



## Sumário

**Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo**

**Persistência dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo**

**Carryover of imazethapyr and imazapic to non tolerant rice**

**Retorno a produção de arroz irrigado com cultivares convencionais após o uso do sistema clearfield**

**Época de aplicação de nitrogênio e de início da irrigação na fitotoxicidade causada pela aplicação de imidazolinonas em arroz tolerante**

**Lixiviação de imazethapyr + imazapic em função do manejo de irrigação do arroz**

## Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo

Imazethapyr leaching in rice paddy soil under two tillage systems

Alejandro Fausto Kraemer<sup>I</sup> Enio Marchesan<sup>II\*</sup> Mara Grohs<sup>III</sup> Luis Antonio de Avila<sup>II</sup>  
Sérgio Luiz de Oliveira Machado<sup>IV</sup> Renato Zanella<sup>V</sup> Paulo Fabricio Sachet Massoni<sup>III</sup>  
Gerson Meneghetti Sarzi Sartori<sup>III</sup>

### RESUMO

O imazethapyr está sendo amplamente utilizado no Rio Grande do Sul desde o desenvolvimento da Tecnologia Clearfield® (CL) em arroz, em uma mistura formulada de imazethapyr + imazapic (75 + 25g L<sup>-1</sup>). No entanto, com o uso dessa tecnologia, surgiu o problema da persistência do herbicida no solo, afetando cultivos não tolerantes em sucessão com diferentes intensidades. A fitotoxicidade está relacionada, dentre vários fatores, à localização do herbicida no perfil do solo. O presente trabalho teve por objetivo determinar o posicionamento do imazethapyr em profundidade, no perfil de um solo de várzea cultivado com arroz, frente a dois tipos de manejo. Foram coletadas amostras de solos, em diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20cm), do solo de várzea sob dois sistemas de manejo: plantio convencional (PC) e plantio direto (PD), em uma área onde havia sido utilizado arroz CL por dois anos e no terceiro ano, arroz não tolerante. A concentração do herbicida no solo foi analisada por HPLC-DAD. Há maior concentração de imazethapyr na superfície do solo (0-5cm), no sistema convencional, quando comparado com o sistema de plantio direto, e o herbicida lixiviou até 20cm nos dois sistemas. No PC, ocorreu uma distribuição uniforme do imazethapyr nos primeiros 15cm de solo, enquanto que, no PD, constatou-se acúmulo de imazethapyr nas camadas de 5-10 e 10-15cm.

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

### ABSTRACT

Imazethapyr has been widely used in Rio Grande do Sul since the development of Clearfield Technology™ (CL) on rice, in a formulated mixture of imazethapyr + imazapic (75 + 25g L<sup>-1</sup>). However, the use of such technology raised the problem of herbicide carryover, which might affect non-tolerant crops in rotation with different intensities. The plant injury is related, among other factors, with the herbicide position in the soil profile. The present work had the objective of determining the depth positioning of imazethapyr on a lowland soil cultivated with rice in two soil tillage system: conventional system (CS) and no till system (NT), in an area where CL rice had been cultivated for two years followed by non tolerant rice in the third year. Herbicide concentration in soil samples was analyzed by HPLC-DAD. There is a higher concentration of imazethapyr in the topsoil (0-5cm) on the CS, when compared to the NT, while it leached until 20cm in both systems. In the CS, imazethapyr were uniformly distributed in the first 15 cm of soil, whereas in NT, imazethapyr were accumulated in 5-10 and 10-15cm layers.

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

### INTRODUÇÃO

O herbicida imazethapyr pertence à família das imidazolinonas e controla um amplo espectro de

<sup>I</sup>Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Corrientes, República Argentina.

<sup>II</sup>Departamento de Fitotecnia, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: emarchezan@terra.com.br. \*Autor para correspondência.

<sup>III</sup>Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>IV</sup>Departamento de Defesa Fitossanitária, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>V</sup>Departamento de Química, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

plantas daninhas, incluindo gramíneas, ciperáceas e latifoliadas. É absorvido pelas raízes e folhas (TAN et al., 2005) e transportado pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. O controle é proporcionado pela inibição da enzima acetolactato sintetase (ALS), que é essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeias ramificadas em plantas, como a valina, leucina e isoleucina (TAN et al., 2006). Esse herbicida está sendo amplamente utilizado no Estado do Rio Grande do Sul desde o desenvolvimento da Tecnologia Clearfield® em arroz, em uma mistura formulada de imazethapyr + imazapic (75 + 25g L<sup>-1</sup>), com o nome comercial de Only®.

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

A persistência do imazethapyr no solo depende das condições climáticas, das propriedades do solo e da dose do herbicida. O principal mecanismo de dissipação do imazethapyr no solo é a degradação microbiana aeróbica, sendo a degradação anaeróbica praticamente inexistente (SHANER & O'CONNOR, 1991). Outra forma de saída do herbicida da zona de absorção das raízes, que não envolve degradação, é a lixiviação. Para o imazapyr, a quantidade do herbicida que lixivia está mais relacionada com a permeabilidade do solo, sendo maior em solos bem estruturados e arenosos do que em solos argilosos e com maior densidade (ONA et al., 2007). A sorção também exerce efeito sobre a lixiviação, e quanto maior a sorção menor a lixiviação. Por sua vez, a sorção é inversamente correlacionada ao pH e diretamente correlacionada ao teor de matéria orgânica do solo (BÖRJESSON et al., 2004).

