

4. Conclusions

The intermittent flooding of rice reduced water runoff and, therefore, the amount of herbicide transported to the environment. The amount of imazethapyr and imazapic transported out of the plots did not exceed 3% of the total applied. The decrease of herbicide transport and water loss was due to the increased capture and storage of rainwater inside the experimental plot.

Herbicide dissipation in water was not affected by irrigation management. The highest concentrations of herbicides in runoff water occurred near the date of herbicide application, indicating the fundamental importance of careful, early-season management of the rice flood.

Trace detection of herbicides in irrigation water occurred during the entire period of monitoring in this study, so water losses to the environment from crop irrigation should be avoided, specially around the date of herbicide application. This work shows that the strategy of intermittent irrigation management can reduce water use by improving rainfall capture while simultaneously decreasing herbicide transport to the environment, improving irrigation efficiency and reducing environmental impacts of paddy rice production in southern Brazil.

Acknowledgements

This work was supported by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Research Foundation of the State of Rio Grande do Sul (FAPERGS) and by the Coordination for Enhancement of Higher Education Personal (CAPES).

References

- Allen, R.G., et al., 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
- Avila, L.A., et al., 2006. Imazethapyr aqueous photolysis, reaction quantum yield, and hydroxyl radical rate constant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (7), 2635–2639.
- Battaglin, W.A., et al., 2000. Occurrence of sulfonylurea, sulphonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. *Science of the Total Environment* 248 (2–3), 123–133.
- Belder, P., et al., 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agricultural Water Management* 65 (3), 193–210.
- Borrell, A., Garside, A., Fukai, S., 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research* 52 (3), 231–248.
- Chang, Y.C., et al., 2007. Enhancement of water storage capacity in wetland rice fields through deepwater management practice. *Irrigation and Drainage* 56 (1), 2007.
- Counce, P.A., et al., 2000. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science* 40 (2), 436–443.
- Gavrilescu, M., 2005. Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. *Engineering in Life Sciences* 5 (6), 497–526.
- Goss, D.W., 1992. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. *Weed Technology* 6 (4), 701–708.
- Hamilton, D.J., et al., 2003. Regulatory limits for pesticide residues in water. *Pure and Applied Chemistry* 75 (8), 1123–1155.
- Harper, S., 1994. Sorption-desorption and herbicide behavior in soil. *Weed Science* 42, 207–225.
- Instituto Riograndense do Arroz – IRGA, 2009. Available in: <http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados.safras.detalhes&cod.dica=173> (accessed on 10/1/10).

- Mangels, G., 1991. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil: a review of the literature. In: Shaner, D.L., O'Connor, S.L. (Eds.), *The imidazolinone herbicides*. CRC Press, Boca Raton, pp. 191–209.
- Marchezan, E., et al., 2007. Rice herbicides monitoring in two Brazilian rivers during the rice growing season. *Scientia Agricola* 64 (2), 131–137.
- Marcolin, E., Macedo, V.R.M., Genro, S.A., 2003. Persistência de herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: *Proceedings of the III Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado*, Balneário Camboriú, SC, Brazil, pp. 686–688.
- Marcolin, E., Macedo, V.R.M., Genro, S.A., 2005. Persistência de herbicida imazethapyr na lâmina de água em diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: *Proceedings of the IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado*, Santa Maria, RS, Brazil, pp. 560–562.
- Phong, T.K., et al., 2008a. Behavior of simetryn and thiobencarb in rice paddy lysimeters and the effect of excess water storage depth in controlling herbicide run-off. *Weed Biology and Management* 8, 243–249.
- Phong, T.K., et al., 2008b. Excess water storage depth—a water management practice to control simetryn and thiobencarb runoff from paddy fields. *Journal of Pesticide Science* 33 (2), 159–165.
- Radosevich, S., Holt, J., Ghera, C., 1997. *Weed Ecology Implications for Managements*, second ed. John Wiley & Sons, New York, pp. 217–301.
- Santos, F.M., et al., 2008. Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. *Planta Daninhas* 26 (4), 875–881.
- Sensenbrenner, S.A. (Ed.), 2007. *Herbicide Handbook*, ninth ed. Weed Science Society of America, Lawrence, KS.
- Silva, D.R.O., et al., 2009. Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. *Ciencia Rural* 39 (9), 2383–2389.
- SOSBAI, 2007. *Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, SOSBAI, Pelotas, RS.
- Stone, L.F., 2005. Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado. *Embrapa Arroz e Feijão*, Santo Antônio de Goiás, GO.
- Tabbal, D.F., et al., 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management* 56 (2), 93–112.
- Toeschler, C.F., Righes, A.A., Carlesso, R., 1997. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia* 4 (1), 75–79.
- Tuong, T.P., Bouman, B.A.M., Mortimer, M., 2005. More rice, less water-integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. *Plant Production Science* 8 (3), 231–241.
- Tuong, T.P., Bhuiyan, S.I., 1999. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. *Agricultural Water Management* 40 (1), 117–122.
- Vischetti, C., 1995. Measured and simulated persistence of imazethapyr in soil. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology* 54 (3), 420–427.
- Walker, S.H., 1999. Causes of high water losses from irrigated rice fields: field measurements and results from analogue and digital models. *Agricultural Water Management* 40 (1), 123–127.
- Watanabe, H., et al., 2007. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. *Agricultural Water Management* 88 (1–3), 132–140.
- Watanabe, H., Kakegawa, Y., Vu, S.H., 2006. Evaluation of the management practice for controlling herbicide runoff from paddy fields using intermittent and spillover-irrigation schemes. *Paddy and Water Environment* 4 (1), 21–28.



Carbofuran promotes biochemical changes in carp exposed to rice field and laboratory conditions



Bárbara Clasen^a, Jossiele Leitemperger^a, Camila Murussi^a, Alexandra Pretto^a,
Charlene Menezes^a, Fabrícia Dalabona^a, Enio Marchezan^b, Martha Bohrer Adaime^c,
Renato Zanella^c, Vania Lucia Loro^{a,*}

^a Adaptive Biochemistry Laboratory, Pós-Graduate Program in Toxicological Biochemistry, Department of Chemistry, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 97105-900 RS, Brazil

^b Department of Plant Science, Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

^c LARP – Laboratory of Pesticide Residue Analysis, UFSM, Santa Maria, RS, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 July 2013

Received in revised form

14 December 2013

Accepted 18 December 2013

Available online 11 January 2014

Keywords:

Antioxidants

Carbamate

Oxidative stress

Rice–fish

Toxicology

ABSTRACT

Effects of carbofuran commercial formulation on oxidative stress parameters were studied in carps (*Cyprinus carpio*) exposed to 50 µg/L for 7 and 30 days under rice field and laboratory conditions. Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) levels were increased in the brain of fish after 7 and 30 days under rice field and laboratory conditions. In the liver and muscle, TBARS levels increased after 7 and 30 days under laboratory conditions, whereas in rice field the levels increased only after 30 days. Protein carbonyl content in the liver increased after 7 and 30 days under both experimental conditions. Acetylcholinesterase (AChE) activity was decreased in the brain and muscle after 7 and 30 days under both experimental conditions evaluated. The superoxide dismutase (SOD) activity increased in the liver after 7 and 30 days under rice field condition, whereas under laboratory condition this enzyme increased only after 30 days. The catalase (CAT) activity in the liver decreased after 30 days under rice field condition, whereas no changes were observed under laboratory conditions. In rice field, glutathione S-transferase (GST) decreased after 7 days but increased after 30 days, whereas no change was observed in fish exposed to carbofuran under laboratory conditions. These results suggest that environmental relevant carbofuran concentrations may cause oxidative stress, affecting biochemical and enzymatic parameters on carps. Some parameters could be used as biomarkers to carbofuran exposure.

© 2013 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

Dependence on pesticides has been increasing especially in tropical areas such as Brazil where agriculture has increased dramatically over the last decades (Sucahyo et al., 2008). Irrigated rice fields present enormous potential to expand the aquaculture production in rice-producing countries (Frei et al., 2007). In this system, seeding rice in water is recommended allowing fish to be cultivated in refuges located in the rice field. Concurrent rice–fish culture is an integrated system which allows the use of scarce resources such as water and land in a complementary way. Most pesticides used in rice fields may produce serious detrimental effects in the ecosystems, considering their toxic effects in non-target organisms including fish. In southern Brazil, most farmers use at least one pesticide in rice fields (Adhikari et al., 2004; Oruc and Usta, 2007; Clasen et al., 2012).

Carbofuran is a broad spectrum systemic carbamate insecticide, nematocide, and acaricide that banned in the United States and Europe because of unwanted toxic effects in birds, fish, mammals, insects and aquatic invertebrates (USEPA, 2006). It is also used to control coleopteran that damages irrigated rice crops in south-eastern Brazil (Plese, 2005; Pessoa et al., 2011). Contamination of water bodies adjacent to rice fields by carbofuran, mainly through runoff, is quite possible as a result of its widespread use in agriculture and relatively good solubility in water (320 mg/L at 20 °C). The concentration used in this study is based on the recommended dose of carbofuran commercial formulations to rice fields in Brazil, which is 4.0 kg/ha (Chelinho et al., 2012). The concentration was chosen to compare effects on carps exposed to different experimental conditions: rice field and laboratory. It has been shown that carbofuran concentration in irrigated rice fields in southeastern Brazil can reach maximum concentrations of 233 µg/L in lamina of water according to studies (Plese, 2005).

Several types of environmental pollutants may cause oxidative stress in fish. Studies have shown that carbofuran induces oxidative stress leading to the generation of free radicals with an increase of

* Corresponding author. Fax: +55 3220 8240.

E-mail addresses: vania.loro@gmail.com, vaniluc@yahoo.com.br (V.L. Loro).

reactive oxygen species (ROS) and alteration in the antioxidant profile in different species of fish (Hernández-Moreno et al., 2010; Ensibi et al., 2012). ROS are involved in energy production, phagocytosis, cell growth regulation and cell signaling. The production of ROS associated with the presence of pollutants has been imputed as a possible mechanism of toxicity in aquatic organisms exposed to pesticides (Masella et al., 2005; Oropesa et al., 2009). Lipid peroxidation in fish has been suggested as one of the oxidative damage involved in pesticide-induced toxicity (Almroth et al., 2005). Parvez and Raisuddin (2005) suggested that protein carbonyl may serve as a general biomarker of oxidative stress. However, ROS also convert the amino groups of proteins and alter the structure or function of the proteins (Almroth et al., 2005). In line with oxidative damage caused by pesticide exposure the Acetylcholinesterase (AChE) is a key enzyme in the nervous system terminating nerve impulses by catalyzing hydrolysis of the neurotransmitter acetylcholine in acetate and choline. AChE is reported to be a specific biomarker of exposure to some pesticides including organophosphorus and carbamates, such as carbofuran (Lionetto et al., 2003). Representing antioxidant system the enzymes have a crucial role. Superoxide dismutase (SOD) is responsible for catalyzing the conversion of the superoxide anion into hydrogen peroxide. Hydrogen peroxide degrades into water and molecular oxygen via catalase (CAT), a family of enzymes which is present mainly in peroxisomes. Another important enzyme is glutathione S-transferase (GST), which acts in the process of biotransformation. It catalyzes the conjugation of a variety of metabolites, including pesticide metabolites and lipoperoxidation products, transforming the toxic compound into a more easily excretable metabolite (Parvez and Raisuddin, 2005; Clasen et al., 2012). Studies showed that several biochemical parameters are altered when exposed to carbofuran, such as metabolic parameters, AChE and TBARS indicating the toxicity of this pesticide for different fish species (Begum, 2004; Hernández-Moreno et al., 2010).

Considering the contamination potential of pesticides used in agriculture practices and possible contamination of fish, this study aimed at examining the effects of carbofuran at environmental relevant concentrations on the oxidative stress parameters in organs of *Cyprinus carpio* in rice fields and laboratory. Furthermore, we assessed the usefulness of these parameters as biomarkers of exposure to carbofuran due to the economic importance of the association rice–fish.

2. Materials and methods

2.1. Chemicals

A commercial formulation of the insecticide carbofuran (Furadan® 100 g) obtained from the FMC Química do Brasil Ltda (CAS 1563-66-2), containing ten percent carbofuran (2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl methylcarbamate) was used in the experiment. Bovine serum albumin, Triton X-100, hydrogen peroxide (H₂O₂), malondialdehyde (MDA), 2-thiobarbituric acid (TBA) and sodium dodecyl sulfate (SDS) were obtained from Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA).

2.2. Animals

Carps (weight, 15.0 ± 2.0 g; length, 10.0 ± 3.0 cm) were obtained from a commercial fish farm (RS, Brazil). Fish were acclimated in laboratory conditions for 10 days in tanks (250 L) containing clean water (free from insecticides) prior to experiments. They were kept in continuously aerated water with a static system and with a natural photoperiod (12 h light/12 h dark). After the acclimation period, 90 fish were transferred to points located in the rice field and other 30 fish were transferred to laboratory tanks. Both rice field and laboratory experiments were conducted for 7 and 30 days. In the period of acclimation, as in the period of exposure, the fish were fed twice a day with commercial fish pellets (42 percent crude protein, Supra, Brazil).

2.3. Experimental design

2.3.1. Rice field experiment

Fish were allocated to two groups, the control group (without insecticide) and exposure group (with insecticide). Each group was composed of 45 animals distributed in three tanks (triplicate) with 15 fish per tank. The fish were exposed to initial measured concentration of 50 µg/L of the insecticide for 7 and 30 days. The insecticide concentration used in this experiment corresponds to the concentration recommended in Brazil for use in rice culture. The control fish were placed in tanks with separate water supply from the exposure tanks, but conditions and placing of tanks were similar for both groups. During the experiment in the rice field, the fish were placed in submerged tanks, measuring 1.00 m (diameter) × 1.05 m (length). Fine-mesh plastic screens were used at the entrances and exits of water to avoid the presence of predators. Other conditions, such as climate changes, were not avoided in order to make the field experimental condition as real as possible. The following parameters were monitored during the experiments: temperature (24 ± 2.0 °C), pH (6.5 ± 0.2), dissolved oxygen (4.21 ± 2.0 mg/L), non-ionized ammonia (0.8 ± 0.01 µg/L) and nitrite (0.06 ± 0.01 mg/L) of the water in the rice field. The insecticide concentration in water was monitored from the first day until it was not detected in either experimental condition (rice field and laboratory). The insecticide was analyzed by high-pressure liquid chromatography (HPLC) using the method described by Sabin et al. (2009). After each exposure period (7 and 30 days), the fish were killed by punching the spinal cord (behind the opercula), and a sample of five individuals was taken from the tanks and submitted to organs (brain, liver, and muscle) collected.

2.3.2. Laboratory experiment

Fish were distributed into 40 L tanks and allocated to two experimental groups as follows: the first was considered as a control group with 15 fish distributed into three tanks (5 fish per tank) containing insecticide-free water. The second with 15 fish distributed into three tanks (5 fish per tank) was exposed to initial measured concentration of 50 µg/L of the insecticide. Each group remained with the same experimental conditions for a period of 7 and 30 days. The insecticide concentration used in this experiment corresponds to the recommended concentration for growing rice. Moreover, these concentrations are likely to occur in the natural environment, close to agricultural areas. During the experimental period in the laboratory, the average water parameters were as follows: temperature 22.3 ± 2.0 °C, pH 6.6 ± 0.2 units, dissolved oxygen 6.4 ± 1.0 mg/L, nonionized ammonia 0.5 ± 0.01 µg/L, nitrite 0.06 ± 0.01 mg/L. After each exposure period (7 and 30 days) the fish were killed by punching the spinal cord (behind the opercula) and then the organs (brain, liver, and muscle) were collected.

2.4. Biochemical parameters

2.4.1. Tbars AsSAY

Lipid peroxidation was estimated by the TBARS assay, performed by a MDA reaction with TBA, which was spectrophotometrically measured according to Buege and Aust (1978). The liver, brain, and muscle were homogenized in 10 volumes (w/v) of potassium phosphate buffer (20 mM) and then TCA ten percent and TBA 0.67 percent were added to adjust to a final volume of 1.0 mL. The reaction mixture was placed in a micro-centrifuge tube and incubated for 30 min at 95 °C. After cooling, it was centrifuged at 5000g for 15 min and optical density was measured by a spectrophotometer at 532 nm. The TBARS levels were expressed as nmol MDA/mg protein.

2.4.2. Protein carbonyl assay

The liver was homogenized in 10 volumes (w/v) of 10 mM Tris–HCl buffer pH 7.4 using a glass homogenizer. Protein carbonyl content was assayed by the method described by Yan et al. (1995), with some modifications. Soluble protein (1.0 mL) was reacted with 10 mM DNPH in 2 N hydrochloric acid. After incubation at room temperature for 1 h in the dark, 0.5 mL of denaturing buffer (150 mM sodium phosphate, pH 6.8, containing SDS 3.0 percent), 2.0 mL of heptane (99.5 percent) and 2.0 mL of ethanol (99.8 percent) were added sequentially, vortexed for 40 s and centrifuged at 10,000g for 15 min. The protein extracted from the interface was washed twice by resuspension in ethanol/ethyl acetate (1:1), and suspended in 1 mL of denaturing buffer. The carbonyl content was then measured spectrophotometrically at 370 nm. The total carbonylation was calculated using a molar extinction coefficient of 22,000 M/cm. The protein carbonyl content was expressed as nmol carbonyl/mg protein.

2.4.3. Acetylcholinesterase assay

AChE activity was measured as described by Ellman et al. (1961). Brain and muscle were weighed and homogenized in a Potter-Elvehjem glass/Teflon homogenizer with 50 mM sodium phosphate buffer, pH 7.2 (with one percent Triton X-100). The homogenates were centrifuged for 15 min at 3000g and 5 °C, and the supernatant was used as the enzyme source. Aliquots of the supernatant (50–100 µL) (brain and muscle, respectively) were incubated at 30 °C for 2 min with 0.1 M phosphate buffer, pH 7.5, 10 mM DTNB as chromogen. After 2 min, the reaction was initiated by the addition of acetylthiocholine (AcSCh; 0.5 mM) as the

substrate for the reaction mixture. The final volume was 2.0 ml. Absorbances were determined at 412 nm during 2 min. Enzyme activity was expressed as micromoles of AcSCh hydrolyzed/min/mg protein.

2.4.4. Superoxide dismutase assay

SOD activity was performed in the liver based on the inhibition of the radical superoxide reaction with adrenalin as described by Misra and Fridovich (1972). In this method, SOD present in the sample competes with the detection system for radical superoxide. A unit of SOD is defined as the amount of enzyme that inhibits the rate of oxidation of adrenalin by 50 percent. The oxidation of adrenalin leads to the formation of the colored product, adrenochrome. SOD activity was determined by measuring the rate of adrenochrome formation, measured at 480 nm, in a reaction medium containing glycine-NaOH (50 mM, pH 10) and epinephrine (1 mM). SOD activity was expressed in UI/mg protein

2.4.5. Catalase assay

CAT activity was assayed spectrophotometrically (Nelson and Kiesow, 1972). Liver was homogenized in 10 volumes (w/v) of 20 mM potassium phosphate buffer, pH 7.5, and centrifuged at 10,000g for 10 min at 4 °C. The assay mixture consisted of 2.0 mL potassium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0), 50 μ L H₂O₂ (0.3 M) and 50 μ L homogenate. Change of H₂O₂ absorbance in 60 s was measured at 240 nm. CAT activity was calculated and expressed in μ mol/min/mg protein.