O movimento de imazethapyr em profundidade é maior quanto maior a quantidade de chuva, sendo importante no processo de lixiviação. Segundo McDOWELL et al. (1997), em condições de baixa precipitação, imazapyr concentrou-se na camada superficial, diminuindo drasticamente sua concentração abaixo de 10cm. Com altas precipitações, o herbicida

atingiu maior profundidade, distribuindo-se mais uniformemente nos primeiros 15cm de solo. Determinações de JOURDAN et al. (1998) mostraram que imazethapyr movimentou-se em profundidade em um solo arenoso, conforme transcorreram os dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Nos primeiros cinco DAA, o herbicida atingiu 20cm, embora as maiores concentrações se encontrassem nos primeiros 10cm. A maior concentração do produto, aos 30DAA, foi detectada nos primeiros 15cm, embora tenha ocorrido até 30cm de profundidade. A partir dos 90DAA, a concentração, nos primeiros cinco centímetros, diminuiu, concentrando-se o herbicida entre 5 e 30cm de profundidade. De acordo com HOLLOWAY et al. (2006), o imazethapyr pode permanecer no solo por mais de três anos e alcançar até 40cm de profundidade.

O imazethapyr e imazapyr lixiviam rapidamente após uma chuva; porém, durante o processo natural de perda de umidade do solo, o herbicida movimenta-se para cima, conduzido pelas correntes de evapotranspiração (VAN WYK & REINHARDT, 2001; FIRMINO et al., 2008). Esses movimentos são mais pronunciados em pHs mais elevados, e a mobilidade desse herbicida no perfil do solo decresce com o transcorrer do tempo de aplicação do produto (JOHNSON et al., 2000).

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

Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito de dois sistemas de manejo do solo nas concentrações e no posicionamento do imazethapyr em profundidade, nas áreas de várzea cultivadas com arroz.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em solo de várzea, classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características: pH<sub>água</sub> (1:1)=4,8; argila=26%; M.O.=23g kg<sup>-1</sup>; P=6,0mg dm<sup>-3</sup>; K=120mg dm<sup>-3</sup>; Ca=5,0cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg=2,0cmolc

dm<sup>-3</sup>; Al=1,7cmolc dm<sup>-3</sup> e índice SMP 5,1. Nas safras agrícolas 2004/05 e 2005/06, a área foi cultivada com arroz Clearfield (CL) e, na safra agrícola 2006/07, com arroz não tolerante (NT). Nas safras com arroz CL, foi aplicado imazethapyr+imazapic (Only®) na dose de 75 + 25g L<sup>-1</sup>, respectivamente. Antes da semeadura do arroz NT, foram adotados dois sistemas de manejo de solo, plantio direito (PD), sem movimentação de solo, e plantio convencional (PC), com preparamos de solo em abril, maio, agosto e outubro. Durante o mesmo período, foi medida a profundidade do lençol freático uma vez por semana. Para tanto, foram construídos dois poços de observação por bloco com cano de PVC perfurado de 90cm de profundidade e 5cm de diâmetro. No mesmo período, foram realizadas duas medições diárias de temperatura de solo a 3cm de profundidade, às nove e às 15 horas, com as quais foi calculada a temperatura média diária do solo a 3cm, para os dois sistemas de preparo de solo avaliados.

Após a colheita do arroz NT (540 dias após a última aplicação do herbicida), foram coletadas, em cada parcela, amostras de solo a quatro profundidades, de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20cm. As amostras foram compostas por três subamostras recolhidas em diferentes locais de cada parcela. Logo após coletadas, as amostras de solo foram secas ao ar e na sombra e posteriormente foram moídas e conservadas em *freezer* até serem feitas as análises de laboratório. A extração de imazethapyr do solo foi realizada utilizando-se metodologia descrita por GONÇALVES (2003), e a quantificação do herbicida foi realizada utilizando-se cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por arranjo de diodos (HPLC-DAD). Para obtenção da quantidade total de imazethapyr por metro quadrado, a concentração do herbicida, em cada profundidade, foi convertida para quantidade por área, sendo corrigidos os valores pela densidade do solo em cada profundidade (VIZZOTTO et al., 2000).

Foram estudados oito tratamentos oriundos da combinação de dois manejos de solo (PD e PC) com as quatro profundidades de amostragem (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20cm). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial. Os dados 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 foram transformados em  $y_t = \sqrt{y + 0,5}$ .

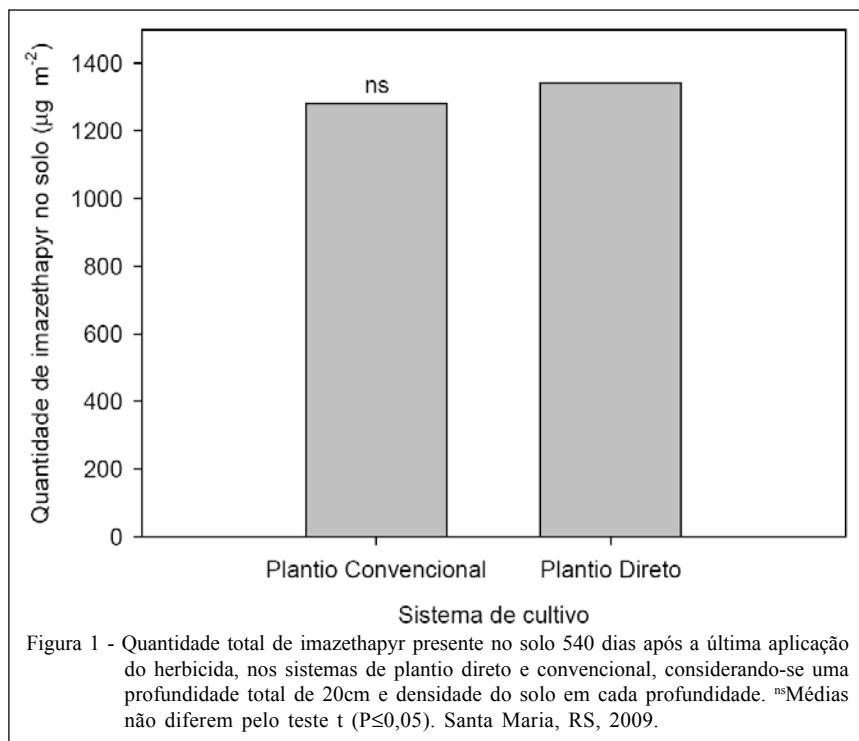
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se a quantidade total de imazethapyr presente no solo (somatório das quantidades do herbicida encontrado de 0-20cm)

(Figura 1), observa-se que não houve diferença na quantidade encontrada no PD (1343 µg m<sup>-2</sup>, o equivalente a 13g de imazethapyr ha<sup>-1</sup>) em relação ao PC (1281 µg m<sup>-2</sup>, o que equivale a 12g de imazethapyr ha<sup>-1</sup>), indicando que não há diferença na degradação do herbicida entre os sistemas no somatório das profundidades. Esses resultados contrastam com os de CURRAN et al. (1992), os quais observaram que a fitotoxicidade de imazaquin e imazethapyr em milho foi maior no sistema de PD do que no PC. RENNER et al. (1998), comparando o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo na dissipaçao do imazaquin, encontraram que, no preparo de solo com arado, o herbicida foi degradado mais rapidamente que no preparo com escarificador e este, por sua vez, mais que no PD. Trabalho de ULBRICH et al. (2005) relata menor degradação de imazapic e imazapyr em dois solos com PD, em comparação com o solo com PC. Comparando preparamos de solo com diferentes equipamentos, SEIFERT et al. (2001) não encontraram diferenças na degradação do imazaquin entre o preparo com arado e escarificador. MONKS & BANKS (1993) mostraram que não houve efeito de diferentes manejos de palha e de preparo de solo no residual de imazaquin e imazethapyr.

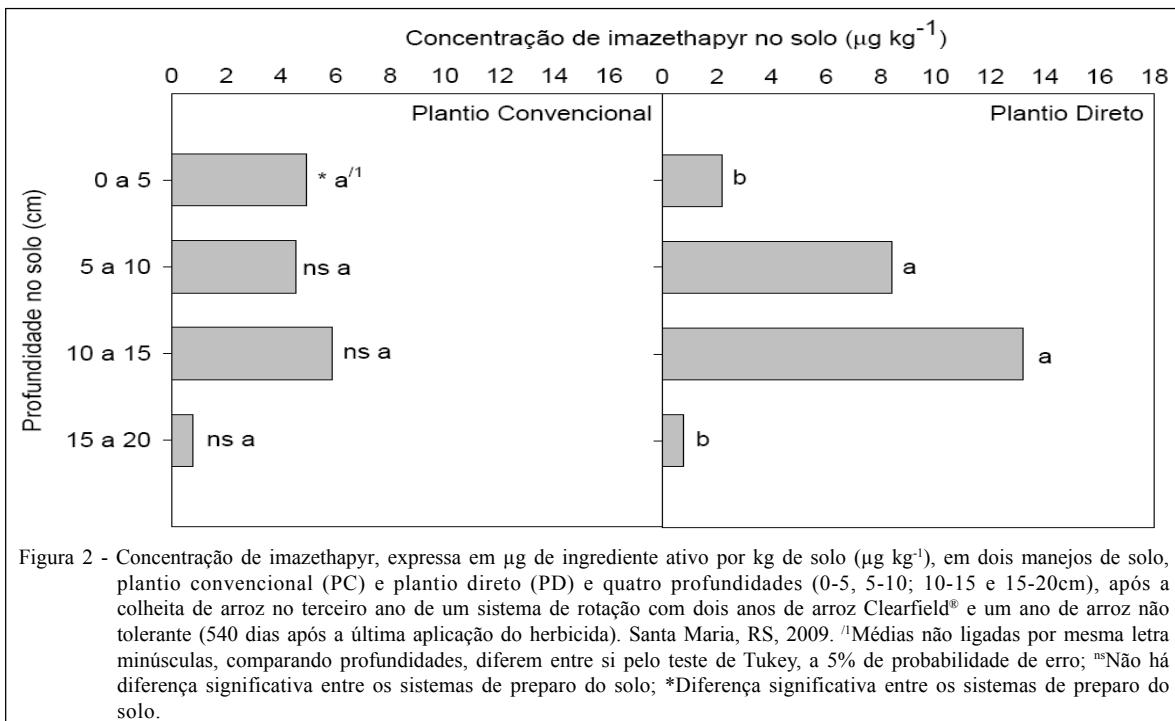
A diferença de fitotoxicidade entre os preparamos de solo pode estar relacionada ao posicionamento do herbicida no solo e não à quantidade total de herbicidas por área. Com relação às profundidades de localização do herbicida (Figura 2), observou-se interação significativa entre os sistemas de manejo de solo e as profundidades, por isso o comportamento do imazethapyr foi analisado comparando-se as profundidades dentro de cada manejo de solo. Imazethapyr lixiviou até 20cm de profundidade independentemente do sistema de manejo utilizado, embora a concentração detectada nessa profundidade seja pequena (0,8 µg kg<sup>-1</sup>). Resultados similares foram encontrados por RENNER et al. (1998) com imazaquin, que foi detectado até 18cm de profundidade independentemente do sistema de preparo de solo empregado (arado escarificador e PD). Resultados de outros trabalhos indicam que o imazethapyr alcançou 30cm de profundidade em solos com baixos teores de argila, três meses após a aplicação do herbicida (McDOWELL et al., 1997; JOURDAN et al., 1998; VAN WYK & REINHARDT, 2001).

No PC, o herbicida distribuiu-se uniformemente nas quatro camadas de solo avaliadas. No entanto, no PD, observou-se menor concentração na camada de 0-5cm, quando comparado com o sistema convencional, com concentração crescente com o aumento da profundidade até 15cm, e estas diminuíram drasticamente de 15-20cm, para ambos os sistemas. A



distribuição uniforme, nas três camadas superficiais de solo (primeiros 15cm), no PC, possivelmente esteja relacionada com uma maior evapotranspiração da água do solo nesse sistema, quando comparado com o PD.