2.4.6. Glutathione S-transferase assay

GST activity was measured in the liver using a procedure described by Habig et al. (1974) that involved CDNB as substrate. The assay mixture contained 1 mM CDNB (in ethanol), 10 mM GSH, 20 mM potassium phosphate buffer (pH 6.5), and 50 μ L of the tissue homogenates. Enzyme activity was calculated from the changes in absorbance at 340 nm using a molar extinction coefficient of 9.6 mM/cm. The activity was expressed as μ mol GS-DNB min/mg protein.

2.4.7. Protein determination assay

Protein was determined by the Comassie blue method using bovine serum albumin as standard. Absorbance of samples was measured at 595 nm (Bradford, 1976).

2.5. Statistical analysis

A comparison between two groups was made by the Student *t*-test. The results obtained were expressed as mean \pm standard deviation (SD). The value of $p \leq 0.05$ was considered statistically significant for all analyses ($n=15$).

3. Results

Carbofuran residues were monitored in the water of the laboratory and rice field system to verify the presence of the active insecticide ingredients in the water. The concentration of carbofuran in the water in the rice field after 7 and 30 days reduced 30.96 percent and 92.32 percent, respectively. On the other hand, under laboratory conditions, the concentration of carbofuran in water reduced to 25.20 percent and 54 percent after 7 and 30 days of exposure, respectively (Fig. 1).

TBARS levels in the different organs of carps are shown in Fig. 2. In the brain, TBARS levels increased compared to the control group for both experimental conditions and periods tested (Fig. 2A and B). In the rice field, TBARS levels in the liver and muscle increased only after 30 days of exposure (Fig. 2A). However, under laboratory conditions, a significant increase in the liver and muscle TBARS was observed after both periods of 7 and 30 days (Fig. 2B). In addition, the protein carbonyl content increased in both experimental periods and under both rice field and laboratory conditions (Table 1). The AChE activity was inhibited in the brain and muscle after 7 and 30 days of exposure to carbofuran under both rice field and laboratory conditions (Fig. 3).

Carbofuran increased liver SOD activity after 7 and 30 days in the rice field, whereas the SOD activity increased in the laboratory only after 30 days. In the rice field, the CAT activity in the liver decreased after 30 days of exposure. However, under laboratory conditions, CAT activity did not show significant alterations in any experimental period (Table 1). In rice field, liver GST activity showed a reduction after 7 days of exposure. However, after 30

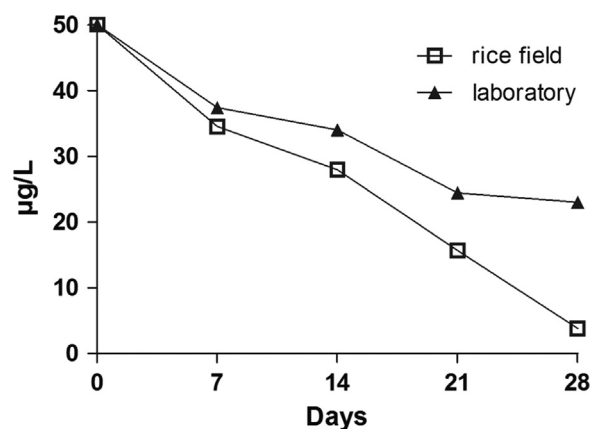


Fig. 1. The measured concentrations of carbofuran concentration (μ g/L) in the water of rice field and laboratory conditions experiments.

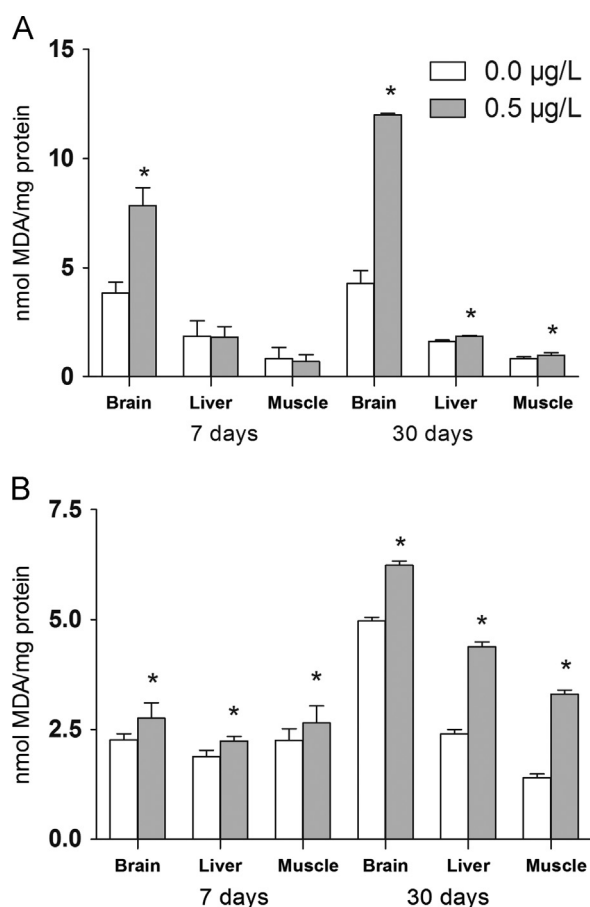


Fig. 2. TBARS levels in the brain, liver, and muscle of carps exposed to a carbofuran under rice field (A) and laboratory conditions (B) after 7 and 30 days. Data represent the mean \pm SD ($n=15$). * indicates a significant difference from the control group at $p \leq 0.05$.

days of exposure in rice field, an increase was found in the activity of this enzyme. On the other hand, in laboratory, GST activity in liver did not show significant change after 7 or 30 days (Table 1).

4. Discussion

In the present study, a set of oxidative stress parameters in carps was determined to evaluate possible effects of carbofuran considering two different experimental conditions: rice field and

Table 1

Effects of carbofuran on protein carbonyl, SOD, CAT and GST activities in the liver of carps after 7 and 30 days of exposure in field and laboratory conditions.

Rice field	7 days		30 days	
	0.0 µg/L	50.0 µg/L	0.0 µg/L	50.0 µg/L
Carbonyl	8.24 ± 0.94	9.22 ± 0.50*	9.37 ± 0.60	10.60 ± 0.15*
SOD	4.938 ± 0.38	7.587 ± 1.63*	4.774 ± 0.32	8.407 ± 0.73*
CAT	0.51 ± 0.08	0.59 ± 0.07	0.57 ± 0.03	0.43 ± 0.005*
GST	0.38 ± 0.09	0.27 ± 0.08*	0.31 ± 0.05	0.56 ± 0.07*
Laboratory				
Carbonyl	4.44 ± 0.43	8.92 ± 1.42*	6.67 ± 0.99	12.5 ± 1.07*
SOD	10.85 ± 2.5	10.34 ± 2.9	11.47 ± 1.3	15.61 ± 1.9*
CAT	0.304 ± 0.08	0.310 ± 0.05	0.530 ± 0.07	0.518 ± 0.06
GST	0.21 ± 0.01	0.25 ± 0.03	0.404 ± 0.051	0.443 ± 0.038

Protein carbonyl was expressed as nmol carbonyl/mg protein, SOD as UI SOD/mg protein, CAT as µmol/min/mg protein and GST as µmol GS-DNB/min/mg protein. Data are reported as mean ± standard deviation (n=15). *Significantly different from control group at $p \leq 0.05$.

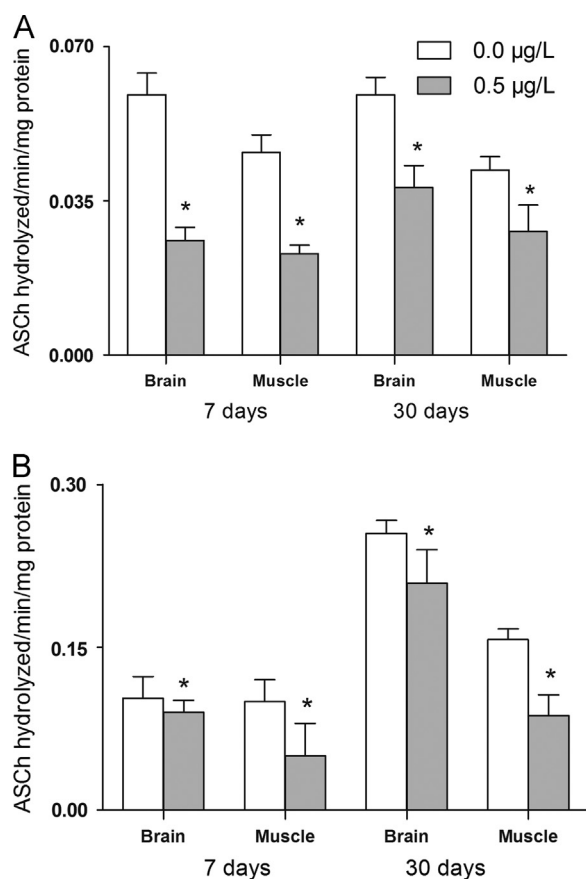


Fig. 3. AChE activity in brain and muscle of carps exposed to a carbofuran under rice field (A) and laboratory conditions (B) after 7 and 30 days. Data represent the mean ± SD (n=15). * indicates a significant difference from the control group at $p \leq 0.05$.

laboratory. There was a greater loss of pesticide in rice field conditions than under laboratory conditions, and residual carbofuran was found up to 28 days after first application. Carbofuran may be biotransformed or fish tissues may bioaccumulate this pesticide. Carbofuran is highly soluble in water therefore it is susceptible to leaching through the soil profile. Volatilization, photolysis, and oxidation are also important factors in the process

of carbofuran dissipation and transformation into metabolites (Katsumata et al., 2005; Plese, 2005).

Despite the decrease of carbofuran in water, the lipid peroxidation phenomenon was evidenced due to the elevation in the TBARS levels in the brain, liver, and muscle in both experimental conditions. Pesticide-induced lipid peroxidation is a common response of fish, and some authors have also observed elevated levels of lipid peroxidation induced by deltamethrin (Sayeed et al., 2003) and 3,4-Dichloroaniline (Li et al., 2003). In a similar study, under rice field conditions, Clasen et al. (2012) observed TBARS levels increased for the same organs tested in the present study in carps exposed to a sublethal concentration of fipronil insecticide for 7, 30 and 90 days.

Another parameter to verify oxidative damage is the amount of protein carbonyl, which is the evidence of protein damage. Results observed for both experimental conditions indicated carbofuran-induced protein damage as well as the TBARS levels indicated the occurrence of lipid peroxidation in *C. carpio*. This elevation in protein carbonyl was reported by Parvez and Raisuddin (2005), to exposure *Channa punctata* by different experimental periods. The increase in TBARS levels could be associated with an increase in protein carbonyl content as a result of the formation of cytotoxic products. This toxic compounds generated by lipid peroxidation probably affect protein oxidation, inducing carbonyl formation. This increase in protein carbonyl causes changes in the activity of biological enzymes.

An important parameter used for toxicological evaluation is the measurement of AChE activity. The major effect of pesticides on AChE activity is the reduction of the activity after exposure (Miron et al., 2008; Modesto and Martinez, 2010). Results of this study are in agreement with those found by Golombieski et al. (2008), who showed an inhibition of AChE activity in the brain and muscle of carps exposed for 96 h to diafuran carbamate insecticide. Brain of goldfish exposed to carbofuran (50 or 500 µg/L) showed high levels of inhibition (Bretaud et al., 2000). Some authors suggest that the increase in TBARS levels could be associated with AChE inhibition (Sevgiler et al., 2004; Üner et al., 2006; Oruç and Usta, 2007). Our results suggest the same hypothesis because of the increase of TBARS levels in the brain and muscle, concomitant to AChE inhibition in the same organs after exposure to both conditions. Another hypothesis is the involvement of protein carbonyl to disrupt AChE activity. However, in the present study, only carbonyl in the liver was verified. In this sense, further studies are needed on AChE activity and its relationship with pro-oxidants, such as TBARS and protein carbonyl. Our results clearly indicated oxidative damage and the involvement of the insecticide tested causing lipid peroxidation and protein carbonylation. Some effects were observed on oxidative profile, indicating that even low concentrations of these insecticides affect fish organs and disrupt normal metabolism. In accordance with objectives of the present study, the TBARS, protein carbonyl measurements at different tissues could be used as a biomarker to carbofuran exposure, as well AChE activity in brain and muscle. The major toxic effect documented for carbofuran is AChE inhibition that represents disruption in cholinergic functions, other effects could be related to oxidative damage as showed at present study.

Considering the key antioxidant enzymes for the neutralization of ROS in all organisms, it is possible to detach SOD and CAT activities. These antioxidant enzymes are essential for the conversion of ROS in harmless metabolites, and they may be increased or inhibited under chemical stress. Clasen et al. (2012) have recently shown similar results in carps exposed to 0.65 µg/L of fipronil insecticide for 7, 30 and 90 days under rice field conditions. Changes in CAT and SOD activities are a typical response against pesticide toxicity. In the context of the present study, its effect showed to be directly associated with carbofuran residues found in

the water during the experiments. The decrease of CAT activity could be due to the flux of superoxide radicals, which have been reported to inhibit CAT activity as occurred in this study at 30 days in the rice field. Ensibi et al. (2012) found the same response in *C. carpio* after 4 and 30 days of exposure to carbofuran. CAT responses seem to be fish-specific and the variations observed were also obtained considering different agrochemical classes. Therefore, the use of CAT activity as an exclusive biomarker of toxicity is not recommended and it is necessary to verify the activity of different enzymes in order to understand antioxidant responses of fish (van der Oost et al., 2003).

GST activity in fish in polluted locations may be an important biomarker of pesticide toxicity. The most common response of GST against a toxic situation is the induction of activity that is considered beneficial to handle a stress condition. The increase observed in the GST activity is probably due to the increase in the biotransformation process of the xenobiotic by the fish exposed to carbofuran. The metabolism of the reactive species could be a cause of the activation of the defense mechanisms, as mentioned by Sayeed et al. (2003) when they exposed *C. punctata* to deltamethrin for short-term. The decreased enzyme activity may have occurred because liver is one of the first organs exposed to pesticides or other pollutants. However, this decrease may indicate a different response where the antioxidant defense is disrupted by carbofuran or its derived products, indicating a toxic situation caused by insecticide exposure. The inhibition of GST has also been reported in gills of mosquitofish exposed to carbofuran and liver of *Ancistrus multispinis* exposed to deltamethrin (Pimpão et al., 2007).

Results clearly demonstrated that carbofuran concentrations used in agriculture may cause changes in the biochemical parameters of carps under rice field and laboratory conditions. The measurement of brain TBARS and AChE activity could be taken into consideration to monitor insecticide toxicity to fish in contaminated water, as well the measurement of protein carbonyl in brain and muscle. Thus, some external stressors, such as carbofuran, may have a toxic effect on the *C. carpio* even when used at non-lethal concentration in different experimental conditions. The increased TBARS levels and protein carbonyl may have been caused due to the increase of free radicals as a result of fish stress condition after carbofuran intoxication.

Acknowledgments

We would like to thank the Federal University of Santa Maria (UFSM) for the support and facilities and the financial support and fellowships from the Brazilian agencies CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) and CNPq (National Council for Scientific and Technological Development).