A temperatura média do solo na superfície do solo do PC foi maior que do PD (Figura 3), o que poderia ter gerado maior evaporação e corrente ascendente de água, arrastando consigo o herbicida para a camada



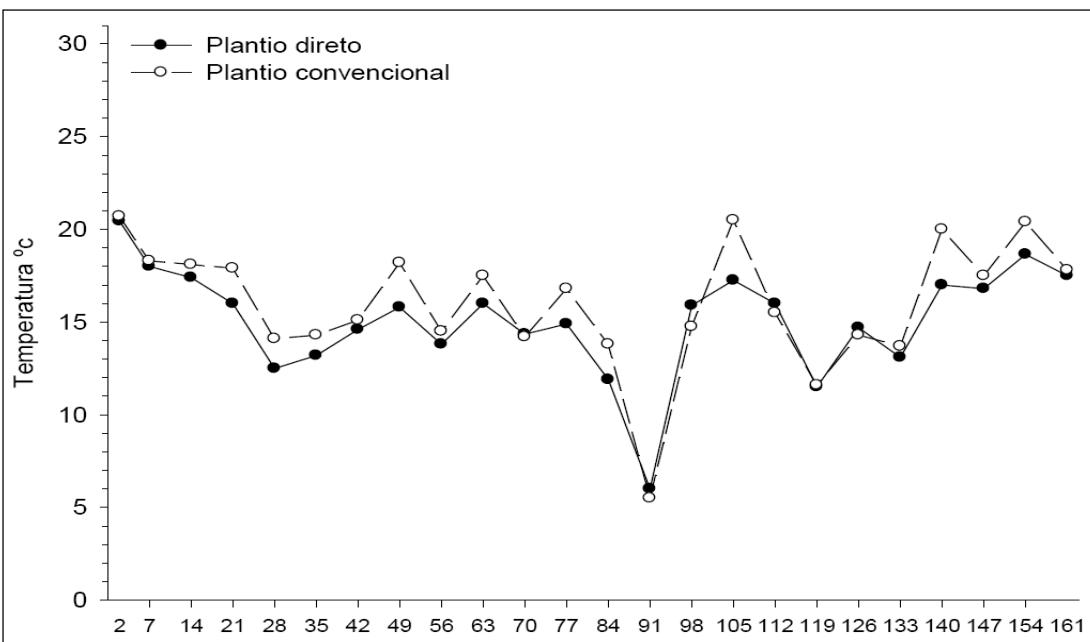


Figura 3 - Temperaturas do solo registradas a três centímetros de profundidade ao longo da entressafra de arroz (abril-outono de 2006) no plantio convencional e plantio direto. Santa Maria, RS, 2009.

superficial, colocando-o em uma região de maior concentração de raízes e possibilitando, assim, maior fitotoxicidade em plantas não tolerantes no PC. Essa hipótese encontra respaldo em resultados de VAN WYK & REINHARDT (2001) e FIRMINO et al. (2008), os quais relatam que imazethapyr e imazapyr lixiviam rapidamente para as camadas subsuperficiais, mas que, com as correntes geradas pela evapotranspiração, são transportados novamente para a superfície.

A maior concentração de imazethapyr, em profundidades maiores no solo (5-15cm), provavelmente deve-se à permanência desse herbicida nessas profundidades, onde as condições são desfavoráveis à sua degradação. As condições ambientais, como temperatura média mais baixa, conforme discutido anteriormente, menor aeração do solo e menor disponibilidade de nutrientes pela não incorporação da matéria orgânica, podem ter desfavorecido o desenvolvimento dos micro-organismos aeróbicos, reduzindo assim a velocidade de degradação do herbicida. Nesse sentido, Franchini et al. (2007) observaram que a atividade microbiana incrementa, em média, 57% após um preparo do solo como consequência da incorporação da matéria orgânica e da maior aeração. A temperatura do solo também afeta a degradação das imidazolinonas. Em solos cultivados sob temperaturas de 18 e 35°C, a degradação do imazethapyr foi de 66 e 100%,

respectivamente (BASHAM & LAVY, 1987). Além disso, FLINT & WITT (1997) determinaram que a emissão de CO<sub>2</sub> por micro-organismos aumenta com a presença de imazethapyr ou imazaquin, duplicando a atividade quando a temperatura passa de 15 para 30°C. Com esse aumento, observou-se redução na concentração de imazethapyr, que foi mais acentuada em solo úmido (JOURDAN et al., 1998). Autores como BASHAM & LAVY (1987) e BAUGHMAN & SHAW (1996) demonstraram que imazethapyr e imazaquin foram mais persistentes em solos com temperaturas mais baixas e reduzido teor de umidade.

Dessa forma, as condições foram mais desfavoráveis à atividade microbiológica em profundidade no sistema PD, colaborando, possivelmente, com a menor degradação do herbicida nessas profundidades. Além disso, no PD, o imazethapyr acumulou-se entre 5 e 15cm, e durante a entressafra o lençol freático esteve acima de 20cm de profundidade (Figura 4) por nove semanas, deixando essa região em anaerobiose por prolongados períodos de tempo, o que reduz a degradação do herbicida. Essa afirmação é baseada no fato que a principal via de degradação do imazethapyr é a degradação microbiana (FLINT & WITT, 1997) promovida por micro-organismos aeróbicos, sendo praticamente inexistente em anaerobiose (SHANER & O'CONNOR, 1991). Por sua vez, isso estaria contribuindo para a menor