References

- Adhikari, S., Sarkar, B., Chatterjee, A., Mahapatra, C.T., Ayyappa, S., 2004. Effects of cypermethrin and carbofuran on certain hematological parameters and prediction of their recovery in a freshwater teleost, *Labeo rohita* (Hamilton). *Ecotoxicol. Environ. Safe* 58, 220–226.
- Almroth, B.C., Sturve, J., Berglund, A., Förlin, L., 2005. Oxidative damage in eelpout (*Zoarces viviparus*), measured as protein carbonyls and TBARS, as biomarkers. *Aquat. Toxicol.* 73, 171–180.
- Begum, G., 2004. Carbofuran insecticide induced biochemical alterations in liver and muscle tissues of the fish *Clarias batrachus* (linn) and recovery response. *Aquat. Toxicol.* 66, 83–92.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248–254.
- Bretaud, S., Toutant, J.P., Saglio, P., 2000. Effects of carbofuran, diuran, and nicosulfuron on acetylcholinesterase activity in goldfish (*Carassius auratus*). *Ecotoxicol. Environ. Safe* 47, 117–124.
- Buege, J.A., Aust, S.D., 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol.* 52, 302–309.
- Chelinho, S., Lopes, I., Natal-da-Luz, T., Domene, X., Nunes, M.E.T., Espindola, E.L.G., Ribeiro, R., Sousa, J.P., 2012. Integrated ecological risk assessment of pesticides in tropical ecosystems: a case study with carbofuran in Brazil. *Environ. Toxicol. Chem.* 31, 437–445.
- Clasen, B., Loro, V.L., Cattaneo, R., Moraes, B., Lopes, T., Avila, L.A., Zanella, R., Reimche, G.B., Baldisserotto, B., 2012. Effects of the commercial formulation containing fipronil on the non-target organism *Cyprinus carpio*: implications for rice–fish cultivation. *Ecotoxicol. Environ. Safe* 77, 45–51.
- Ensibi, C., Hernández-Moreno, D., Soler Rodríguez, F., Daly Yahya, M.N., Míguez-Santián, M.P., Pérez-López, M., 2012. Effects of subchronic exposure to carbofuran on antioxidant defence system and malondialdehyde levels in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Toxicol. Environ. Chem.* 94, 748–759.
- Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres Jr, V., 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 7, 88–95.
- Frei, M., Razzak, M.A., Hossain, M.M., Oehme, M., Dewan, S., Becker, K., 2007. Performance of common carp, *Cyprinus carpio* L. and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) in integrated rice–fish culture in Bangladesh. *Aquaculture* 262, 250–259.
- Golombieski, J.I., Marchesan, E., Camargo, E.R., Salbego, J., Baumart, J.S., Loro, V.L., Machado, S.L.O., Zanella, R., Baldisserotto, B., 2008. Acetylcholinesterase enzyme activity in carp brain and muscle after acute exposure to diafuran. *Sci. Agric.* 65, 340–345.
- Habig, W.H., Pabst, M.J., Jakoby, W.B., 1974. Glutathione S-transferases, the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J. Biol. Chem.* 249, 7130–7139.
- Hernández-Moreno, D., Soler, F., Míguez, M.P., Pérez-López, M., 2010. Brain acetylcholinesterase, malondialdehyde and reduced glutathione as biomarkers of continuous exposure of tench, *Tinca tinca*, to carbofuran and deltamethrin. *Sci. Total Environ.* 408, 4976–4983.
- Katsumata, H., Matsuba, K., Kaneko, S., Suzuki, T., Ohta, K., Yobilko, Y., 2005. Degradation of carbofuran in aqueous solution by Fe (III) aquacomplexes as effective photocatalysts. *J. Photochem. Photobiol. A* 170, 239–245.
- Li, D., Yin, W., Zhou, Y., Hu, S., Wang, L., 2003. 3,4-Dichloroaniline-induced oxidative stress in liver of crucian carp (*Carassius auratus*). *Ecotoxicol. Environ. Safe* 56, 251–255.
- Lionetto, M.G., Caricato, R., Giordano, M.E., Pascariello, M.F., Marinosci, L., Schettino, T., 2003. Integrated use of biomarkers (acetylcholinesterase and antioxidant enzymes activities) in *Mytilus galloprovincialis* and *Mullus barbatus* in an Italian coastal marine area. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 324–330.
- Masella, R., Benedetto, R.D., Vari, R., Filesi, C., Giovannini, C., 2005. Novel mechanisms of natural antioxidant compounds in biological systems: involvement of glutathione and glutathione-related enzymes. *J. Nutr. Biochem.* 16, 577–586.
- Miron, D., Pretto, A., Crestani, M., Glusczak, L., Schetinger, M.R., Loro, V.L., Morsch, V.M., 2008. Biochemical effects of clomazone herbicide on piava (*Leporinus obtusidens*). *Chemosphere* 74, 1–5.
- Misra, H.P., Fridovich, I., 1972. The role of superoxide anion in the auto-oxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. *J. Biol. Chem.* 247, 3170–3175.
- Modesto, K.A., Martinez, C.B.R., 2010. Roundup® causes oxidative stress in liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish *Prochilodus lineatus*. *Chemosphere* 78, 294–299.
- Nelson, D.P., Kiesow, L.A., 1972. Enthalpy of decomposition of hydrogen peroxide by catalase at 25 °C (with molar extinction coefficients of H₂O₂ solution in the UV). *Anal. Biochem.* 49, 474–478.
- Oropesa, A.L., García-Camero, J.P., Soler, F., 2009. Glutathione and malondialdehyde in common carp after exposure to simazine. *Environ. Toxicol. Pharm.* 27, 30–38.
- Oruç, E., Usta, D., 2007. Evaluation of oxidative stress responses and neurotoxicity potential of diazinon in different tissues of *Cyprinus carpio*. *Environ. Toxicol. Pharm.* 23, 48–55.
- Parvez, S., Raisuddin, S., 2005. Protein carbonyls: novel biomarkers of exposure to oxidative stress-inducing pesticides in freshwater fish *Channa punctata* (Bloch). *Environ. Toxicol. Pharm.* 20, 112–117.
- Pessoa, P.C., Luchmann, K.H., Ribeiro, A.B., Veras, M.M., Correa, J.R.M.B., Nogueira, A. J., Bainy, A.C.D., Carvalho, P.S.M., 2011. Cholinesterase inhibition and behavioral toxicity of carbofuran on *Oreochromis niloticus* early life stages. *Aquat. Toxicol.* 105, 312–320.
- Plese, L.P.M., 2005. Kinetics of carbosulfan hydrolysis to carbofuran and the subsequent degradation of this last compound in irrigated rice fields. *Chemosphere* 60, 149–156.
- Pimpão, C.T., Zampronio, A.R., de Assis, S., 2007. Effects of deltamethrin on hematological parameters and enzymatic activity in *Ancistrus multispinis* (Pisces, Teleostei). *Pestic. Biochem. Phys.* 88, 122–127.
- Sabin, G.P., Prestes, O.D., Adaime, M.B., Zanella, R., 2009. Multiresidue determination of pesticides in drinking water by Gas Chromatography–Mass Spectrometry after solid-phase extraction. *J. Braz. Chem. Soc.* 20, 918–925.
- Sayeed, I., Parvez, S., Pandey, S., Bin-Hafeez, B., Haque, R., Raisuddin, S., 2003. Oxidative stress biomarkers of exposure to deltamethrin in freshwater fish, *Channa punctatus* Bloch. *Ecotoxicol. Environ. Safe* 56, 295–301.
- Sevgiler, Y., Oruç, E.O., Üner, N., 2004. Evaluation of etoxazole toxicity in the liver of *Oreochromis niloticus*. *Pestic. Biochem. Phys.* 78, 1–8.
- Sucahyo, D., Straalen, N.M., Krave, A., Gestel, A.M., 2008. Acute toxicity of pesticides to the tropical freshwater shrimp *Cardina laevis*. *Ecotoxicol. Environ. Safe* 69, 421–427.

- Üner, N., Oruç, E.O., Sevgiler, Y., Sahin, N., Durmaz, H., Usta, D., 2006. Effects of diazinon on acetylcholinesterase activity and lipid peroxidation in the brain of *Oreochromis niloticus*. *Environ. Toxicol. Pharm.* 21, 241–245.
- USEPA, 2006. Interim Reregistration Eligibility Decision – Carbofuran. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA-738-R-706-031.
- van der Oost, R., Beyer, J., Vermeulen, N.P.E., 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Pharm.* 13, 57–149.
- Yan, L.J., Traber, M.G., Packer, L., 1995. Spectrophotometric method for determination of carbonyls in oxidatively modified apolipoprotein B of human low-density lipoproteins. *Anal. Biochem.* 228, 349–351.

Resumos

MANEJO DO SOLO E RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM ARROZ NÃO TOLERANTE

Alejandro F. Kraemer¹, Enio Marchesan², Mara Grohs², Jefferson T. Fontoura², Paulo F. S. Massoni², Sérgio L. O. Machado³, Luis A. Avila². ¹INTA-Argentina e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail afk@mail.ufsm.br. ²Departamento de Fitotecnia, UFSM, 97.105-900, Brasil. ³Departamento de Defesa Fitossanitária, UFSM.

O arroz vermelho é apontado como o fator restritivo mais importante à elevação da produtividade da lavoura de arroz no Rio Grande do Sul. A utilização da tecnologia Clearfield[®] contribuiu para a solução deste problema, através do controle químico do arroz vermelho em lavouras de arroz cultivado. No entanto, este herbicida pode persistir no solo em quantidade que pode comprometer a utilização posterior das áreas com cultivares de arroz não tolerante. Imazethapyr e imazapic são herbicidas de longa persistência no solo, sofrendo dissipação por processos de sorção aos colóides do solo, fotólise e degradação por ação dos microorganismos (Madami et al. 2003; Alister & Kogan, 2005), sendo a degradação microbiana citada como o mais importante processo de degradação (Shaw & Wixson, 1991; Lux & Reese, 1993). Os processos biológicos são influenciados por fatores ambientais, tais como umidade, temperatura e aeração, os quais estão relacionados às práticas de preparo do solo (Soon & Arshad, 2005; Perez et al., 2005). A utilização de práticas de manejo que estimulem a degradação dos herbicidas no solo pode diminuir o residual, minimizando os danos aos cultivos subsequentes. Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito de diferentes manejos do solo durante o período de entre-safra do arroz, sobre a fitotoxicidade residual do imazethapyr e imazapic, em arroz não tolerante.

Foi conduzido um experimento durante o ano agrícola de 2006/07, em área de várzea sistematizada do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, onde havia sido aplicado imazethapyr+imazapic (Only[®]) na dosagem de 75+25 g ha⁻¹, respectivamente, nas duas safras anteriores (2004/05 e 2005/06). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de nove preparos de solo e duas cultivares de arroz irrigado. Quatro tratamentos foram nos sistemas plantio direto e semidireito: plantio direto (PD); plantio direto com azevém (PDA); um preparo de solo em abril (1PSA); um preparo de solo em abril com azevém (1PSAA). Cinco tratamentos no sistema plantio convencional: um preparo de solo em outubro (1PSO); dois preparos de solo, em maio e outubro (2PSMO); dois preparos de solo, em abril e outubro (2PS); três preparos de solo, em abril, maio e outubro (3PS); quatro preparos de solo, em abril, maio, agosto e outubro (4PS). A cultivar IRGA 422 CL foi utilizada como testemunha, por ser tolerante a estes herbicidas e de características agrônomicas semelhantes à cultivar IRGA 417. Foram instalados quatro experimentos comparativos com seis repetições cada um, em áreas sem residual dos herbicidas, objetivando comparar as duas cultivares. Também foi semeado um bioensaio com tomateiro (Rampelotti, et al. 2005) em vasos com amostras de solo coletadas dos manejos PD, 4PS, pousio e testemunha sem aplicação dos herbicidas. As amostras foram coletadas a duas profundidades, 0-3 e 3-6 cm, após a colheita do experimento de campo, com o objetivo de detectar diferenças na presença dos herbicidas entre os manejos de solo e as profundidades através da fitotoxicidade registrada nas plantas de tomateiro.

Entre as cultivares IRGA 417 e IRGA 422 CL, não foram verificadas diferenças significativas para as variáveis estudadas, utilizando-se a cultivar IRGA 422 CL como testemunha neste trabalho (dados não mostrados). Os valores mais elevados de fitotoxicidade na cultivar IRGA 417 apresentaram-se até os 24 dias após a emergência (DAE) (28%), diminuindo aos 36 DAE (9%), até praticamente desaparecer aos 59 DAE

(2%), sendo que as diferenças entre os preparos de solo também diminuíram a partir de 36 DAE (Figura 1). Observam-se três grupos de preparos de solo com relação à fitotoxicidade. O tratamento 1PSO com as maiores porcentagens, com valores intermediários os tratamentos com plantio convencional (4PS, 3PS, 2PS, 2PSMO) e com menores valores, os tratamentos com plantio direto ou semidireto (PD, PDA, 1PSA, 1PSAA). Ressalta-se que nos plantios convencionais a profundidade de semeadura foi maior quando comparada com os plantios diretos e semidiretos (6 e 2 cm, respectivamente).

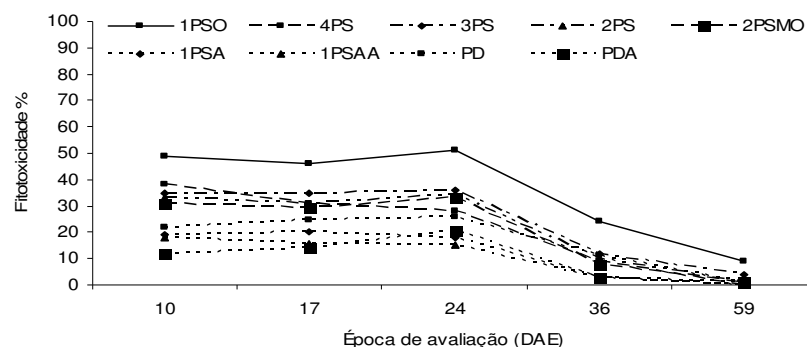


Figura 1. Fitotoxicidade do residual da mistura formulada de imazethapyr e imazapic ($75+25 \text{ g ha}^{-1}$) na cultivar IRGA 417 após dois anos de uso dos herbicidas em cinco épocas de avaliação e nove preparos de solos: PD = plantio direto; PDA = plantio direto mais azevém; 1PSA = um preparo de solo (PS) em abril; 1PSAA = um PS em abril mais azevém; 1PSO = um PS em outubro; 2PSMO = dois PS em maio e outubro; 2PS = dois PS em abril e outubro; 3PS = três PS em abril, maio e outubro; 4PS = quatro PS em abril, maio, agosto e outubro.

A interação significativa para as variáveis estande de plantas e perfilhos por m^{-2} (Tabela 1) foi causada por um menor número de plantas e de perfilhos no tratamento 1PSO na cultivar IRGA 417, o que não foi observado na cultivar IRGA 422 CL, mantendo-se como efeito principal a diferença entre as cultivares, discutindo-se os efeitos preparos do solo e cultivares por separado. Os diferentes preparos de solo não afetaram as variáveis estudadas. No entanto, a cultivar IRGA 417 apresentou menor número de plantas, perfilhos, estatura e panículas, possivelmente pelo residual do herbicida no solo. A produtividade das cultivares não foi afetada pelo residual dos herbicidas no solo (Tabela 1).

Tabela 1. Estande de plantas (EP) aos 10 e 17 dias após emergência (DAE), perfilhos, estatura de plantas (Estatura), panículas e produtividade, para 9 preparos do solo e duas cultivares em resposta ao efeito residual de dois anos de aplicação dos herbicidas imazethapyr e imazapic ($75+25 \text{ g a.i. ha}^{-1}$).

Fonte de Variação	EP 10 DAE pl m^{-2}	EP 17 DAE pl m^{-2}	Perfilhos perf m^{-2}	Estatura cm	Panículas pan m^{-2}	Produtividade kg ha^{-1}
Preparos do Solo (PS)	254	304	519	87	383	9849
Significância ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS
IRGA 422 CL	283 a ¹	350 a	599 a	88 a	404 a	9861
IRGA 417	226 b	260 b	440 b	86 b	361 b	9837
Significância ²	***	***	***	*	*	NS
PS*Cultivar	NS	***	**	NS	NS	NS
CV%	17	18	21	4	18	11

¹ Médias não seguidas pela mesma letra diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). ² NS não significativa, *** significativa $P \leq 0,001$, ** significativa $P \leq 0,01$, * significativa $P \leq 0,05$.

Na Tabela 2 e Figura 2, apresentam-se os dados do bioensaio com tomateiro. A estatura de plantas foi menor no manejo PD e na porção mais profunda do solo (3-6 cm). Para fitotoxicidade observou-se interação significativa entre manejos do solo e

profundidade (Tabela 1), procedendo-se a análise das duas profundidades para cada manejo de solo (Figura 2). Nos tratamentos pousio e PD não houve diferenças significativas entre as profundidades, sendo a fitotoxicidade maior para PD. No manejo 4PS na camada de 3-6 cm os valores de fitotoxicidade foram similares aos do PD, e para a camada 0-3 cm diminuiu a valores similares a pousio, indicando uma maior degradação do produto na superfície do solo, quando revolvido durante a entre-safra. Ulbrich et al. (2005) observaram aumentos na persistência de imazapic e imazapyr em dois solos brasileiros com PD comparado com plantio convencional, em culturas de sequeiro.

Tabela 2. Fitotoxicidade e estatura de plantas (cm) do tomateiro aos 15 DAE, semeados sobre amostras de solo das parcelas submetidas a diferentes manejos de solo e coletadas a duas profundidades.

	Fitotoxicidade	Estatura
Manejo de solos		
PD	47 a ¹	2,7 b
4PS	26 b	4,0 a
Pousio	13 b	3,4 ab
Testemunha	0 c	4,4 a
Significância ²	**	***
Profundidade solo		
0-3 cm	15 b	3,9 a
3-6 cm	28 a	3,3 b
Significância	**	*
Manejo*Profundidade	*	NS
CV%	38	24

¹Médias não seguidas da mesma letra diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05); ²NS não significativa, *** significativa P≤0,001, ** significativa P≤0,01, * significativa P≤0,05

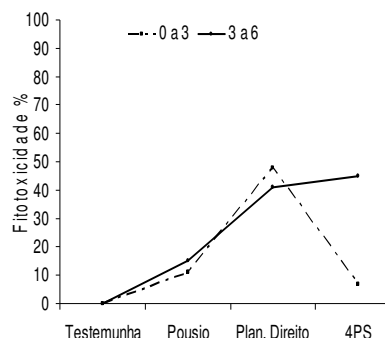


Figura 2. Fitotoxicidade em tomateiro, semeado sobre amostras de solo das parcelas submetidas a diferentes manejos de solo e coletadas a duas profundidades (0 a 3 e de 3 a 6 cm).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- MADANI, M.E. et al. pH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.1, p.1114-1119, 2003.
- ALISTER, C.; KOGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protection**, v.24, n.4, p.375-379, 2005.
- SHAW, D.; WIXSON, M. Postemergence combinations of imazaquin or imazethapyr with AC 263,222 for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v.39, p.644-649, 1991.
- LOUX, M.; REESE, K. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, p.452-458, 1993.
- RAMPELOTTI, F.T. et al. Crescimento inicial de espécies vegetais na presença de resíduos do herbicida BAS 714. In: IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2005, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, SOSBAI, 2005, v.2, 658p., p.181.
- SOON, Y.K.; ARSHAD, M.A. Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. **Soil and Tillage Research**, v.80, p.23-33, 2005.
- PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.137-144, 2005.
- ULBRICH, A.V.; SOUZA, R.P.; SHANER, D. Persistence and carryover effect of Imazapic and Imazapyr in Brazilian cropping systems. **Weed Technology**, v.19, p.986-991, 2005.

Agradecimentos a FAPERGS e INTA Argentina, pelo financiamento do trabalho.

DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DO HERBICIDA ONLY® EM DUAS CULTIVARES DE ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS

Silvio Carlos Cazarotto Villa⁽¹⁾, Enio Marchezan⁽¹⁾, Paulo Fabrício Sachet Massoni⁽¹⁾, Fernando Machado dos Santos⁽¹⁾, Sérgio Luiz de Oliveira Machado⁽¹⁾, Luis Antonio de Avila⁽¹⁾. ¹Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, sala 5335, prédio 44, CEP: 97105-900. E-mail: silvio@mail.ufsm.br, emarch@ccr.ufsm.br.

No Rio Grande do Sul (RS), o arroz-vermelho (*Oryza spp.*) é considerado a principal planta daninha na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*), provocando perdas por competição e qualidade do produto colhido. O uso do arroz tolerante a herbicida do grupo químico das imidazolinonas (Sistema Clearfield), é uma ferramenta eficiente para controlar o arroz-vermelho, sem causar prejuízos na produtividade do arroz cultivado (Steele et al., 2002). Em experimentos conduzidos nos Estados Unidos da América foi determinado que são necessárias duas aplicações de imazethapyr: uma em pré-emergência e uma em pós-emergência para maximizar o controle do arroz vermelho (Steele et al., 2002; Ottis et al., 2003). Atualmente, naquele País, recomenda-se a utilização de aplicações sequenciais de imazethapyr: uma com 70 g ha⁻¹ em pré-plantio incorporado (PPI) ou em pré-emergência (PRE), seguido de 70 g ha⁻¹ em pós-emergência (POS) com o arroz no estágio de três a cinco folhas, independente do tipo de solo (Ottis et al., 2003). No Brasil, a tecnologia preconizada prevê apenas uma aplicação em pós-emergência do herbicida Only® (7,5% de imazethapyr e 2,5% de imazapic) na dose de 1,0L ha⁻¹, o que pode conduzir a risco de escape de arroz-vermelho em áreas com alta infestação, podendo ocasionar o cruzamento natural do arroz resistente com o arroz vermelho, reduzindo a eficácia e longevidade desta tecnologia.

Em vista do exposto, desenvolveu-se um experimento com o objetivo de avaliar o controle de arroz-vermelho e a tolerância de cultivares de arroz irrigado às doses e épocas de aplicações do herbicida Only® em áreas com alta infestação do arroz-vermelho.