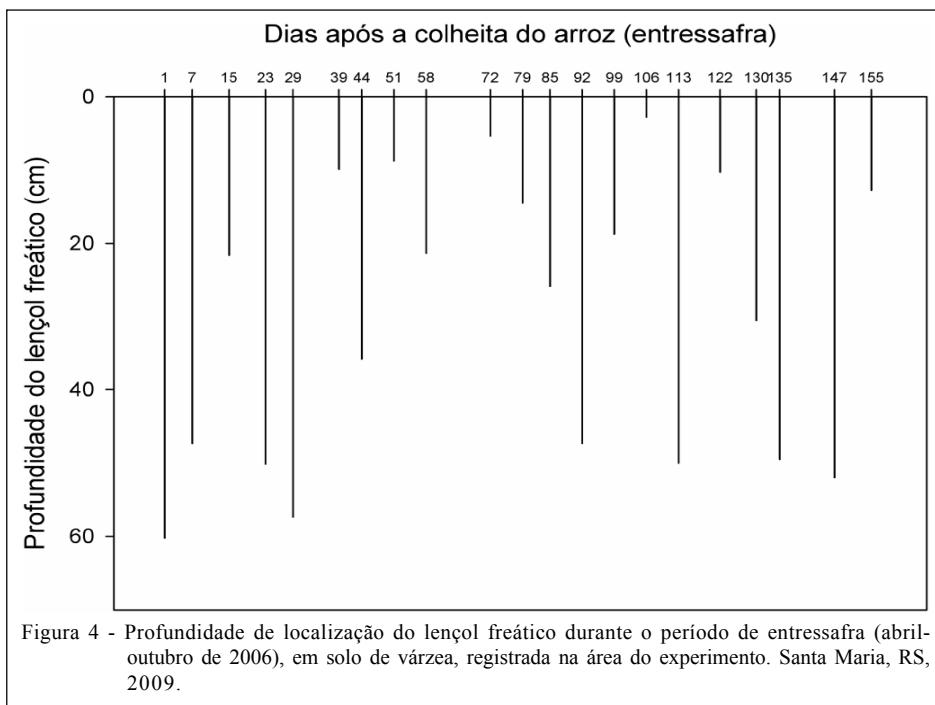


Figura 4 - Profundidade de localização do lençol freático durante o período de entressafra (abril-outubro de 2006), em solo de várzea, registrada na área do experimento. Santa Maria, RS, 2009.

degradação do herbicida no PD, nas camadas mais profundas do solo.

## CONCLUSÕES

Imazethapyr lixivia até 20cm em solo de várzea, independentemente do sistema de cultivo. Ocorre maior concentração de imazethapyr na superfície do solo (0-5cm), no sistema convencional, quando comparado com o sistema de plantio direto.

A quantidade total de herbicida remanescente no solo 540 dias após a última aplicação não é afetada pelo sistema de preparo do solo. Porém, o preparo de solo afeta a distribuição do imazethapyr no perfil. No sistema plantio convencional, o herbicida distribui-se de modo uniforme nos primeiros 15cm de solo e, no sistema de plantio direto, apresenta menor concentração na camada de 0-5cm e acumula-se entre 5-15cm de profundidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro e pela bolsa de iniciação científica. Ao INTA-Argentina, pelo financiamento dos estudos do primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

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

BATTAGLIN, W.A. et al. Occurrence of sulfonylurea, sulphonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. **Science Total Environmental**, v.248, p.123-133, 2000. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V78-4007P8H-7&\\_user=687358&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000037899&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userId=687358&md5=e314145cfe9e70f573d46646328a0695](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V78-4007P8H-7&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userId=687358&md5=e314145cfe9e70f573d46646328a0695)>. Acesso em: 26 de mar. 2009. Doi:10.1016/S0048-9697(99)00536-7.

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

BÖRJESSON, E. et al. The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment. **Pest Management Science**, v. 60, n. 6, p.544-549, 2004. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/108564464/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>>. Acesso em: 20 de mar.2009. Doi: 10.1002/ps.864.

CURRAN, W.S. et al. Effect of tillage and application method on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. **Weed Science**, v.40, p.482-489, 1992.

FIRMINO, L.E. et al. Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. **Revista Planta Daninha**, v.26, n.1, p.223-230, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582008000100023&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582008000100023&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 20 mar. 2009. doi:10.1590/S0100-83582008000100023.

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

- FRANCHINI, J.C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.92, p.18-29, 2007. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TC6-4JB9MN8-1&\\_user=687358&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000037899&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userId=687358&md5=0c40b7baec3c0978637a80ee1daf0a72](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TC6-4JB9MN8-1&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userId=687358&md5=0c40b7baec3c0978637a80ee1daf0a72)>. Acesso em: 26 de mar. 2009. Doi:10.1016/j.still.2005.12.010
- GONÇALVES, F.F. **Estudo de métodos empregando HPLC-DAD: Estudo de métodos empregando hplc-dad e lc-ms/ms para a determinação de resíduos de herbicidas em água e solo do cultivo de arroz irrigado.** 2003. 170f. Tese (Doutorado em Química) - UFSM, Santa Maria, RS. Disponível em: [http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=1715](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1715). Acesso: em 26 mar. 2009.
- HOLLOWAY, K.L. et al. Persistence and leaching of imazethapyr and flumetsulam herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.46, n.5, p.669-674, 2006. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/?paper=EA04223>>. Acesso em: 20 de mar. 2009. Doi: 10.1071/EA04223.
- JOHNSON, D.H. et al. Time-dependent adsorption of imazethapyr to soil. **Weed Science**, v.48, n.6, p.769-775, 2000. Disponível em: <<http://www.bioone.org/toc/wees/48/6>>. Acesso em: 26 de mar. 2009. Doi: 10.1614/0043-1745(2000)048[0769:TDAOIT]2.0.CO;2
- JOURDAN, S.W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. **Weed Science**, v.46, p.608-613, 1998.
- 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.12, p.1114-1119, 2003.
- MASSONI, P.F.S. et al. Controle de arroz vermelho em arroz tolerante a Imidazolinonas e o residual em genótipo de arroz não-tolerante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. V.2, p.230-233.
- MCDOWELL, R.W. et al. Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil. **Weed Research**, v.37, p.381-389, 1997.
- MONKS D.C.; BANKS P.A. Effect of straw, ash, and tillage on dissipation of imazaquin and imazetapyr. **Weed Science**, v.41, 133-137, 1993.
- ONA, S. et al. Sorption and predicted mobility of herbicides in Baltic soils. **Environmental Science Health, Part B**, v.42, n.6, p.641-647, 2007.
- RENNER, K.A. et al. Effect of tillage and application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v.12, n.2, 281-285, 1998.
- SEIFERT, S. et al. Imazaquin mobility and persistence in a Sarkey Clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Science**, v.49, p.571-577, 2001. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/0043-1745%282001%29049%5B0571%3AIMAPIA%5D2.0.CO%3B2>>. Acesso em 29 Mar. 2009. Doi: 10.1614/0043-1745(2001)049[0571:IMAPIA]2.0.CO;2
- SHANER, D.L.; O'CONNOR, S. Eds. **Imidazolinones Herbicides.** Boca Raton: CRC, 1991. 290p.
- TAN, S. et al. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest Management Science**, v.61, n.3, p.246-257, 2005. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/109861207/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>>. Acesso em: 20 mar. 2009. Doi: 10.1002/ps.993.
- TAN, S. et al. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v.30, p.195-204, 2006. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/f0748891g4111670>>. Acesso em: 29 Mar. 2009. Doi: 10.1007/s00726-005-0254-1
- ULBRICH, A.V. et al. Persistence and carryover effect of Imazapic and Imazapyr in Brazilian cropping systems. **Weed Technology**, v.19, p.986-991, 2005. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WT-04-208R2.1>>. Acesso em: 29 Mar. 2009. Doi: 10.1614/WT-04-208R2.1.
- VIZZOTTO, VR. et al. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, v.30, n.6, p. 965-969, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-8478200000600007&lng=en&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-8478200000600007&lng=en&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 29 Mar. 2009. Doi: 10.1590/S0103-8478200000600007.
- VAN WYK, L.J.; REINHARDT, C.F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Science**, v.15, n.3, p.1-6, 2001.
- WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield rice. **Louisiana Agriculture Chemistry**, v.45, n.3, p.16-17, 2002.
- ZHANG, W. et al. Effect of rotational crop herbicides on water- and dry-seeded *Oryza sativa*. **Weed Science**, v.48, p.755-760, 2000. Disponível em: <[http://www.bioone.org/doi/abs/10.1614/0043-1745\(2000\)048%5B0755%3AEORCHO%5D2.0.CO%3B2](http://www.bioone.org/doi/abs/10.1614/0043-1745(2000)048%5B0755%3AEORCHO%5D2.0.CO%3B2)>. Acesso em: 29 Mar. 2009. Doi: 10.1614/0043-1745(2000)048[0755:EORCHO]2.0.CO;2

## PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM SOLO DE VÁRZEA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO<sup>1</sup>

*Persistence of the Herbicides Imazethapyr and Imazapic in Irrigated Rice Soil*

KRAEMER, A.F.<sup>2</sup>, MARCHESAN, E.<sup>2</sup>, AVILA, L.A.<sup>2</sup>, MACHADO, S.L.O.<sup>3</sup>, GROHS, M.<sup>4</sup>, MASSONI, P.F.S.<sup>4</sup> e SARTORI, G.M.S.<sup>4</sup>

**RESUMO** - A mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic é utilizada para controlar arroz-vermelho em cultivos de arroz irrigado. Entretanto, esses herbicidas podem persistir no solo por longos períodos, causando intoxicação ao arroz suscetível cultivado em sucessão. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes manejos de solo, durante a entressafra do arroz, sobre a ação residual do imazethapyr e imazapic, em arroz não tolerante. O residual desses herbicidas causou intoxicação no arroz suscetível após um ano da última aplicação dos herbicidas. A fitotoxicidade atingiu valores máximos até 25 dias após a emergência (DAE), ocorrendo redução da intoxicação após esse período, até praticamente desaparecer (60 DAE). O residual do herbicida alterou o estande de plantas, o número de colmos m<sup>-2</sup>, o número de panículas m<sup>-2</sup> e a altura de plantas, porém não afetou a produtividade de grãos do arroz. O revolvimento do solo diminuiu a atividade do herbicida na camada superficial de solo (0-3 m).

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

**ABSTRACT** - The mixture of herbicides imazethapyr and imazapic is used to control red rice in irrigated rice crops. However, such herbicides might persist on the soil for a long period causing phytotoxicity on susceptible rice grown in succession. The objective of this work was to determine the effect of different soil tillage systems during the off-season on the residual phytotoxicity of imazethapyr and imazapic on non tolerant rice. Herbicide residues caused phytotoxicity on susceptible rice with the highest values being registered 25 days after emergence and decreasing after this period until almost disappearing 60 days after emergence. Herbicide residues affected plant stand, number of stems per m<sup>2</sup>, number of panicles per m<sup>2</sup> and plant height, but did not affect grain yield. Soil movement decreased herbicide activity on the superficial soil layer (0-3 cm).

**Keywords:** herbicide residues, imidazolinonas, soil tillage.

### INTRODUÇÃO

Os herbicidas imazethapyr e imazapic pertencem à família das imidazolinonas e controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo gramíneas, ciperáceas e latifoliadas. São absorvidos por raízes e folhas, sendo transportados por floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento.

O controle é proporcionado pela inibição da enzima acetolactase sintetase (ALS), que é essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeia ramificada em plantas – isoleusina, leusina e valina (Tan et al., 2006). Atualmente, esses herbicidas são comercializados em mistura formulada para controle de plantas daninhas em arroz. A tolerância foi obtida por mutações induzidas, utilizando-se

<sup>1</sup> Recebido para publicação em / / e na forma revisada em / / .

<sup>2</sup> Engº-Agrº, M.Sc., Pesquisador do INTA EEA Corrientes, Argentina, <akraemer@corrientes.inta.gov.ar>; <sup>3</sup> Engº-Agrº, Ph.D., Prof. do Dep. de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, <sup>4</sup> Engº-Agrº, Doutor., Prof. do Dep. de Defesa Fitossanitária – UFSM. <sup>4</sup> Acadêmico/a do curso de Agronomia, Dep. de Fitotecnia – UFSM, Santa Maria-RS, Brasil.



tratamento das sementes com químicos mutagênicos, a etil metanosulfonato (EMS), ou radiação gama (Croughan, 1998).