O experimento foi conduzido no ano 2004/05 em um Planossolo localizado na área de pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial (2x10) com quatro repetições. O fator A foi composto de cultivares de arroz tolerante às imidazolinonas ('IRGA 422 CL' e 'Tuno CL') e o fator D, os tratamentos de controle do arroz-vermelho (Tabela 1). Para homogeneizar o banco de sementes semeou-se e incorporou-se ao solo sementes de arroz-vermelho na densidade de 125 kg ha⁻¹, obtendo-se população média de 219 plantas m⁻². A semeadura do arroz cultivado foi realizada no dia 29/11/2004, com semeadora de parcelas de 10 linhas espaçadas em 0,20m com 5m de comprimento. Utilizou-se uma cultivar ('IRGA 422 CL') e um híbrido ('Tuno CL'), semeadas na densidade de 108 e 45 kg ha⁻¹, respectivamente. A adubação de base foi aplicada a lanço e incorporada juntamente com o arroz-vermelho dois dias antes da semeadura constando de 6 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. A emergência ocorreu dia 10/11/2004. A aplicação do herbicida em PRE foi efetuada um dia após a semeadura (DAS), utilizando-se um pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas 11002, do tipo leque calibrado para aplicar uma vazão de 125L ha⁻¹. Em POS, a aplicação foi efetuada aos 14 dias após a emergência (DAE) com a maioria das plantas do arroz no estágio V4 (Counce et al., 2000) e com as plantas de arroz-vermelho em V5. Utilizou-se o mesmo pulverizador acima referido, mas com vazão de 150L ha⁻¹ e com adição do óleo mineral (0,5% v v⁻¹). A inundação da área foi realizada um dia  p s a aplicação dos tratamentos em POS com lâmina dágua de cinco cm de altura, aproximadamente. O N aplicado foi na forma de uréia dividido em três épocas; a primeira na semeadura, a segunda (60 kg ha⁻¹ de N) no est dio V4, um dia antes da inundação e, a terceira (60 kg ha⁻¹ de N) na iniciação da panícula (R0).

Os resultados mostraram que para produtividade houve interação entre cultivares e doses do herbicida (ANOVA não mostrada). Apenas na testemunha a produtividade não diferiu entre as cultivares. Nos demais tratamentos, o híbrido 'Tuno CL' destacou-se como genótipo mais produtivo em comparação com 'IRGA 422 CL', independente da dose ou época de aplicação do

herbicida. Para a cultivar 'IRGA 422 CL' houve efeito das doses na produtividade, verificando-se diminuição na produtividade nos tratamentos D7 e D8. Nesta cultivar, a aplicação em POS nas maiores doses (D9 e D10) não afetou a produtividade do arroz (Tabela 1), ainda que a fitotoxicidade inicial tenha sido intensa (Tabela 2). Estes resultados estão de acordo com Ottis, et al. (2003) que relatam que embora tenha ocorrido fitotoxicidade acentuada, realizando-se a aplicação em POS precocemente, o dano não resulta em redução da produtividade.

Tabela 1. Produtividade (kg ha⁻¹) de duas cultivares de arroz tolerantes a imidazolinonas, submetidas a doses e épocas de aplicação do herbicida Only[®] para controle químico de arroz-vermelho. Santa Maria, UFSM, 2005.

Doses do herbicida Only ^{®a}			Cultivares		Média
PRE ^b	POS ^c	Total	IRGA 422 CL	Tuno CL	
----- L ha ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----		
D1	0	0	A 4.720 c ^d	A 4.978 b	4.849
D2	0,75	0	B 8.346 a	A 11.200 a	9.773
D3	0	1,0	B 7.046 ab	A 10.646 a	8.846
D4	1,0	0	B 8.131 ab	A 11.452 a	9.791
D5	0,5	0,5	B 7.511 ab	A 11.190 a	9.351
D6	0,75	0,5	B 7.495 ab	A 11.143 a	9.319
D7	0,75	0,75	B 6.725 b	A 10.792 a	8.759
D8	1,0	0,5	B 6.766 b	A 11.409 a	9.087
D9	1,0	1,0	B 7.016 ab	A 10.809 a	8.913
D10	0	2,0	B 6.806 ab	A 10.491 a	8.649
Média			7.056	10.411	8.734
C.V. (%)				7,6	

^a Imazethapyr (7,5%) + imazapic (2,5%).

^b PRE- Herbicida aplicado em pré-emergência.

^c POS- Herbicida aplicado em pós-emergência (Plantas de arroz-vermelho no estágio V5 (Counce et al., 2000)).

^d Médias não seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e da mesma letra maiúscula na linha diferem pelo teste de Tukey em nível de 1% de probabilidade de erro.

Para fitotoxicidade e controle do arroz vermelho os resultados demonstraram que houve interação entre cultivares e doses do herbicida (ANOVA não mostrada). A fitotoxicidade às plantas de arroz aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos em POS aumentou de acordo com o acréscimo das doses do herbicida (Tabela 2), ocorrendo a maior fitotoxicidade quando a dose total foi de 2,0L ha⁻¹ (D9 e D10). Para a cultivar 'IRGA 422 CL', doses de até 0,5L ha⁻¹ em POS associadas a doses totais inferiores a 1,0L ha⁻¹ (D2, D4 e D5), propiciaram menor fitotoxicidade. Verificou-se também que a dose recomendada de 1,0L ha⁻¹ em POS (D3) apresentou fitotoxicidade semelhante aos tratamentos D6, D7 e D8. Para o híbrido 'Tuno CL' a fitotoxicidade foi menor quando comparado com 'IRGA 422 CL'. Apenas em doses altas é que verifica-se fitotoxicidade mais acentuada não diferindo do tratamento referência (D3). A cultivar 'IRGA 422 CL' apresentou fitotoxicidade superior ao 'Tuno CL', sendo semelhante apenas nos tratamentos com as menores doses (D2, D4 e D5).

Aqueles tratamentos que proporcionaram maior fitotoxicidade ao arroz cultivado foram aqueles que proporcionaram maior controle. O controle de arroz-vermelho não foi de 100% nos tratamentos com dose total de até 1,0L ha⁻¹ (D1, D2, D3, D4 e D5) para ambas as cultivares. Deve-se ressaltar duas práticas de manejo que contribuíram para o controle do arroz vermelho, ou seja, aplicação precoce dos herbicidas e irrigação imediatamente após a aplicação do herbicida em POS, pois de acordo com Willians et al. (2002), proporciona maior disponibilidade e absorção do herbicida pelas plantas.

Tabela 2. Fitotoxicidade aos 15 dias após a aplicação do tratamento em POS e controle de arroz-vermelho (Controle AV), em duas cultivares de arroz tolerantes a imidazolinonas, submetidas a doses e épocas de aplicação do herbicida Only® para controle químico de arroz-vermelho. Santa Maria, UFSM, 2005.

	Doses do herbicida			Cultivares					
	Only® ^a			Fitotoxicidade		Média	Controle AV		Média
	PRE ^b	POS ^c	Total	IRGA 422 CL	Tuno CL		IRGA 422 CL	Tuno CL	
	----- L ha ⁻¹ -----					% ^{d,e}			
D1	0	0	0	A 0 d ^f	A 0 e	0	A 0 c	A 0 c	0
D2	0,75	0	0,75	A 4 c	A 5 d	4	A 97 b	A 98 b	97
D3	0	1,0	1,0	A 22 b	B 14 abc	18	A 97 b	A 98 b	97
D4	1,0	0	1,0	A 6 c	A 4 d	5	A 97 b	A 98 b	98
D5	0,5	0,5	1,0	A 11 c	A 6 cd	9	B 97 b	A 99 a	98
D6	0,75	0,5	1,25	A 26 ab	B 8 bcd	17	A 100 a	A 100 a	100
D7	0,75	0,75	1,5	A 40 ab	B 12 abc	26	A 100 a	A 100 a	100
D8	1,0	0,5	1,5	A 33 ab	B 8 bcd	20	A 100 a	A 100 a	100
D9	1,0	1,0	2,0	A 54 a	B 19 ab	37	A 100 a	A 100 a	100
D10	0	2,0	2,0	A 57 a	B 28 a	43	A 100 a	A 100 a	100
Média				25	10	18	89	89	89
	C.V. (%)					16,0			0,1

^a Imazethapyr (7,5%) + imazapic (2,5%).
^b PRE- Herbicida aplicado em pré-emergência.
^c POS- Herbicida aplicado em pós-emergência (Plantas de arroz-vermelho no estádio V5 (Counce et al., 2000)).
^d Para a análise, os dados foram transformados usando logaritmo (dados apresentados são valores não transformados).
^e Controle de arroz vermelho e fitotoxicidade ao arroz cultivado foram estimados visualmente usando uma escala de 0 a 100%, onde 0 = sem controle ou fitotoxicidade e 100 = controle completo ou morte das plantas de arroz.
^f Médias não seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e da mesma letra maiúscula na linha (dentro de cada variável) diferem pelo teste de Tukey em nível de 1% de probabilidade de erro.

O híbrido ‘Tuno CL’ é mais tolerante a doses maiores de Only® comparado com a cultivar ‘IRGA 422 CL’, sendo possível a utilização dessas doses, em áreas com alta infestação de arroz-vermelho, sem afetar a produtividade desta cultivar.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, vol.40, p.436-443, 2000.
- OTTIS, B.V.; CHANDLER, J.M.; McCAULEY, G.N. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, vol.17, n.3, p.526-533, 2003.
- STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; McCAULEY, G.N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.
- WILLIAMS, B.J.; STRAHAN, R.; WEBSTER E.P. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, Baton Rouge, v.45, n.3, p.1617, 2002.

Agradecimentos: A CAPES, CNPq e UFSM pelo auxílio financeiro. A RICETEC pela doação de sementes.

RESÍDUOS DE HERBICIDAS UTILIZADOS NA CULTURA DO ARROZ NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Sérgio Luiz de Oliveira Machado¹, Renato Zanella¹, Enio Marchezan¹, Márcia Helena Scherer Kurz¹, Fábio Ferreira Gonçalves¹, Luis Antônio de Ávila¹, Ednei Gilberto Primei², Geovane Boschmann Reimche¹. ¹Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Defesa Fitossanitária, Sala 3231A, Prédio 43, UFSM, CEP 97105-900. ²FURG. E-mail: smachado@ccr.ufsm.br.

A utilização de herbicidas tem sido muito difundido em função da necessidade crescente da oferta de alimentos, limitação de áreas agricultáveis e disponibilidade de mão-de-obra. Na agricultura, os problemas gerados com a aplicação de herbicidas, sem o devido conhecimento, podem causar riscos que vão desde a simples poluição do solo até da contaminação d'água. A lavoura arrozeira pode ser um contaminante potencial dos cursos d'água, devido à proximidade aos mananciais hídricos e ainda pelo alto volume de água usado na irrigação. Inúmeros estudos vêm sendo desenvolvidos buscando-se monitorar a contaminação em mananciais hídricos por herbicidas (Machado et al., 2003; Marchezan et al., 2003; Marcolin et al., 2003; Noldin et al., 2003).

Com o objetivo de determinar a persistência de herbicidas na água em lavouras de arroz irrigado, conduziu-se um experimento a campo durante dois anos de cultivo de arroz, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, em parcelas de 40 m² (10 x 4 m). Em 2003/04, aplicaram-se os herbicidas bentazon (960 g ha⁻¹), clomazone (500 g ha⁻¹), quinclorac (375 g ha⁻¹), propanil (3600 g ha⁻¹), 2,4-D (200 g ha⁻¹) e bispiribac-sodium (50 g ha⁻¹) e em 2004/05 foram incluídos os herbicidas pirazosulfuron-ethyl (20 g ha⁻¹) e imazethapyr (60 e 120 g ha⁻¹). Com estas quantidades de cada herbicida sobre uma lâmina média de água de 0,10 m, as concentrações teóricas, estimadas para o volume de água por hectare foram as seguintes: bentazon (960 µL⁻¹), clomazone (500 µg L⁻¹), propanil (3600 µg L⁻¹), quinclorac (375 µg L⁻¹), 2,4-D (200 µg L⁻¹), bispiribac-sodium (50 µg L⁻¹), pirazosulfuron-ethyl (20 µg L⁻¹) e imazethapyr (60 e 120 µg L⁻¹).

Para a determinação da concentração dos herbicidas na água, alíquotas das amostras, após acidificação, foram passadas por um cartucho do tipo extração em fase sólida (SPE) contendo 500 mg de resina C-18 para a pré-concentração dos mesmos. Seguiu-se a eluição com metanol e a determinação por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detecção no Ultravioleta (CLAE-UV), empregando-se coluna do tipo C-18, e metanol e água como fase móvel. Para a determinação da concentração dos herbicidas, retirou-se 250 mL de cada amostra, que após a acidificação, foram passados em cartucho de extração em fase sólida (SPE) contendo 200 mg de resina C-18, previamente condicionado, para a pré-concentração dos herbicidas. Seguiu-se a eluição com 2 x 0,5 mL de metanol (grau HPLC). O solvente foi evaporado empregando-se uma corrente de nitrogênio e o extrato ressuspensão com 0,5 mL de metanol. Procedeu-se, então, a determinação por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detecção no Ultravioleta (HPLC-UV), empregando-se metanol e água como fase móvel e coluna C-18 (Zanella et al., 2003).

Os resultados (Tabelas 1 e 2) mostraram que a concentração dos herbicidas na água diminuiu com o período de amostragem variando entre os herbicidas analisados. Na média dos dois anos agrícolas, clomazone e quinclorac foram os herbicidas mais persistentes na água, sendo detectado até 35 dias após a aplicação em 2003/04. Em 2004/05, bispiribac-sodium e pirazosulfuron-ethyl também foram encontrados até aos 14 dias, respectivamente em concentrações de 1,54 e 1,44 µg L⁻¹, enquanto bentazon foi detectado até aos 28 dias independentemente do ano agrícola.

Esse estudo mostra a necessidade de um manejo adequado da água e a contenção da mesma na lavoura, ao menos no período em que estejam presentes resíduos de herbicidas na água de irrigação, para que mananciais hídricos e áreas adjacentes às lavouras, não sejam contaminados. Esta hipótese de contaminação não pode ser desprezada e torna-se bastante provável em períodos de chuvas intensas. Entretanto, os dados indicam que o nível de contaminação da lavoura arrozeira pelos herbicidas analisados é baixo, longe de alcançar a

condição de altamente poluente. Embora os resultados obtidos tenham apresentado proximidade em relação às médias de concentração dos herbicidas registrados em outros estudos (Marcolin et al., 2003; Noldin et al, 2003), os valores numéricos carecem de representatividade enquanto previsões de níveis de contaminação. Há fatores que devem ser lembrados como indutores de subestimativas. Em primeiro lugar, deve-se destacar a questão das doses empregadas. Como o aumento da dose não foi considerado na análise, e isto pode ocorrer, a possibilidade de que em determinadas situações ocorram concentrações de herbicidas acima das avaliadas neste estudo. Eventos como a precipitação pluvial, escoamento superficial e a suplementação de água são fatores adicionais que podem modificar a concentração dos herbicidas resultando em perdas e picos de concentração. Assim, quanto menor o intervalo de tempo entre a aplicação de herbicidas e a chuva maior será a vulnerabilidade dos mananciais hídricos à jusante da lavoura.

Considerando a importância de se conhecer o nível de herbicidas na água de irrigação, estudos adicionais são necessários para determinar os processos de dispersão de herbicidas aplicados na lavoura pois os herbicidas podem ser prejudiciais ao ambiente, ainda que em baixas concentrações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MACHADO, S.L. de O., ZANELLA, R., MARCHEZAN, E. 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, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.692-694.
- MARCHEZAN, E. et al. Dispersão dos herbicidas clomazone, quinclorac e propanil, nas águas da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, no período de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.689-691.
- MARCOLIN, E., MACEDO, V.R. M., GENRO Jr., 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., 2003, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.686-688.
- NOLDIN, J.A., DESCHAMPS, F.C., EBERHARDT, D.S. Dissipação do herbicida Sirius, aplicado em benzedura em lâmina de água, na cultura do arroz irrigado, sistema pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25. 2003, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.539-541.
- ZANELLA, R. et al. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicides residues in surface and agriculture waters. **Journal of Separation Science**, v.26, p. 1-6, 2003.

Agradecimento: ao CNPq pelo apoio financiamento concedido.

Tabela 1. Concentração e persistência de herbicidas na água de lavouras de arroz irrigado. Ano agrícola 2003/04. Santa Maria, RS. 2005.

Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)	Concentração ³ (µg L ⁻¹)				Persistência (dias)
		teórica ¹	3º dia ²	7º dia	final ³	
Bentazon ⁴	960	960	923,0	730	18,5	28
Clomazone ⁵	700	700	487,5	395	1,4	35
Propanil ⁶	3600	3600	64,0	21,5	10,5	10
Quinlorac ⁷	700	700	422,3	337,5	2,4	35
2,4-D ⁸	200	200	51,8	46,3	18,5	14
Bispiribac-sodium ⁹	50	50	4,00	3,48	0,86	14

Tabela 2. Concentração e persistência de herbicidas na água de lavouras de arroz irrigado. Ano agrícola 2004/05. Santa Maria, RS. 2005.

Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)	Concentração ³ (µg L ⁻¹)				Persistência (dias)
		teórica ¹	7º dia ²	14º dia	final ³	
Bentazon ⁴	960	960	320,00	181,90	66,80	28
Clomazone ⁵	500	500	150,50	69,70	5,7	35
Propanil ⁶	3600	3600	442,70	4,4	4,4	14
Quinlorac ⁷	375	375	117,00	69,70	17,40	28
2,4-D ⁸	200	200	38,70	6,20	6,20	14
Bispiribac-sodium ⁹	50	50	6,02	5,59	1,54	14
Pirazosulfuron-ethyl ¹⁰	20	20	9,80	5,72	1,44	14
Imazethapyr ¹¹	60	60	5,53	1,35	1,35	14
Imazethapyr ¹¹	120	120	2,80	2,46	2,46	14

¹Concentração teórica, em mg L⁻¹, na água de irrigação, calculada em lâmina de água com 10 cm de altura.

²O limite de quantificação (LOQ) após a etapa de pré-concentração foi de 0,1 µg L⁻¹ para 2,4-D, clomazone e propanil, e de 0,5 µg L⁻¹ para o quinlorac, bentazon e bispiribac-sodium, pirazosulfuron-ethyl e imazethapyr atendendo as exigências da legislação.

³Concentração final detectável.