Essa tecnologia foi introduzida como opção para ajudar a solucionar o principal problema das lavouras de arroz do RS, permitindo o controle químico eficiente do arroz-vermelho (Villa et al., 2006; Santos et al., 2006). No entanto, os herbicidas podem persistir no solo após o cultivo, em quantidade que pode comprometer a utilização futura da área com outras culturas suscetíveis, ou mesmo com cultivares de arroz não tolerante. Os danos causados às culturas em sucessão são variáveis, dependendo das condições físicas, químicas e de manejo do solo. Foram encontrados prejuízos por intoxicação devido ao residual de imazethapyr e imazapic isolados ou à associação de ambos em diferentes culturas: alfafa, algodão, aveia, azevém, batata, beterraba-açucareira, canola, cebola, ervilha, girassol, linho, melão, milho, mostarda, pimenta, pimentão, repolho, sorgo, trigo e tomate (Bovey & Senseman, 1998; Alister & Kogan 2005; Pinto et al., 2007a). Em arroz não tolerante, Villa al. (2006) constataram menor estande de plantas por efeito residual da associação imazethapyr + imazapic, porém sem efeito na produtividade. No entanto, Marchesan et al. (2007) observaram perdas de produtividade de 19 e 30% por efeito do residual desses herbicidas sobre arroz suscetível, um ano após a aplicação; os sintomas de fitotoxicidade foram observados dois anos após a aplicação dos herbicidas. Nesse sentido, Zhang et al. (2000) também constataram diminuição na produtividade de arroz não tolerante de 69% pelo efeito residual de imazethapyr. Pinto et al. (2007b) observaram redução na massa seca aérea e radicular de arroz suscetível; o efeito residual do herbicida relacionou-se com as doses aplicadas no último ano, não havendo acúmulo de efeito pelo emprego de anos consecutivos dos herbicidas. Massoni et al. (2007) observaram efeito residual desses herbicidas sobre o arroz suscetível até 358 dias após a aplicação; no entanto, Williams et al. (2002) recomendam o tempo de 540 dias (18 meses) entre a aplicação de imazethapyr e a sementeira de arroz não tolerante para não haver risco de ocorrência de sintomas de intoxicação.

Para diminuir esses problemas na cultura do arroz, preconiza-se o uso dessa tecnologia por não mais de dois anos consecutivos, deixando a área em pousio por, no mínimo, um ano. A persistência do herbicida no solo depende das condições climáticas, das propriedades do solo e da quantidade desse herbicida. O principal mecanismo de dissipação das imidazolinonas no solo é a degradação microbiana (Loux & Reese, 1993; Flint, & Witt, 1997). Para imazethapyr, a dissipação acontece exclusivamente em condições de aerobiose (Shaner & O'Connor, 1991). Esses herbicidas também sofrem fotólise, podendo ser esse meio de dissipação relevante em solo arenoso e úmido, e não em outros tipos de solo (Curran et al., 1992a). Esses processos ficam regulados pela sorção das moléculas dos herbicidas aos coloides do solo e pelas condições ambientais que favoreçam o desenvolvimento dos microrganismos.

Em solos com pH baixo ocorre maior adsorção desses herbicidas e menor biodegradação (Bresnahan et al., 2000; Madani et al., 2003; Fernandes de Oliveira et al., 2004), porque a sorção determina quanto do herbicida vai ficar retido na matriz do solo e quanto ficará disponível na solução deste para sofrer os diferentes processos de dissipação. Os solos arrozeiros do RS são predominantemente ácidos, e 50% desses apresentam pH inferior a 5 (Anghinoni et al., 2004). Nessas condições, os herbicidas imazethapyr e imazapic têm alta probabilidade de permanecer adsorvidos ao solo, aumentando sua persistência e o risco de efeitos sobre culturas em sucessão. Há evidências sugerindo que a utilização de práticas de manejo que estimulem a degradação de herbicidas no solo durante o período da entressafra do arroz pode reduzir a persistência destes, minimizando os danos aos cultivos subsequentes. Isso porque os processos biológicos estariam sendo influenciados por fatores ambientais, como umidade, temperatura e aeração, os quais estão relacionados às práticas de preparo do solo (Soon & Arshad, 2005; Perez et al., 2005); o preparo do solo pode aumentar em 57% a atividade microbiana (Franchini et al., 2007).

Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito de diferentes manejos do solo, durante o período de

entressafra do arroz, sobre a minimização dos efeitos residuais da associação dos herbicidas imazethapyr + imazapic, na cultura do arroz não tolerante.

## MATERIAL E MÉTODOS

No ano agrícola 2006/07 foram realizados seis experimentos: um experimento testando o efeito de diferentes manejos de solo na persistência de imazethapyr e imazapic; quatro experimentos para comparar os cultivares IRGA 422CL e IRGA 417; e um bioensaio para determinar a presença desses herbicidas, utilizando como planta indicadora o tomate.

O experimento com os diferentes manejos de solo foi realizado em área que havia recebido 1 L ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> da mistura formulada de imazethapyr + imazapic (75 + 25 g L<sup>-1</sup>) nas safras de 2004/05 e 2005/06. O solo, classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, apresentava as seguintes características: pH<sub>água</sub>(1:1) = 4,8; P = 6,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 120 mg dm<sup>-3</sup>; argila = 26%; MO = 2,3%; Ca = 5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e índice SMP de 5,1. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de nove manejos de solo e de dois cultivares de arroz irrigado. Os manejos de solo foram quatro nos sistemas de plantio direto e semidireto e cinco no sistema plantio convencional: plantio direto (PD); plantio direto com azevém (PDA); um preparo de solo em abril (1PSA); um preparo de solo em abril com azevém (1PSAA); um preparo de solo em outubro (1PSO); dois preparamos de solo, em maio e outubro (2PSMO); dois preparamos de solo, em abril e outubro (2PS); três preparamos de solo, em abril, maio e outubro (3PS); e quatro preparamos de solo, em abril, maio, agosto e outubro (4PS). Os cultivares de arroz testados foram IRGA 422CL e IRGA 4117. As datas de semeadura e emergência foram 4/10/2007 e 16/10/07, respectivamente, para os dois cultivares.