⁴Basagran 600

⁷Facet PM

¹⁰Sírius

⁵Gamit

⁸Aminol

¹¹Vezir

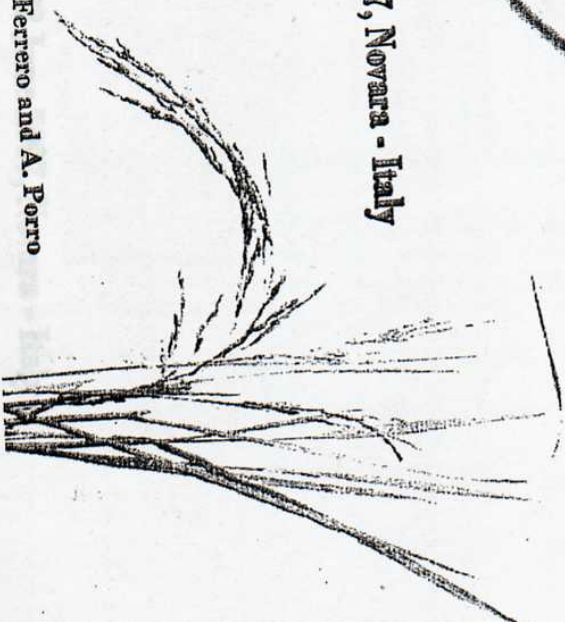
⁶Propanil Milenia

⁹Nominee

Proceedings of the
Fourth
Temperate Rice
Conference

25 - 28 June 2007, Novara - Italy

Edited by S. Bocchi, A. Ferrero and A. Porro



Winter Soil Management on Herbicide (imazethapyr and imazapic) Carryover to Non-Tolerant Rice

Alejandro F. Kraemer⁽¹⁾, Enio Marchesani⁽²⁾, Jefferson T. Fontoura⁽²⁾, Paulo F. S. Massoni⁽²⁾, Luis A. Avila⁽²⁾

ABSTRACT - With the ClearfieldTM technology, it is possible to control rice with imidazolinone herbicides applied to tolerant rice. However, herbicide carryover to susceptible rice genotypes can occur, so it is important to study soil management practices that can reduce herbicide persistence in the field. For this reason, it was conducted an experiment in Santa Maria, Brazil, in 2006/07, to study the effect of soil management practices on the reduction of imidazolinone persistence. The experiment was conducted in an area cultivated with tolerant rice for two years with the application of imazethapyr and imazapic. In the third year, two rice cultivars (one tolerant and one non-tolerant) were used to evaluate the effect of different periods of soil cultivation during winter on herbicide carryover. The results showed lower values for plant stand and tillering for the susceptible genotype compared to the check for all treatments, but there was no difference between the management systems. However, the treatments with no till or minimum till presented lower values of rice injury compared to conventional till. The treatment with only one soil plow before drilling presented the highest rice injury, probably due to lower herbicide degradation. Carryover affected plant stand, tillering, plant height and panicles m^{-2} , but did not affected yield.

KEY WORDS - herbicide persistence, imidazolinones, soil plowing.

1. INTRODUCTION

RED rice is pointed out as the most important restrictive factor to increase rice yield in Rio Grande do Sul state (RS), Brazil, and several other countries worldwide. The ClearfieldTM technology contributed to the higher rice yield obtained in the last years in RS. But the herbicides used in this technology can persist in soil and can carryover, affecting non-tolerant rice cultivars on rotation. Imazethapyr and imazapic present long persistence in soil, where they may suffer alterations by processes of sorption to soil colloids, photolysis and degradation by microorganisms [1 - 3], the late been the most important dissipation mechanism for these herbicides [4 - 6]. The biological processes that occur in soil are affected by environmental factors, such as moisture, temperature and aeration, which can be changed by soil management practices [7-9]. The use of management practices that stimulate

herbicides degradation in soil can reduce the carryover and minimize injuries to subsequent crops. For this reason, this work had the objective of determine the effect of soil management on plant injury to non-tolerant rice due to imazethapyr and imazapic carryover.

II. MATERIALS AND METHODS

A field experiment was conducted during 2006/07 rice growing season in Santa Maria, Rio Grande do Sul state, Brazil. The area used for this experiment was cultivated in the previous two years with tolerant rice and the application of 1L ha^{-1} of the formulated mixture of the herbicides imazethapyr and imazapic (OnlyTM), containing 75 and 25g a.i. L^{-1} , respectively. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme (2x9) with four replications. Factor A was the cultivars IRGA 417 and IRGA 422 CL (tolerant check). Factor D was the soil management practices: no till (NT), no till with ryegrass in winter (NTR), one PW in April (1PW), one PW in April and one PW in October (1PWO), two PW one in May and one in October (2PWAO), two PW one in April and one in October (2PVAO), three PW one in April, May and one in October (3PW), and four plowing during winter (4PW). The cultivar IRGA 422 CL was used as check because it is tolerant to imidazolinones and has agronomic characteristics similar to IRGA 417. A preliminary experiment was carried out to confirm the similarities between them; in this study four comparative experiments were conducted, with six replications, in areas with no herbicide carryover.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In the preliminary study, no significant differences were observed between the cultivar IRGA 422 CL and IRGA 417 for the evaluated parameters. So the results confirmed the similarities between the two cultivars, and IRGA 422CL was used as a check in this experiment.

The higher levels of plant injury (Figure 1) for the cultivar IRGA 417 were observed for up to 24 days after emergence (DAE), decreasing after 36 DAE (Figure 1). The difference among soil management practices also decreased after 36 DAE (Figure 1). Plant injury presented its higher values in the treatment 1PWO. Intermediate values were observed for conventional

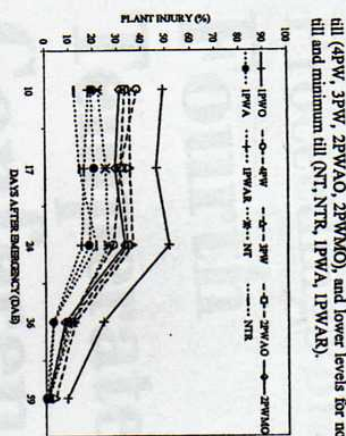


Fig. 1. Plant injury for the cultivar IRGA 417 at different times and under different soil management practices. NT = no till; NTR = no till with ryegrass in winter; 1PW = one PW in April; 1PWO = one PW in April and one in October; 2PW = two PW one in April and one in October; 2PVAO = two PW one in April and one in October; 3PW = three PW one in April, May and one in October; and 4PW = four plowing during winter.

The significant interaction for plant stand evaluated at 17 DAE (PS17) and tillers m^{-2} (Table I) was due to lower number of plants m^{-2} and tillers m^{-2} in the treatment 1PWO for IRGA 417, what was not observed for IRGA 422 CL, with the main effect being the difference between cultivars. Due to that, the effects of soil management and cultivars were discussed separately.

Table I. Plant stand (plants m^{-2}) at 10 (PS10) and 17 DAE (PS17), tillering (TL - tillers m^{-2}), plant height (PH - cm), panicles m^{-2} (PN) and yield (kg ha^{-1}) for 9 different soil management practices and two rice cultivars.

Source of variation	PS10	PS17	TL	PH	PN	Yield
Mean	254	304	519	87	383	9649
Soil management	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS
IRGA 422 CL	231 a ¹	350 a ¹	599 a ¹	88 a ¹	404 a ¹	9861
IRGA 417	226 b	260 b	440 b	86 b	361 b	9837
Significance ²	***	***	***	***	*	NS
Treat-Cult ³	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV%	17	18	21	4	18	11

¹ Same letters do not differ significantly at 5% of significance.

² NS non significant; *** significant at p<0.001; * significant at p<0.01; * significant at p<0.05.

The different soil management practices did not affect the evaluated variables (Table I). IRGA 422 CL showed higher number of plants m^{-2} , tillers m^{-2} , plant height and panicles m^{-2} , meaning that IRGA 417 was affected by herbicide carryover in soil (Table I), although it was not observed carryover effect on yield.

IV. CONCLUSION

Plant injury to IRGA 417 caused by herbicide carryover in soil decreased after 36 days after emergence, and was not observed after 60 days. The higher levels of plant injury were observed in the treatments with less soil preparation and deeper sowing depths.

The carryover affected plant stand, tillers, plant height and number of panicles, but did not affect rice grain yield for the non-tolerant cultivar.

REFERENCES

- [1] Madani M E, Azam M, Zaidi A, Marwan D, and Khatun A 2003, *Frontier Environ. Biol.* 1, 1114-1119.
- [2] Tan S, Evans R, Dabner M L, Singh B K, and Shaver D L 2005, *Per. Man. Sci.* 61, 246-257.
- [3] Allister C and Kogan M 2005, *Crop Prot.* 24, 375-379.
- [4] Shaw D and Wilson M 1993, *Weed Sci.* 39, 644-649.
- [5] Louis M and Reese K 1993, *Weed Technol.* 7, 452-458.
- [6] Louis M, Label R, and Silt P 1989, *Weed Sci.* 37, 259-267.
- [7] Hasegati J, Neebel A M, and Butler P C 1994, *Soil Biol. Biochem.* 26, 1561-1571.
- [8] Soon Y K and Arshad M A 2003, *Soil Tillage Res.* 69, 23-33.
- [9] Perez K S, Ramos M L G, and Melanson C 2005, *Prog. Agronomy. Briz.* 48, 137-144.

BANCO DE SEMENTES DE ARROZ VERMELHO COM USO DO SISTEMA CLEARFIELD®

Mara Grohs⁽¹⁾, Enio Marchesan⁽¹⁾, Paulo Fabrício Sachet Massoni⁽¹⁾, Claudio Glier⁽¹⁾, Luis Antonio de Avila⁽¹⁾, ¹Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97.105-900, RS. E-mail: emarch@ccr.ufsm.br.

O arroz-vermelho é uma planta daninha de difícil controle, possuindo de grane natural e elevado grau de dormência de suas sementes. Visando seu controle seletivo foi desenvolvido o Sistema Clearfield®, que preconiza a utilização de sementes tolerantes com herbicidas do grupo químico das imidazolinonas e a aplicação de herbicidas para o seu controle. É recomendada a utilização desse sistema por até dois anos, porém, esse período pode não ser suficiente para o controle total do banco de sementes, o qual pode rapidamente reinfestar a área, sendo necessário estudos para identificar a melhor rotação de sistemas para a redução do banco de sementes de arroz vermelho. Em vista disso, foi conduzido um estudo com o objetivo de quantificar o banco de sementes de arroz-vermelho após a utilização do Sistema Clearfield® em rotação com Sistema Convencional. O ensaio foi conduzido no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, nos anos agrícolas de 2004/05, 2005/06 e 2006/07. O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas constaram da rotação do Sistema Convencional (sem aplicação de herbicidas para controle de arroz-vermelho) e do Sistema Clearfield® (com aplicação de herbicida para controle de arroz-vermelho) conforme a Tabela 1. Para a homogeneização do banco de sementes de arroz-vermelho, no primeiro ano, distribuiu a lanço e incorporou-se um dia antes da semeadura do arroz cultivado, a quantidade de 200 kg ha⁻¹ de sementes de arroz-vermelho, obtendo-se uma população média inicial de 403 sementes m⁻² em cada parcela. Utilizou-se a cultivar IRGA 422 CL (tolerante ao herbicida) no Sistema Clearfield®, e a cultivar IRGA 417 no Sistema Convencional. Na entressafra de cada ano agrícola (2004/05, 2005/06 e 2006/07) foi realizada a coleta das amostras de solo, sendo coletada 5 amostras por parcela, com a utilização de um trado calador com diâmetro de 10 cm, coletando-se na profundidade de 0-1 cm. Posteriormente foi realizada a lavagem do solo e determinado o número total de sementes presente em cada amostra.

Tabela 1- Seqüência de rotação entre Sistema Convencional e Sistema Clearfield®.

Sistema	2004/05	2005/06	2006/07
A1	Convencional	Clearfield®	Convencional
A2	Clearfield®	Convencional	Convencional
A3	Clearfield®	Clearfield®	Convencional
A4	Clearfield®	Clearfield®	Clearfield®

O banco de sementes de arroz-vermelho variou em função dos sistemas estudados (Figura 1). Nos 4 sistemas propostos, o banco de sementes aumentou consideravelmente depois do uso do sistema convencional, independentemente se era antecedido por um ou dois anos com a tecnologia Clearfield®. O banco de sementes diminuiu drasticamente, sempre que foi precedido pelo sistema Clearfield®. Esses resultados possivelmente foram conseqüência da falta de medidas de controle quando utilizado o Sistema Convencional. O de grane precoce das sementes inviabilizam a sua colheita, sendo que esse de grane contribui em torno de 70 a 80% para o aumento do banco de sementes em sistema de plantio direto e convencional (Avila, 1999). Em contrapartida, o manejo adequado do Sistema Clearfield® pode reduzir em até 98-100% a população de arroz-vermelho que emerge na área (Santos, 2006; Villa et al., 2006) (Figura1).

A utilização do Sistema Clearfield®, demonstra-se eficaz quando adequadamente manejado. Mesmo assim, ao retornar ao Sistema Convencional, houve uma reinfestação da área e um conseqüente aumento no banco de sementes na safra subsequente, alcançando ou superando os níveis iniciais de banco de semente, independentemente se precedido por um ou dois anos de uso da tecnologia.

Com a utilização de três safras consecutivas do Sistema Clearfield®, houve diminuição do banco de sementes. Mesmo assim, as safras subseqüentes poderão ser comprometidas caso não seja adequadamente manejado.

Com base nos resultados de três safras, conclui-se que o Sistema Clearfield® apresenta-se como uma ferramenta eficiente na diminuição do banco de sementes de arroz-vermelho comparativamente ao Sistema Convencional. Porém em níveis não suficientes para eliminar completamente as sementes do solo, podendo haver reinfestação da lavoura mesmo após dois anos de uso do Sistema. Em vista disso, práticas de manejo integrado dessa planta daninha devem ser empregados, como rotação de cultura, o **rouging**, o pousio do solo, entre outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avila L. A. de, Evolução do banco de sementes e controle do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) em diferentes sistemas de manejo do solo de várzea. Santa Maria, RS, 1999. 86p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

Santos F.M., dos. Alternativas de controle químico do arroz-vermelho e persistência dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone na água e no solo Santa Maria, RS, 2006. 72p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

Villa, S. C. C. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, fluxo gênico e efeito residual do herbicida em culturas sucessoras não-tolerantes. **Planta daninha**, vol. 24, n.4, 2006.

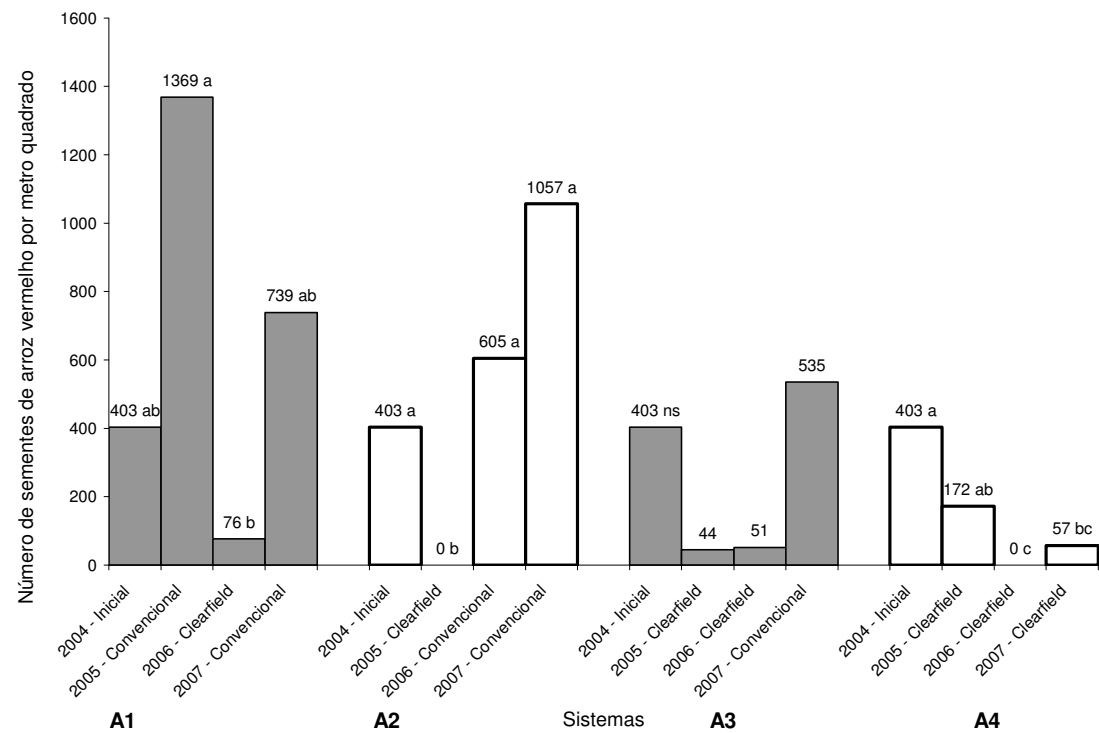


FIGURA 1. Evolução do banco de sementes de arroz vermelho em resposta ao Sistema Clearfield®. UFSM, Santa Maria, 2007.

CONTROLE DE ARROZ VERMELHO EM ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS E O RESIDUAL EM GENÓTIPO DE ARROZ NÃO TOLERANTE

Paulo Fabrício Sachet Massoni⁽¹⁾, Enio Marchesan⁽¹⁾, Silvio Carlos Cazarotto Villa⁽¹⁾, Mara Grohs⁽¹⁾, Jefferson Tolfo da Fontoura⁽¹⁾, Sérgio Luiz de Oliveira Machado⁽²⁾, Luis Antonio de Avila⁽¹⁾. ¹Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP 97105-900, Santa Maria, RS; ²Departamento de Defesa Fitossanitária, UFSM, 97.105-900, Santa Maria, RS. E-mail: emarch@ccr.ufsm.br

O arroz vermelho é considerado a principal planta daninha e a mais limitante do potencial produtivo do arroz irrigado. Com o desenvolvimento de plantas de arroz tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas tornou-se possível o seu controle. De acordo com pesquisas prévias, recomenda-se a utilização dessa tecnologia por dois anos consecutivos, e após sugere-se fazer rotação de culturas ou pousio do solo, visto que o uso contínuo do herbicida recomendado pode provocar injúrias em culturas sucessoras não tolerantes, devido a sua persistência no solo, bem como pode haver cruzamento entre o arroz cultivado tolerante e o arroz vermelho.

Em decorrência do exposto, foi desenvolvido um experimento com o objetivo de avaliar a eficiência do controle de arroz vermelho com a aplicação da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic, em arroz tolerante a imidazolinonas, e a consequente fitotoxicidade do residual dos herbicidas sobre genótipo de arroz não tolerante utilizado em rotação.

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, nos anos agrícolas de 2004/05, 2005/06 e 2006/07, porém os resultados apresentados serão apenas do terceiro ano. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial (4 x 2) com parcelas subdivididas. As parcelas principais constaram da rotação entre arroz não tolerante (cultivar IRGA 417) denominado neste trabalho como "Sistema Convencional" e arroz tolerante a imidazolinonas (cultivar IRGA 422 CL) denominado "Sistema Clearfield[®]" (Tabela 1). Nas subparcelas foram alocados os tratamentos para o controle de arroz vermelho: B1 - testemunha sem aplicação; B2 - 1,0 L ha⁻¹ da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a L⁻¹, respectivamente) em pós-emergência (POS).

Para homogeneização do banco de sementes de arroz vermelho, no primeiro ano distribuiu-se a lanço e incorporou-se um dia antes da semeadura do arroz, a quantidade de 200 kg ha⁻¹ de sementes de arroz vermelho, obtendo-se uma população média de 260 plantas m⁻². No primeiro ano a cultura foi implantada no sistema convencional de semeadura, e nos anos seguintes no sistema de plantio direto.

Tabela 1: Fator A: rotação entre o arroz convencional e arroz Clearfield[®].

FATOR A	2004/05	2005/06	2006/07
A1	Convencional	Clearfield	Convencional
A2	Clearfield [®]	Convencional	Convencional
A3	Clearfield [®]	Clearfield	Convencional
A4	Clearfield [®]	Clearfield	Clearfield

A utilização de dois e três anos consecutivos do Sistema Clearfield[®] (A3 e A4) apresentou níveis satisfatórios de redução de número de panículas de arroz vermelho, com valores entre 98 e 99%, demonstrando ser esse um sistema eficiente no controle dessa planta daninha. Além disso, os resultados demonstram que sob sistema de plantio direto, onde não há o revolvimento do solo, o uso de dois anos do Sistema Clearfield[®] (A3) mostrou-se capaz de reduzir quase na totalidade a emergência de arroz vermelho. Porém,

a utilização desse sistema intercalado com o Sistema Convencional (A1) proporcionou apenas 61% de redução do número de panículas. No entanto, a utilização de dois anos com o sistema convencional após sistema Clearfield (A2), a redução do número de panículas foi de aproximadamente 20%. Foi observada fitotoxicidade aos 8 DAE (dias após a emergência) nos quatro sistemas avaliados, mas essa foi maior nos sistemas A1 e A3, nos quais foi semeada a cultivar suscetível uma safra após a utilização do Sistema Clearfield®. Como ainda não havia sido realizada a aplicação dos herbicidas, a fitotoxicidade está relacionada à atividade residual dos herbicidas, caracterizando o comportamento ambiental das imidazolinonas através da sua longa persistência no solo. Nos outros dois sistemas, A2 e A4, o efeito fitotóxico foi significativamente menor em decorrência do fato de que, no sistema A4 foi utilizada cultivar tolerante e no sistema A2 já havia transcorrido duas safras da aplicação dos herbicidas. Aos 14 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), foi observada maior fitotoxicidade para os sistemas A1, A3 e A4, de forma que no sistema A4 a elevada fitotoxicidade se deve ao fato que esse sistema ter sofrido aplicação em POS. Tanto aos 8 DAE quanto aos 14 DAA, foi observada diferença na fitotoxicidade entre a testemunha e o tratamento que sofreu aplicação do herbicida, independentemente do sistema utilizado.

A fitotoxicidade e a população de arroz vermelho refletiram na produtividade de grãos do arroz, sendo que os sistemas com maior fitotoxicidade inicial (A1 e A3) e aqueles com maior número de panículas de arroz vermelho (A1 e A2) apresentaram valores menores. O resultado obtido vai de acordo com AGOSTINETTO (2004), que afirma ser o arroz vermelho muito competitivo mesmo em baixas populações e que medidas de controle que eliminem até 99% da infestação podem não ser suficientes para evitar perdas de rendimento que superem o custo do controle. Em relação ao tratamento com herbicida os sistemas diferiram estatisticamente em produtividade, com a testemunha. Apenas no sistema A2, o qual utilizou o sistema convencional por dois anos após o uso do sistema clearfield® não demonstrou diferença. Esse resultado é reflexo, do baixo nível de redução de número de panículas de arroz vermelho que este sistema apresentou. Porém, com a aplicação de 1,0 L ha⁻¹ em POS (B2) no sistema com três anos consecutivos (A4) a produtividade foi substancialmente maior em comparação aos demais sistemas. Esse resultado é consequência da combinação da cultivar utilizada ser tolerante ao herbicida, obtendo assim, alto controle de arroz vermelho e baixa fitotoxicidade inicial, o que favoreceu a maior produção. Embora os sistemas A3 e A4 apresentem o mesmo índice de redução de arroz vermelho, no tratamento B2, diferiram entre si em produtividade, sendo consequência do efeito da fitotoxicidade inicial do herbicida sobre o genótipo não tolerante, prejudicando assim, o estabelecimento inicial da cultura com reflexo na produtividade.

Baseado nos resultados, conclui-se que o herbicida utilizado permanece no solo por longo período de tempo e causa danos em genótipo de arroz não tolerante 358 dias após a aplicação. Em relação a redução da incidência de arroz vermelho, a utilização do Sistema Clearfield® por dois anos sucessivos reduz em 98% a incidência de arroz vermelho no terceiro ano de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D., FLECK, N.G., RIZZARDI, M.A. E BALBINOT JR., A.A. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz vermelho. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.175-183, 2004.

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

Tabela 1. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹), porcentagem panículas de arroz vermelho por metro quadrado em relação a testemunha, fitotoxicidade aos 8 dias após a emergência (DAE) e aos 14 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) em arroz irrigado em resposta a diferentes sistemas de rotação e da aplicação dos herbicidas imazethapyr + imazapic, após três anos de utilização. Santa Maria, RS, 2007.

Sistemas ^{7/}		Produtividade de grãos Kg ha ⁻¹		Panículas de arroz vermelho por metro quadrado (%) ^{3/4/}		Fitotoxicidade aos 8 DAE ^{3/5/}		Fitotoxicidade aos 14 DAA ^{3/5/6/}	
		Tratamento para o controle de Arroz vermelho		Tratamento para o controle de Arroz vermelho		Tratamento para o controle de Arroz vermelho		Tratamento para o controle de Arroz vermelho	
		B1 ^{1/}	B2 ^{2/}	B1	B2	B1	B2	B1	B2
		0 l/ha	0+1 l/ha	0 l/ha	0+1 l/ha	0 l/ha	0+1 l/ha	0 l/ha	0+1 l/ha
A1	Conv 1º ano CL 2º ano Conv 3º ano	B 1684 a	A 5534 c	B 100 a	A 39 b	B 0 a	A 25 a	B 0 a	A 22 a
A2	CL 1º ano Conv 2º ano Conv 3º ano	A 2224 a	A 1882 d	B 100 a	A 80 c	B 0 a	A 7 b	B 0 a	A 5 b
A3	CL 1º ano CL 2º ano Conv 3º ano	B 1859 a	A 6582 b	B 100 a	A 2 a	B 0 a	A 39 a	B 0 a	A 35 a
A4	CL 1º, 2º, 3º ano	B 1527a	A 8347 a	B 100 a	A 1 a	B 0 a	A 8 b	B 0a	A 31 a
CV A		18,3		23,5		35,2		39,2	
CV B		12,8		12,4		20		26,7	

^{1/} Tratamento sem aplicação de herbicida para o controle de arroz vermelho; ^{2/} Tratamento com aplicação da formulação de imazethapyr + imazapic na dose de 1 L ha⁻¹ aplicado em pós-emergência (POS); ^{3/} Para a análise, os dados foram transformados para $yt = ar \cos en \sqrt{(y + 0,5)/100}$; ^{4/} Para avaliação, foram contados o número de panículas de arroz vermelho por parcela e comparado com a testemunha sem controle, onde 0 corresponde a controle total das plantas e 100 corresponde a ausência de controle; ^{5/} Avaliada visualmente em percentagem, onde 0 corresponde a ausência de fitotoxicidade e 100 corresponde a morte de plantas de arroz; ^{6/} Aplicação em POS com as plantas no estágio V 4, segundo a escala de COUNCE et al. (2000); ^{7/} Sistemas de rotação os quais são denominados de Convencional (C) e Clearfield (CL). *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).

ALTERNATIVAS DE UTILIZAÇÃO DE ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO APÓS O USO DO SISTEMA CLEARFIELD®

Luis Antonio de Avila⁽¹⁾, Gustavo Mack Teló⁽¹⁾, Enio Marchesan⁽¹⁾, Sérgio Luiz de Oliveira Machado⁽²⁾, Rafael Bruck Ferreira⁽¹⁾, Getúlio Rigão Filho⁽¹⁾. ¹Departamento de Fitotecnia/CCR, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP: 97105-900, Santa Maria, RS. ²Departamento de Defesa Fitossanitária da UFSM. e-mail: luis-avila@smail.ufsm.br.

O sistema Clearfield® de produção de arroz irrigado, que prevê a utilização de cultivar tolerante a herbicidas do grupo das imidazolinonas, e do herbicida Only® (mistura formulada de imazethapyr e imazapic, 75 e 25 g ia L⁻¹, respectivamente), está em cultivo oficial no Rio Grande do Sul (RS) há quatro anos. A larga utilização deste sistema se deve a sua eficiência no controle seletivo do arroz-vermelho. O sistema prevê a utilização da tecnologia por até dois anos consecutivos e após rotação com outro sistema. No entanto, devido às limitações que os cultivos alternativos têm nas áreas de várzea, e as dificuldades de alternar áreas de cultivo, o produtor acaba tendo como única opção o retorno com o sistema de produção de arroz convencional. Como este sistema é recente no Brasil, faltam informações sobre como migrar do Sistema Clearfield® para o sistema convencional de cultivo de arroz irrigado, com o mínimo de efeito negativo sobre a cultura em rotação. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar manejos de cultivo de arroz em áreas utilizadas com o Sistema Clearfield® visando manter a sustentabilidade desta tecnologia.

O experimento foi instalado em área de várzea sistematizada da Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS) e conduzido no ano agrícola 2006/07. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema trifatorial, com 3 repetições. O fator A foi representado pelas cultivares de arroz (BR-IRGA 409, IRGA 417, IRGA 422CL e BRS 7 "TAIM"). O fator B foi composto por duas formas de manejo nas safras anteriores à realização do experimento: 1) duas safras agrícolas com o uso do Sistema Clearfield® usando o herbicida Only® na dose de 1 L ha⁻¹ em pós-emergência (POS) e uma safra com cultivo de arroz não tolerante, sem aplicação de herbicida Only® (2CL + 1 CON); 2) três safras agrícolas com o uso do Sistema Clearfield® na dose de 1 L ha⁻¹ de Only® em POS (3 CL). O fator C foi representado por diferentes herbicidas aplicados na safra 2006/07 (Tabela 1). O manejo da cultura foi realizada segundo recomendações da pesquisa. A emergência ocorreu no dia 01/11/2006. A aplicação dos herbicidas ocorreu aos 16 dias após a emergência (DAE).

Quanto ao estande inicial de plantas (dados não mostrados), não houve diferença estatística entre as cultivares estudadas, os manejos da área nas safras anteriores e os herbicidas aplicados na safra 2006/07, indicando que estes fatores não afetaram a emergência das plantas, sendo a média de 177 plantas m⁻². Para a produtividade de grãos (Tabela 1), na área com 2CL + 1CON não houve diferença entre as cultivares testadas e nem entre os diferentes herbicidas aplicados na safra de 2006/07, com produtividade média na área de 8.663 kg ha⁻¹. Na área com 3CL observou-se diferença na produtividade entre as cultivares, porém não entre os diferentes herbicidas aplicados na safra 2006/07. A maior produtividade foi maior para a cultivar IRGA 422 CL, obtendo rendimento até 30% maior do que as outras cultivares. Esse menor rendimento nas cultivares não tolerantes as imidazolinonas está relacionada ao efeito residual do herbicida no solo, o que afetou o desenvolvimento das plantas, conforme já relatado por Villa et al (2006) que observaram morte de plantas de cultivar não tolerante, após um ano de uso do sistema Clearfield. Dados similares aos encontrados por ZHANG et al. (2002) que verificaram reduções de até 41% na produtividade do arroz. Análise comparativa entre as áreas com 2CL+1CON e 3CL, demonstrou que o tratamento sem aplicação de Only® por um ano, apresentou produtividade 35% maior, indicando assim menor efeito residual do herbicida no solo nesse manejo. Segundo alguns autores (DONALDA, 2006; RENNER et al., 1998), os herbicidas

do grupo das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos em solo de várzeas.

Tabela 1- Produtividade de grãos e fitotoxicidade de plantas em quatro cultivares de arroz irrigado, submetido a cinco herbicidas pós-emergência em dois manejo de áreas de cultivo após o uso do Sistema Clearfield®. Santa Maria, RS. 2007.

Cultivar	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)		Fitotoxicidade (%)			
			21 DAE ¹		40 DAE	
	2 CL + 1 CV ²	3 CL ³	2CL + 1 CV	3 CL	2CL + 1 CV	3 CL
BR-IRGA 409	8.795 ^{ns}	5.121 b	20 ^{ns}	74 a	11 ^{ns}	69 a
IRGA 417	8.620	4.989 b	26	80 a	19	73 a
IRGA 422 CL	8.632	7.277 a	13	17 b	6	8 b
BRS 7 "TAIM"	8.609	5.088 b	23	81 a	16	71 a
Tratamentos^{4,5}						
Testemunha	8.899 ^{ns}	5.959 ^{ns}	0 d	55 c	0 c	48 c
Nominee®	8.655	5.981	28 ab	67 ab	19 a	60 a
Gamit® + Propanil®	8.806	5.728	33 a	72 a	18 a	60 a
Clincher®	8.518	5.016	15 c	59 bc	8 b	53 b
Facet® PM	8.564	5.252	23 cd	64 bc	18 a	56 a
Ricer®	8.524	5.776	25 b	64 bc	18 a	59 a
Média	A 8.663	B 5.619	B 21	A 63	B 13	A 55
C.V. %	15,7		13,3		17,7	

¹Dias após a emergência das plantas; ²Área semeada cultivada por dois anos do Sistema Clearfield® (2003/04 e 2004/05) e um ano com o Cultivo Convencional (safra 2005/06); ³Área cultivada por três anos seguidos com o Sistema Clearfield® (2003/04, 2004/05 e 2005/06); ⁴Aplicação em pós-emergência com o arroz no estágio de V₅ (COUNCE et al., 2000); ⁵Doses dos herbicidas: Nominee = 120 ml ha⁻¹, Gamit + Propanil = 0,6 L ha⁻¹ + 5,0 L ha⁻¹, Clincher = 1,5 L ha⁻¹, Facet = 0,75 L ha⁻¹ e Ricer = 200 ml ha⁻¹; ^{ns}Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; * Médias seguidas de diferentes letras minúscula na coluna e letra maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

A avaliação de fitotoxicidade foi realizada em três períodos durante o desenvolvimento da cultura. Na primeira avaliação (15 DAE) (Dados não mostrados), realizada antes do início da irrigação e da aplicação dos herbicidas, somente na área com 3CL, foi observada fitotoxicidade em todas as cultivares, sendo maior para as cultivares não tolerantes a imidazolinonas (BR-IRGA 409, IRGA 417 e BRS 7 "TAIM"). BALL et al. (2003), enfatiza que pode haver fitotoxicidade decorrente do residual do herbicida no solo dependendo da cultura sucessora. Para o manejo com 2CL+1CON, não foi observada diferença entre as cultivares após o início da irrigação. Em relação aos herbicidas aplicados em 2006/07, a fitotoxicidade foi maior para os tratamentos com Gamit® + Propanil® e Nominee®. Na avaliação aos 40 DAE houve redução na fitotoxicidade das plantas para todos os herbicidas aplicados. Enquanto que o manejo com três safras consecutivas do Sistema Clearfield® observou-se aumento na fitotoxicidade após o início da irrigação, com menores valores para IRGA 422 CL. A fitotoxicidade apresentada neste manejo também foi influenciada pela aplicação dos herbicidas em 2006/07 na área, sendo maior a fitotoxicidade nos tratamentos com Gamit® + Propanil® e Nominee®.

Os resultados sinalizam que o cultivo de arroz irrigado após o uso do Sistema Clearfield® por dois anos, requer, pelo menos, uma safra agrícola sem o uso do sistema, para evitar que o residual do herbicida Only® afete a produtividade do arroz não tolerante. Quanto ao uso de herbicidas não pertencentes ao grupo das imidazolinonas, quando retorna-se ao sistema convencional com cultivares não tolerantes não foi verificado diferença de produtividade nem entre os herbicidas e nem entre as cultivares. Porém deve-se dar preferência para o uso de herbicidas que não sejam inibidores de ALS, alternando-se, assim modos de ação de herbicidas, reduzindo-se a probabilidade de ocorrência de plantas daninhas resistentes a esse grupo de herbicidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

DONALDA, W. Estimated corn yields using either weed cover or rated control after pre-emergence herbicides. **Weed Science**, vol. 54, n. 2, pag. 373-379, 2006.

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

SOSBAI; ARROZ IRRIGADO: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil / **Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado**; IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. Santa Maria p.57-58, 2005.

VILLA,S.C.C., et al. Arroz tolerante a imidazolinonas: Controle do arroz-vermelho, fluxo gênico e efeito residual do herbicida em culturas sucessoras não-tolerantes. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.24,n.43,p.762-768, 2006.

ZHANG W. et al. Rice (*Oryza sativa*) response to rotational crop and rice herbicide combinations. **Weed Technology**, v.16, p.340–345, 2002.

Agradecimento: Ao Grupo de Pesquisa em Arroz e Uso Alternativo de Várzea da UFSM, pelo apoio na realização do trabalho.

CONTROLE DE ARROZ VERMELHO EM ARROZ TOLERANTE A IMIDAZOLINONAS E O RESIDUAL EM GENÓTIPO DE ARROZ NÃO TOLERANTE

Paulo Fabrício Sachet Massoni⁽¹⁾, Enio Marchesan⁽¹⁾, Silvio Carlos Cazarotto Villa⁽¹⁾, Mara Grohs⁽¹⁾, Jefferson Tolfo da Fontoura⁽¹⁾, Sérgio Luiz de Oliveira Machado⁽²⁾, Luis Antonio de Avila⁽¹⁾. ¹Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP 97105-900, Santa Maria, RS; ²Departamento de Defesa Fitossanitária, UFSM, 97.105-900, Santa Maria, RS. E-mail: emarch@ccr.ufsm.br

O arroz vermelho é considerado a principal planta daninha e a mais limitante do potencial produtivo do arroz irrigado. Com o desenvolvimento de plantas de arroz tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas tornou-se possível o seu controle. De acordo com pesquisas prévias, recomenda-se a utilização dessa tecnologia por dois anos consecutivos, e após sugere-se fazer rotação de culturas ou pousio do solo, visto que o uso contínuo do herbicida recomendado pode provocar injúrias em culturas sucessoras não tolerantes, devido a sua persistência no solo, bem como pode haver cruzamento entre o arroz cultivado tolerante e o arroz vermelho.

Em decorrência do exposto, foi desenvolvido um experimento com o objetivo de avaliar a eficiência do controle de arroz vermelho com a aplicação da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic, em arroz tolerante a imidazolinonas, e a conseqüente fitotoxicidade do residual dos herbicidas sobre genótipo de arroz não tolerante utilizado em rotação.

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, nos anos agrícolas de 2004/05, 2005/06 e 2006/07, porém os resultados apresentados serão apenas do terceiro ano. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial (4 x 2) com parcelas subdivididas. As parcelas principais constaram da rotação entre arroz não tolerante (cultivar IRGA 417) denominado neste trabalho como "Sistema Convencional" e arroz tolerante a imidazolinonas (cultivar IRGA 422 CL) denominado "Sistema Clearfield[®]" (Tabela 1). Nas subparcelas foram alocados os tratamentos para o controle de arroz vermelho: B1 - testemunha sem aplicação; B2 - 1,0 L ha⁻¹ da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a L⁻¹, respectivamente) em pós-emergência (POS).

Para homogeneização do banco de sementes de arroz vermelho, no primeiro ano distribuiu-se a lanch e incorporou-se um dia antes da semeadura do arroz, a quantidade de 200 kg ha⁻¹ de sementes de arroz vermelho, obtendo-se uma população média de 260 plantas m⁻². No primeiro ano a cultura foi implantada no sistema convencional de semeadura, e nos anos seguintes no sistema de plantio direto.

Tabela 1: Fator A: rotação entre o arroz convencional e arroz Clearfield[®].

FATOR A	2004/05	2005/06	2006/07
A1	Convencional	Clearfield	Convencional
A2	Clearfield [®]	Convencional	Convencional
A3	Clearfield [®]	Clearfield	Convencional
A4	Clearfield [®]	Clearfield	Clearfield

A utilização de dois e três anos consecutivos do Sistema Clearfield[®] (A3 e A4) apresentou níveis satisfatórios de redução de número de panículas de arroz vermelho, com valores entre 98 e 99%, demonstrando ser esse um sistema eficiente no controle dessa planta daninha. Além disso, os resultados demonstram que sob sistema de plantio direto, onde não há o revolvimento do solo, o uso de dois anos do Sistema Clearfield[®] (A3) mostrou-se capaz de reduzir quase na totalidade a emergência de arroz vermelho. Porém,

a utilização desse sistema intercalado com o Sistema Convencional (A1) proporcionou apenas 61% de redução do número de panículas. No entanto, a utilização de dois anos com o sistema convencional após sistema Clearfield (A2), a redução do número de panículas foi de aproximadamente 20%. Foi observada fitotoxicidade aos 8 DAE (dias após a emergência) nos quatro sistemas avaliados, mas essa foi maior nos sistemas A1 e A3, nos quais foi semeada a cultivar suscetível uma safra após a utilização do Sistema Clearfield®. Como ainda não havia sido realizada a aplicação dos herbicidas, a fitotoxicidade está relacionada à atividade residual dos herbicidas, caracterizando o comportamento ambiental das imidazolinonas através da sua longa persistência no solo. Nos outros dois sistemas, A2 e A4, o efeito fitotóxico foi significativamente menor em decorrência do fato de que, no sistema A4 foi utilizada cultivar tolerante e no sistema A2 já havia transcorrido duas safras da aplicação dos herbicidas. Aos 14 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), foi observada maior fitotoxicidade para os sistemas A1, A3 e A4, de forma que no sistema A4 a elevada fitotoxicidade se deve ao fato que esse sistema ter sofrido aplicação em POS. Tanto aos 8 DAE quanto aos 14 DAA, foi observada diferença na fitotoxicidade entre a testemunha e o tratamento que sofreu aplicação do herbicida, independentemente do sistema utilizado.

A fitotoxicidade e a população de arroz vermelho refletiram na produtividade de grãos do arroz, sendo que os sistemas com maior fitotoxicidade inicial (A1 e A3) e aqueles com maior número de panículas de arroz vermelho (A1 e A2) apresentaram valores menores. O resultado obtido vai de acordo com AGOSTINETTO (2004), que afirma ser o arroz vermelho muito competitivo mesmo em baixas populações e que medidas de controle que eliminem até 99% da infestação podem não ser suficientes para evitar perdas de rendimento que superem o custo do controle. Em relação ao tratamento com herbicida os sistemas diferiram estatisticamente em produtividade, com a testemunha. Apenas no sistema A2, o qual utilizou o sistema convencional por dois anos após o uso do sistema clearfield® não demonstrou diferença. Esse resultado é reflexo, do baixo nível de redução de número de panículas de arroz vermelho que este sistema apresentou. Porém, com a aplicação de 1,0 L ha⁻¹ em POS (B2) no sistema com três anos consecutivos (A4) a produtividade foi substancialmente maior em comparação aos demais sistemas. Esse resultado é consequência da combinação da cultivar utilizada ser tolerante ao herbicida, obtendo assim, alto controle de arroz vermelho e baixa fitotoxicidade inicial, o que favoreceu a maior produção. Embora os sistemas A3 e A4 apresentarem o mesmo índice de redução de arroz vermelho, no tratamento B2, diferiram entre si em produtividade, sendo consequência do efeito da fitotoxicidade inicial do herbicida sobre o genótipo não tolerante, prejudicando assim, o estabelecimento inicial da cultura com reflexo na produtividade.

Baseado nos resultados, conclui-se que o herbicida utilizado permanece no solo por longo período de tempo e causa danos em genótipo de arroz não tolerante 358 dias após a aplicação. Em relação a redução da incidência de arroz vermelho, a utilização do Sistema Clearfield® por dois anos sucessivos reduz em 98% a incidência de arroz vermelho no terceiro ano de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D., FLECK, N.G., RIZZARDI, M.A. E BALBINOT JR., A.A. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz vermelho. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.175-183, 2004.

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

Tabela 1. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹), porcentagem panículas de arroz vermelho por metro quadrado em relação a testemunha, fitotoxicidade aos 8 dias após a emergência (DAE) e aos 14 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) em arroz irrigado em resposta a diferentes sistemas de rotação e da aplicação dos herbicidas imazethapyr + imazapic, após três anos de utilização. Santa Maria, RS, 2007.

Sistemas ^{7/}		Produtividade de grãos Kg ha ⁻¹		Panículas de arroz vermelho por metro quadrado (%) ^{3/4/}		Fitotoxicidade aos 8 DAE ^{3/5/}		Fitotoxicidade aos 14 DAA ^{3/5/6/}	
		Tratamento para o controle de Arroz vermelho		Tratamento para o controle de Arroz vermelho		Tratamento para o controle de Arroz vermelho		Tratamento para o controle de Arroz vermelho	
		B1 ^{1/}	B2 ^{2/}	B1	B2	B1	B2	B1	B2
		0 l/ha	0+1 l/ha	0 l/ha	0+1 l/ha	0 l/ha	0+1 l/ha	0 l/ha	0+1 l/ha
A1	Conv 1º ano CL 2º ano Conv 3º ano	B 1684 a	A 5534 c	B 100 a	A 39 b	B 0 a	A 25 a	B 0 a	A 22 a
A2	CL 1º ano Conv 2º ano Conv 3º ano	A 2224 a	A 1882 d	B 100 a	A 80 c	B 0 a	A 7 b	B 0 a	A 5 b
A3	CL 1º ano CL 2º ano Conv 3º ano	B 1859 a	A 6582 b	B 100 a	A 2 a	B 0 a	A 39 a	B 0 a	A 35 a
A4	CL 1º, 2º, 3º ano	B 1527a	A 8347 a	B 100 a	A 1 a	B 0 a	A 8 b	B 0a	A 31 a
CV A		18,3		23,5		35,2		39,2	
CV B		12,8		12,4		20		26,7	

^{1/} Tratamento sem aplicação de herbicida para o controle de arroz vermelho; ^{2/} Tratamento com aplicação da formulação de imazethapyr + imazapic na dose de 1 L ha⁻¹ aplicado em pós-emergência (POS); ^{3/} Para a análise, os dados foram transformados para $yt = \arccos \sqrt{(y + 0,5)/100}$; ^{4/} Para avaliação, foram contados o número de panículas de arroz vermelho por parcela e comparado com a testemunha sem controle, onde 0 corresponde a controle total das plantas e 100 corresponde a ausência de controle; ^{5/} Avaliada visualmente em percentagem, onde 0 corresponde a ausência de fitotoxicidade e 100 corresponde a morte de plantas de arroz; ^{6/} Aplicação em POS com as plantas no estágio V 4, segundo a escala de COUNCE et al. (2000); ^{7/} Sistemas de rotação os quais são denominados de Convencional (C) e Clearfield (CL). *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).

DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DO HERBICIDA ONLY® EM DUAS CULTIVARES DE ARROZ TOLERANTE AS IMIDAZOLINONAS

Gustavo Mack Teló⁽¹⁾, Enio Marchesan⁽¹⁾, Silvio Carlos Cazarotto Villa⁽²⁾, Rafael Bruck Ferreira⁽¹⁾, Sérgio Luiz de Oliveira Machado⁽³⁾, Luis Antonio de Avila⁽¹⁾. ¹Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP: 97105-900, Santa Maria, RS. ²Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia ³Departamento de Defesa Fitossanitária da UFSM. Email: emarch@ccr.ufsm.br.

O arroz-vermelho é a principal planta daninha na cultura do arroz irrigado. Devido às similaridades morfofisiológicas existentes entre o arroz cultivado e o arroz-vermelho, ele é tolerante a quase todos os herbicidas utilizados na cultura, dificultando sua eliminação. Atualmente, a utilização de arroz tolerante a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (Sistema Clearfield®) é uma ferramenta eficiente para o controle de arroz-vermelho, sem causar prejuízos à produtividade do arroz cultivado (STEELE et al., 2002). Em experimentos conduzidos nos EUA determinou-se que, para maximizar o controle do arroz-vermelho nesse sistema, são necessárias duas aplicações de imazethapyr: uma em pré-emergência (PRE) e outra em pós-emergência (POS) (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003), sendo que naquele país a recomendação atual de aplicações sequenciais de imazethapyr é de: uma aplicação de 70 g ha⁻¹ em pré-plantio incorporado (PPI) ou em PRE, seguida de 70 g ha⁻¹ em POS com o arroz no estágio de três a cinco folhas, independente do tipo de solo (OTTIS et al., 2003). No Brasil, o sistema prevê apenas uma aplicação em POS do herbicida Only® (75 g ha⁻¹ de imazethapyr e 25 g ha⁻¹ de imazapic) na dose de 1,0 L ha⁻¹. Em áreas com alta infestação essa recomendação pode proporcionar escapes de arroz-vermelho, podendo ocasionar cruzamento natural com o arroz tolerante, reduzindo a eficácia e longevidade desta tecnologia. Nesse sentido, um experimento foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o controle de arroz-vermelho e a tolerância de cultivares de arroz irrigado à doses e épocas de aplicações do herbicida Only® em áreas com alta infestação do arroz-vermelho.

O trabalho foi conduzido durante duas safras agrícolas (2004/05 e 2005/06), em área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema bifatorial (2x10) com quatro repetições. O fator A foi representado pelos genótipos de arroz tolerante a imidazolinonas (IRGA 422 CL e Tuno CL), e o fator B pelos tratamentos de controle do arroz-vermelho (Tabela 1). Para homogeneizar o banco de sementes, realizou-se a semeadura e incorporação ao solo de sementes de arroz-vermelho na densidade de 125 kg ha⁻¹ no primeiro ano, e 115 kg ha⁻¹ no segundo ano, obtendo-se população média de 219 e 257 plantas m⁻², respectivamente. A semeadura do arroz cultivado foi realizada na primeira quinzena do mês de novembro nas duas safras, com semeadora de parcelas de 10 linhas espaçadas em 0,17m com 5m de comprimento. A densidade de semeadura foi de 108 kg ha⁻¹ para a cultivar IRGA 422 CL e de 45 kg ha⁻¹ para o híbrido TUNO CL. A adubação de base foi aplicada a lanço e incorporada juntamente com o arroz-vermelho dois dias antes da semeadura, sendo composta por 6 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. A aplicação do herbicida em PRE foi efetuada um dia após a semeadura (DAS), utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas 11002, do tipo leque, calibrado para aplicar uma vazão de 125 L ha⁻¹. Em POS, a aplicação foi efetuada aos 14 dias após a emergência (DAE), com a maioria das plantas de arroz no estágio V4 (COUNCE et al., 2000) e com as plantas de arroz-vermelho em V5. Foi utilizado o mesmo pulverizador descrito acima, mas com vazão de 150 L ha⁻¹ e com adição de óleo mineral (0,5% v v⁻¹). A inundação da área foi realizada um dia após a aplicação dos tratamentos em POS, com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm de espessura. O N aplicado foi na forma de uréia dividido em três

épocas: a primeira na semeadura, a segunda (60 kg ha⁻¹ de N) no estágio V4, um dia antes da inundação, e a terceira (60 kg ha⁻¹ de N) na iniciação da panícula (R0).

Os resultados demonstraram interação entre a doses do herbicida e cultivares (Tabela 1). O híbrido (Tuno CL) apresentou maior produtividade do que a cultivar (IRGA 422 CL), independente da dose ou época de aplicação do herbicida, exceto na testemunha (D1), onde não houve diferença entre os genótipos. Com a utilização do herbicida foi observada maior produtividade, com aumentos de até 76% para a cultivar e de até 134% para o híbrido em relação a testemunha, em ambos os anos. As doses e épocas de aplicação do herbicida não afetaram a produtividade para o híbrido, mas influenciaram os resultados da cultivar, observando-se redução na produtividade para os tratamentos D7 e D8 somente no primeiro ano. Entretanto, a aplicação de maiores doses em POS (D9 e D10) não afetou a produtividade da cultivar. Independentemente das doses aplicadas de herbicida, foi observada fitotoxicidade (dados não mostrados) na fase inicial de desenvolvimento, com maiores níveis nos tratamentos com aplicação em POS e com maiores doses, para a cultivar e em menores níveis para o híbrido.

Tabela 1. Produtividade de grãos em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only® em duas safras seguidas, utilizando genótipos de arroz tolerante. Santa Maria-RS, 2007.

Doses de Only ^{®1}			Produtividade de Grãos			
PRE ²	POS ³	Total	1º Ano (2004/05)		2º Ano (2005/06)	
----- L ha ⁻¹ -----			IRGA 422 CL	Tuno CL	IRGA 422 CL	Tuno CL
			----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----	
D1	0	0	A 4720 c	A 4978 b	A 4719 b	A 4920 b
D2	0,75	0	B 8346 a	A 11200 a	B 8104 a	A 11189 a
D3	0	1,0	B 7046 ab	A 10646 a	B 7359 a	A 10954 a
D4	1,0	0	B 8131 ab	A 11452 a	B 8009 a	A 11501 a
D5	0,5	0,5	B 7511 ab	A 11190 a	B 7489 a	A 11321 a
D6	0,75	0,5	B 7495 ab	A 11143 a	B 7491 a	A 11219 a
D7	0,75	0,75	B 6725 b	A 10792 a	B 7189 a	A 11007 a
D8	1,0	0,5	B 6766 b	A 11409 a	B 7107 a	A 11284 a
D9	1,0	1,0	B 7016 ab	A 10809 a	B 6920 a	A 10950 a
D10	0	2,0	B 6806 ab	A 10491 a	B 6964 a	A 10532 a
Média			7056	10411	7135	10488
C.V. (%)			7,6		4,91	

¹ Mistura formulada de imazetapir (75 g i.a. L⁻¹) + imazapic (25 g i.a. L⁻¹); ² Aplicação em pré-emergência; ³ Aplicação em pós-emergência [arroz-vermelho em V₅ (COUNCE et al., 2000)]; * Médias dentro de cada ano não seguidas da mesma letra minúscula na coluna, e da mesma letra maiúscula na linha diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

As diferentes doses e épocas de aplicação do herbicida propiciaram controle do arroz-vermelho (Tabela 2) sendo que o controle foi total para os tratamentos com aplicações de doses totais a partir de 1,25 L ha⁻¹ (D6, D7, D8, D9 e D10), porém com maior fitotoxicidade nesses tratamentos. Convém ressaltar que duas práticas de manejo contribuíram para o melhor controle do arroz-vermelho: a aplicação precoce do herbicida e a irrigação iniciada imediatamente após a aplicação do herbicida em POS, a qual pode ter proporcionado maior disponibilidade e absorção do herbicida pelas plantas (WILLIAMS et al., 2002). A lâmina de água pode ter contribuído para o melhor controle pois atua como barreira física na emergência do arroz-vermelho. Além disso, a sistematização da área do experimento auxiliou na manutenção da lâmina de água uniforme e constante e, pelo fato de não haver taipas, o problema de reinfestação de arroz-vermelho foi reduzido.

Em geral, os resultados mostram que o híbrido Tuno CL é mais tolerante a maiores doses de Only® comparado com a cultivar IRGA 422 CL, constituindo-se numa ferramenta auxiliar para áreas com alta infestação de arroz-vermelho. O controle de arroz-vermelho foi total com aplicações do herbicida em PRE complementado com a aplicação em POS, desde que o total aplicado não seja inferior a 1,25L ha⁻¹. Esta condição é atendida pelo

tratamento D6 (0,75L ha⁻¹ em PRE + 0,5L ha⁻¹ em POS), o qual propicia a menor dose total dentre aqueles com 100% de controle.

Tabela 2- Controle de arroz-vermelho em porcentagem em genótipos de arroz tolerantes a imidazolinonas, submetidas a doses e épocas de aplicação do herbicida Only®. Santa Maria, RS, 2007.

Doses de Only ^{®1}			Controle de arroz-vermelho ²					
	PRE ³	POS ⁴	Total	1º Ano (2004/05)		2º Ano (2005/06)		Média
				IRGA 422 CL	Tuno CL	IRGA 422 CL	Tuno CL	
	----- L ha ⁻¹ -----			----- % ⁵ -----		----- % ⁵ -----		---- % ----
D1	0	0	0	---	---	---	---	---
D2	0,75	0	0,75	A 97 b	A 98 b	A 95 c	A 96 b	97
D3	0	1,0	1,0	A 97 b	A 98 b	A 98 b	A 97 b	98
D4	1,0	0	1,0	A 97 b	A 98 b	A 98 b	A 98 b	98
D5	0,5	0,5	1,0	B 97 b	A 99 a	A 97 b	A 97 b	98
D6	0,75	0,5	1,25	A 100 a	A 100 a	A 100 a	A 100 a	100
D7	0,75	0,75	1,5	A 100 a	A 100 a	A 99 b	A 100 a	100
D8	1,0	0,5	1,5	A 100 a	A 100 a	A 100 a	A 100 a	100
D9	1,0	1,0	2,0	A 100 a	A 100 a	A 100 a	A 100 a	100
D10	0	2,0	2,0	A 100 a	A 100 a	A 99 b	A 98 b	99
Média				99	99	98	99	99
C.V. (%)				0,2		0,8		

¹ Mistura formulada de imazetapir (75 g i.a. L⁻¹) + imazapic (25 g i.a. L⁻¹); ² O controle de arroz-vermelho foi avaliado visualmente, em porcentagem, onde 0 corresponde a ausência de controle e 100 corresponde a controle total de plantas; ³ Aplicação em pré-emergência; ⁴ Aplicação em pós-emergência [arroz-vermelho em V₅ (COUNCE et al., 2000)]; ⁵ Para a análise, os dados foram transformados usando a fórmula $y_t = \log_{10}(y + 1)$; * Médias dentro de cada ano não seguidas da

mesma letra minúscula na coluna, e da mesma letra maiúscula na linha diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; McCAULEY, G.N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.

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

AGRADECIMENTO: A FAPERGS pela bolsa de estudo ao estudante/pesquisador Gustavo Mack Teló, a CAPES pela bolsa de mestrando a Silvio C.C. Villa, ao CNPq pelo apoio financeiro na realização do trabalho.

RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM ÁREA COM CULTIVO SUCESSIVO DE ARROZ IRRIGADO

Enio Marchesan⁽¹⁾, Gustavo Mack Teló⁽¹⁾, Rafael Bruck Ferreira⁽¹⁾, Paulo Fabrício Sachet Massoni⁽¹⁾, Alejandro Fausto Kraemer⁽¹⁾, Sérgio Luiz de Oliveira Machado⁽²⁾, Luis Antonio de Avila⁽¹⁾. ¹Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP: 97105-900, Santa Maria, RS. ²Departamento de Defesa Fitossanitária da UFSM. Email: emarch@ccr.ufsm.br.

Nos últimos anos, a mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (Only[®]) vem sendo amplamente utilizada no Rio Grande do Sul, desde o lançamento de cultivares de arroz tolerante a imidazolinonas. Entretanto, trabalhos destacam a ocorrência de fitotoxicidade ao arroz tolerante nos estágios iniciais de desenvolvimento, e persistência do herbicida na água e nos solos por longo período (LOPES, 2005), o que poderia provocar contaminação do ambiente (lençóis freáticos e mananciais hídricos) e prejudicar o estabelecimento de culturas sucessoras não tolerantes. O dano provocado pelo residual do herbicida no solo depende do intervalo entre a aplicação do herbicida e a semeadura da cultura em sucessão (DONALD, 2006), e varia de acordo com as condições edafoclimáticas e de fatores de manejo que afetam a dissipação do produto. A maioria das recomendações de intervalo de segurança existentes, principalmente para imazethapyr e imazaquim, se baseiam em estudos realizados nos EUA e na Europa, onde as condições edafoclimáticas são diferentes das encontradas no Brasil, o que modifica o residual desses herbicidas. Portanto, é fundamental o estudo e o conhecimento do efeito residual no solo dos herbicidas imazethapyr e imazapic em culturas não tolerantes, principalmente pela carência de informações de seu comportamento em especial, em solos de várzea. Em vista do exposto, um experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito residual dos herbicidas imazethapyr e imazapic no solo em arroz tolerante e não tolerante a imidazolinonas, em áreas com aplicação dos herbicidas nas duas safras anteriores.

O experimento foi conduzido na safra de 2006/07 em área de várzea sistematizada da Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS), em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema bifatorial (2x10) com 4 repetições. O fator A representou as cultivares de arroz: uma tolerante a imidazolinonas (IRGA 422CL) e outra não tolerante (IRGA 417). O fator D representado pelas doses da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic (Tabela 1), o herbicida foi aplicado nas duas safras agrícolas anteriores (2004/05 e 2005/06). A semeadura do arroz foi realizada no dia 03/10/2006, com semeadora de parcelas de 10 linhas espaçadas em 0,17m com 5m de comprimento, e na densidade de 110 kg ha⁻¹ de semente. A adubação foi de 17,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 105 kg ha⁻¹ de K₂O. A emergência ocorreu em 17/10/2006. Foi realizada uma aplicação de Penoxsulam (200 ml ha⁻¹) para o controle de plantas daninhas. A inundação da área foi retardada, tendo início 30 DAE (dias após a emergência), devido ao atraso no crescimento das plantas provocado pelo residual da mistura dos herbicidas, principalmente na cultivar não tolerante (IRGA 417). O N aplicado foi na forma de uréia dividido em três épocas: a primeira na semeadura, a segunda (80 kg ha⁻¹ de N) um dia antes da inundação, e a terceira (40 kg ha⁻¹ de N) na iniciação da panícula. No entanto, a terceira aplicação de N foi atrasada em nove dias, também devido ao atraso no desenvolvimento da cultivar IRGA 417.

Não foi observada diferença no estande inicial (Tabela 1) entre as doses de herbicida aplicado nas safras anteriores (2004/05 e 2005/06). Entretanto, houve diferença significativa entre as cultivares, sendo que IRGA 422 CL apresentou valores maiores de estande inicial do que IRGA 417, isso ocorreu, provavelmente porque o residual dos herbicidas no solo provocou morte precoce de plantas, logo após o início da germinação para a cultivar não tolerante.

Não houve diferença na produtividade de grãos entre as diferentes doses do herbicida aplicado nas safras anteriores em ambas as cultivares. Entretanto, houve diferença entre as cultivares, sendo que IRGA 417 apresentou produtividade 19% menor do que a cultivar IRGA 422 CL. Essa redução pode ser associada ao residual dos herbicidas no solo, visto que, em área sem aplicação dos herbicidas, não houve diferença na produtividade entre as cultivares IRGA 417 (8.944 kg ha⁻¹) e IRGA 421 CL (9.069 kg ha⁻¹). Confirmando outros trabalhos que também demonstram efeito negativo do residual de herbicidas do grupo das imidazolinonas na produtividade de culturas não tolerantes (LOUX & REESE, 1993), com redução na produtividade de grãos do arroz de até 41% (ZHANG et al., 2002).

Tabela 1 – Estande inicial de plantas e produtividade de grãos em duas cultivares de arroz após o uso da mistura formulada de Imazethapyr+Imazapic (Only®) nas duas safras anteriores (2004/05 e 2005/06). Santa Maria-RS, 2007.

Doses do herbicida ¹			Estande Inicial		Produtividade de Grãos	
PRE ²	POS ²	Total	IRGA 417	IRGA 422CL	IRGA 417	IRGA 422CL
----- L ha ⁻¹ -----			--- plantas m ⁻² ---		----- kg ha ⁻¹ -----	
D1	0	0	323 ^{ns}	410 ^{ns}	----- ⁴	----- ⁴
D2	0,75	0	229	365	6.506 ^{ns}	9.118 ^{ns}
D3	0	1,0	250	325	8.068	8.263
D4	1,0	0	258	318	7.515	9.546
D5	0,5	0,5	321	346	7.157	8.808
D6	0,75	0,5	263	328	7.195	9.757
D7	0,75	0,75	321	355	6.706	8.866
D8	1,0	0,5	239	336	7.107	9.649
D9	1,0	1,0	219	369	7.564	7.459
D10	0	2,0	160	401	7.433	8.925
Média			258 B	355 A	7.250 B	8.932 A
C.V. (%)			8,3		13,1	

¹ Mistura formulada de imazetapir (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹); ² Aplicação em pré-emergência; ³ Aplicação em pós-emergência [arroz-vermelho em V₅ (COUNCE et al., 2000)]; ⁴ Parcelas não foram colhidas; ^{ns} Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; * Médias não seguidas da mesma letra minúsculas na coluna (comprando doses de herbicidas) e maiúscula na linha (comparando média de cultivares) diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

O efeito residual do herbicida no solo promoveu fitotoxicidade nas plantas (Tabela 2). No entanto, na avaliação aos 9 DAE, não houve diferença estatística na fitotoxicidade entre as cultivares e entre as doses do herbicida que foram aplicadas nas safras anteriores. Porém após a entrada da água, observou-se aumento nos valores encontrado para fitotoxicidade em ambas as cultivares (35 e 43 DAE), sendo que para a cultivar IRGA 417 houve diferença entre as doses aplicada do herbicida. A fitotoxicidade foi observada até 65 DAE. Para STEELE et al. (2000), em condições adversas para o desenvolvimento do arroz, essa fitotoxicidade pode afetar a produtividade de grãos, como observado neste trabalho.

Portanto, o residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic no solo decorrente da aplicação em duas safras consecutivas pode provocar fitotoxicidade em cultivar não tolerante (IRGA 417), afetando o desenvolvimento das plantas, o estande inicial e a produtividade de grãos. A fitotoxicidade foi acentuada com o início da irrigação, e foi observada até 65 DAE.

Tabela 2 - Fitotoxicidade de plantas em duas cultivares de arroz após o uso da mistura formulada de Imazethapyr+Imazapic nas duas safras anteriores. Santa Maria-RS, 2007.

Tratamentos ⁴	Fitotoxicidade de Plantas ¹					
	9 DAE ²		35 DAE ³		43 DAE ³	
	IRGA 417	IRGA 422CL	IRGA 417	IRGA 422CL	IRGA 417	IRGA 422CL
	----- % -----		----- % -----		----- % -----	
D1	0 b		0 d	0 ¹⁸	0 c	0 ¹⁸
D2	56 a		49 bc	5	74 ab	5
D3	53 a		43 c	5	36 bc	28
D4	59 a		55 abc	14	75 ab	18
D5	49 a		44 bc	6	74 ab	8
D6	58 a		65 abc	5	78 ab	7
D7	48 a		44 bc	5	74 ab	5
D8	70 a		79 a	6	91 a	9
D9	56 a		69 abc	4	93 a	4
D10	66 a		71 ab	11	90 a	13
Média	58 A	45 B	52 A	6 B	68 A	9 B
C.V. (%)	11,1		11,6		12,5	

¹ A fitotoxicidade no arroz foi avaliada visualmente, em porcentagem, onde 0 corresponde a ausência de fitotoxicidade e 100 corresponde a morte de plantas de arroz; ² Avaliação realizada antes do início da irrigação; ³ Avaliações realizadas após o início da irrigação; ⁴ Mistura formulada de imazetapir (75 g L⁻¹) + imazapic (25 g L⁻¹), onde os tratamentos estão descritos na Tabela 1; * Médias não seguidas da mesma letra minúsculas na coluna (comprando doses de herbicidas) e maiúscula na linha (comparando média de cultivares) diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COUNCE, P. A., KEISLING, T. C., MITCHELL, A.J. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, n. 40, 436-443, 2000.
- DONALDA, W. Estimated corn yields using either weed cover or rated control after pre-emergence herbicides. **Weed Science**, vol. 54, n. 2, pag. 373-379, 2006.
- LOPES, S. I. G. Arroz Irrigado: situação atual e perspectivas de uso de cultivares híbridas, transgênicas e mutadas. In: IV CBAI, Santa Maria, RS, 2005 – **Anais...**, v.2, p.594-609.
- LOUX, M. M.; REESE, K. D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, n.2, p.452-458,1993.
- STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; McCAULEY, G.N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.
- ZHANG W. et al. Rice (*Oryza sativa*) response to rotational crop and rice herbicide combinations. **Weed Technology**, v.16, p.340–345, 2002.

AGRADECIMENTO: Ao CNPq pela bolsa de estudo ao pesquisador Gustavo Mack Teló e ao Grupo de Pesquisa em Arroz e Uso Alternativo de Várzea da UFSM, pelo apoio na realização do trabalho.

Rates and Timing of Herbicide Application in the ClearfieldTM System and its Carryover to Non-tolerant Rice

Enio Marchesan⁽¹⁾, Gustavo M. Teló⁽¹⁾, Silvio C. C. Villa⁽¹⁾, Sérgio L. O. Machado⁽²⁾, Luis A. Avila⁽¹⁾, Rafael B. Ferreira⁽¹⁾

ABSTRACT - The ClearfieldTM system, using imidazolinone herbicides in tolerant rice cultivars, is an efficient tool for red rice control. But it is important to study the best rates of herbicide application for red rice control and on herbicide carryover. For this reason a three-year experiment was conducted, aiming at evaluating, in the first and second years, the effect of rates and timing of herbicide (formulated mixture containing imazethapyr and imazapic, 75 and 25 g a.i. L⁻¹, respectively) application on red rice control, and in the third year, the herbicide carryover from the previous two years to non-tolerant rice. Red rice control was total with the split application of at least 1.25L ha⁻¹ (PRE followed by POST). Plant injury in non-tolerant rice was observed due to herbicide carryover after two years of use, independently of the rates used in the previous growing seasons leading to 19% of grain yield reduction.

KEY WORDS - injury, plant injury, red rice control.

I. INTRODUCTION

In Rio Grande do Sul (RS) state, Brazil, red rice (*Oryza spp.*) is the most troublesome weed in flooded rice (*Oryza sativa*), resulting in grain yield and quality losses. The use of the ClearfieldTM System is an efficient tool for red rice control, without effect on rice yield [1]. In experiments conducted in the USA, it was observed that two applications of imazethapyr, one in preemergence (PRE) and one in postemergence (POST), are needed to maximize red rice control [1, 2]. In Brazil, it is recommended one application of 1.0L ha⁻¹ of the formulated mixture of imazethapyr and imazapic (75 and 25 g a.i. L⁻¹, respectively) in POST. This might result in red rice escape in areas with high infestation of this weed, with possible cross-breeding between the tolerant rice and red rice, reducing the efficiency and longevity of this technology. Besides, the herbicides carryover in soil might affect the establishment of other non-tolerant crops, with plant injury to non-tolerant rice during early stages of development [3].

For this reason a three-year experiment was conducted, with the objective of to evaluate, in the first and second years, the

effects of rates and timing of herbicide application on red rice control, and in the third year, the effect of the late treatments on herbicide carryover to non-tolerant rice.

II. MATERIALS AND METHODS

The three-year experiment was conducted in Santa Maria, RS, Brazil. In the first (2004/05) and second (2005/06) growing seasons, two tolerant genotypes (IRGA 422 CL and TUNO CL) were compared under the ClearfieldTM System. In the third growing season (2006/07), a tolerant cultivar was used as tolerant check (IRGA 422 CL) and compared to a non-tolerant cultivar (IRGA 417) to evaluate herbicide carryover. The experimental design was a randomized blocks in a factorial scheme (2x10) with four replications. Factor A was the cultivars and factor B was the herbicide treatment, combining rates and application timing (Table 1), with rates ranging from 0.5L ha⁻¹ to 2.0L ha⁻¹, applied at PRE (one day after sowing) and/or POST (V5 stage). The herbicide was a formulated mixture of imazethapyr (75g L⁻¹) and imazapic (25g L⁻¹). In the third year there was no herbicide application to study carryover.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In the first two years, interaction between genotype and herbicide rate was observed for yield for both genotypes (IRGA 422 CL and TUNO CL). The hybrid TUNO CL had higher yield (10,407 kg ha⁻¹) than IRGA 422 CL (7,049 kg ha⁻¹) in all treatments, independently of rate or timing of herbicide application, with the exception of the check, in which yield did not differ between cultivars.

Herbicide rate affected rice grain yield only for the cultivar IRGA 422 CL, reducing it in the treatments B7 and B8. However, higher herbicide rates (B9 and B10) in POST did not affect rice yield for this cultivar though it was observed severe injury in early stage. Similar results were obtained by other researchers [2], who reported that although plant injury was observed in early stages, this injury does not result in yield reduction.

Total red rice control was only obtained for the treatments with split application of herbicide, with rates higher than 1.0 L ha⁻¹ (B6, B7, B8, B9 and B10). It is important to point out two management practices that contributed for red rice control: early herbicide application and flooding, leading to higher availability and absorption of the herbicide by the plants [3].

(1) Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 97105-900, Brazil.

(2) Departamento de Defesa fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 97105-900, Brazil.

This work was sponsored in part by CNPq e FAPERGS.

In the third year, herbicide carryover from the previous two years promoted plant injury (Table 1), which was higher for the non-tolerant cultivar (IRGA 417) and for the treatments with higher rates in POST. With the beginning of flooding, it was observed an increase in plant injury for both cultivars, but with higher values for the non-tolerant one. This injury could be observed for up to 65 days after emergence. The carryover also affected plant development, reducing plant height for the non-tolerant cultivar, delayed flooding.

Carryover affected rice grain yield, with the non-tolerant cultivar (IRGA 417) presenting a reduction of 19% on yield compared to the tolerant cultivar (IRGA 422 CL). This reduction can be related to herbicide carryover, because in a non-treated area, in a comparison experiment between the two cultivars, there was no differences between grain yield between the two cultivars, (8,944 kg ha⁻¹ for IRGA 417 and 9,069 kg ha⁻¹ for IRGA 422 CL).

IV. CONCLUSION

The hybrid TUNO CL is more tolerant to higher rates of the herbicide compared to the cultivar IRGA 422 CL, allowing the

use these rates of the herbicide in areas with high red rice infestation without affecting rice yield. Red rice control is total with the split application of at least 1.25L ha⁻¹ applied in PRE followed by POST. The use of this system for two years resulted in carryover in the third year with plant injury to the non-tolerant cultivar, reducing rice grain yield, independently of the rates used in the previous years.

REFERENCES

- [1] Steele G L, Chandler J M, and McCauley G N 2002. *Weed Technol.* 16 627-630.
- [2] Ottis B V, Chandler J M, and McCauley G N 2003. *Weed Technol.* 17 526-533.
- [3] Lopes S I G 2005.. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO; XXVI REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, Santa Maria, RS, 2005 – *Anais...*, v.2, p.594-609.
- [4] Williams B J, Strahan R, and Webster E P 2002. *Louisiana Agriculture*, 45 1617.
- [5] Counce P A, et al. 2000. *Crop Sci.* 40 436-443.

Table 1 – Effect of herbicide¹ carryover, after two years of use, on plant injury at 30 and 43 days after emergence (DAE), and on rice grain yield.

	Rate of herbicide ¹			Plant injury 30 DAE		Plant injury 43 DAE		Rice grain yield	
	PRE ²	POST ³	Total	IRGA 417	IRGA 422CL	IRGA 417	IRGA 422CL	IRGA 417	IRGA 422CL
	L ha ⁻¹			%		%		kg ha ⁻¹	
B1	0	0	0	A 0 d ⁵	A 0 ^{ns}	A 0 c	A 0 ^{ns}		
B2	0.75	0	0.75	B 49 bc	A 5	A 74 ab	B 5	6,506 ^{ns}	9,118 ^{ns}
B3	0	1.0	1.0	B 43 c	A 5	A 36 bc	B 28	8,068	8,263
B4	1.0	0	1.0	B 55 abc	A 14	A 75 ab	B 18	7,515	9,546
B5	0.5	0.5	1.0	B 44 bc	A 6	A 74 ab	B 8	7,157	8,808
B6	0.75	0.5	1.25	B 65 abc	A 5	A 78 ab	B 7	7,195	9,757
B7	0.75	0.75	1.5	B 44 bc	A 5	A 74 ab	B 5	6,706	8,866
B8	1.0	0.5	1.5	B 79 a	A 6	A 91 a	B 9	7,107	9,649
B9	1.0	1.0	2.0	B 69 abc	A 4	A 93 a	B 4	7,564	7,459
B10	0	2.0	2.0	B 71 ab	A 11	A 90 a	B 13	7,433	8,925
Means				53	6	68	9	7,250 B	8,932 A
C.V. (%)				11.6		12.5		13.1	

¹ Formulated mixture of imazethapyr (75g L⁻¹) + imazapic (25g L⁻¹); ² Herbicide applied in preemergence; ³ Herbicide applied in postemergence [red rice in V₅ (Counce et al., 2000 [5])]; ⁴ Plant injury was evaluated visually, in percentage, where 0 means no-injury and 100% means death of rice plants; ⁵ Means not followed by the same small letter on the column and the same capital letter on the line differ by Tukey's (p<0.05).