O cultivar IRGA 422CL, por ser tolerante a herbicidas do grupo das imidazolinonas e possuir características agronômicas semelhantes às do cultivar suscetível IRGA 417

(Lopes et al., 2003), foi utilizado como testemunha, pois a área experimental não contava com unidades experimentais sem aplicação prévia do herbicida. Para ratificar a similaridade entre os cultivares, foram semeados quatro experimentos comparativos, em diferentes áreas onde não havia resíduos no solo de imidazolinonas, em delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos, constituídos pelos cultivares IRGA 422CL e IRGA 417, em seis repetições cada um. A análise dos dados desses experimentos foi feita de forma conjunta.

Nos cinco experimentos utilizaram-se 110 kg de sementes ha<sup>-1</sup>, para os dois cultivares, com semeadora de 11 linhas espaçadas de 0,175 m e 5,0 m de comprimento, gerando uma unidade experimental (UE) de 9,6 m<sup>2</sup>. As práticas agronômicas foram as mesmas nos cinco experimentos, conforme as recomendações da pesquisa para obtenção de alto rendimento (SOSBAI, 2005). Em todas as unidades experimentais foram demarcadas, em duas linhas de semeadura, 1,0 m em cada uma, onde se determinou o estande inicial de plantas, aos 10 e 17 dias após emergência (DAE), o número de colmos aos 60 DAE e o número de panículas aos 110 DAE. Na mesma área, aos 110 DAE, avaliou-se a altura de dez plantas escolhidas ao acaso, aferindo-se o comprimento desde o solo até o ápice da panícula. Ainda nesse local, simultaneamente, coletaram-se dez panículas consecutivas escolhidas ao acaso, das quais foram determinados o número de grãos por panícula, a esterilidade de espiguetas e a massa de mil grãos. A produtividade de grãos foi obtida pela colheita manual, de sete linhas centrais, quando os grãos apresentavam umidade média de 20%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha<sup>-1</sup>. Foram feitas avaliações de fitotoxicidade no arroz não tolerante (IRGA 417) aos 10, 17, 24, 36 e 59 DAE, sendo os valores estimados visualmente, utilizando uma escala de 0 a 100%, em que 0 representou ausência de intoxicação das plantas e 100 a morte das plantas. Estas avaliações não foram feitas no cultivar tolerante, por este não apresentar sintomas de intoxicação, o que ocasionaria aumento na %CV e não somaria informação ao trabalho.



Para os dados de fitotoxicidade, o experimento foi o de blocos completos ao acaso.

Por último, foi semeado um bioensaio, onde foi utilizado como planta indicadora da atividade do herbicida o tomate (Rampelotti et al., 2005), semeando-se seis sementes por vaso de 250 mL, deixando três plantas, que constituíram a UE. Os vasos foram carregados com amostras de solo coletadas dos manejos PD, 4PS e pousio (solo coletado de uma área deixada em pousio sem inundação). As amostras foram coletadas a duas profundidades (0-3 e 3-6 cm), após a colheita do experimento manejos de solo. O delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, com seis repetições. Os tratamentos consistiram da combinação dos três manejos de solo com as duas profundidades. Foi determinada a fitotoxicidade nas plantas de tomate, utilizando a escala de 0 a 100% aos 20 DAE dessas plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Para a análise estatística, os dados de fitotoxicidade foram transformados para  $yt = \text{arcsen} \sqrt{(y+0,5)/100}$ , e os demais dados em porcentagem foram transformados para  $yt = \sqrt{y+1}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento preliminar, comparando os cultivares IRGA 422CL e IRGA 417, não foram encontradas diferenças entre eles quanto a produtividade de grãos e parâmetros agronômicos (Tabela 1), estando de acordo com

relatos de Lopes et al. (2003). Com base nesses resultados, o cultivar IRGA 422CL foi utilizado como testemunha, tornando possível avaliar o efeito residual da associação dos herbicidas imazethapyr + imazapic.

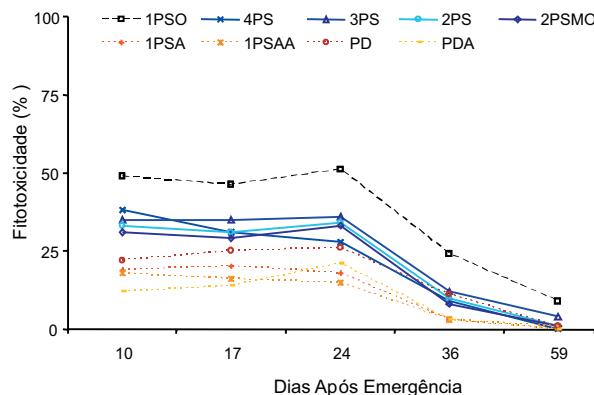
Ocorreu redução dos sintomas de intoxicação das plantas de arroz do cultivar IRGA 417 com a mistura dos herbicidas no transcorrer do desenvolvimento das plantas, observando-se os maiores valores até os 24 dias após a emergência (DAE) da cultura (valores médios entre os diferentes manejos de solo de 28%, diminuindo aos 36 DAE para 9%, até praticamente desaparecer aos 59 DAE). Observou-se, também, redução das diferenças entre os preparos de solo a partir de 36 DAE (Figura 1). Na mesma figura, pode-se agrupar o efeito residual no solo do herbicida em três grupos de preparos de solo. O tratamento 1PSO apresentou as maiores porcentagens de fitotoxicidade, enquanto os valores intermediários pertenciam aos outros tratamentos com plantio convencional (4PS, 3PS, 2PS e 2PSMO); menor fitotoxicidade foi encontrada nos tratamentos com plantio direto ou semidireto (PD, PDA, 1PSA e 1PSAA).

Esses resultados diferem de outros trabalhos realizados em solos com culturas de sequeiro, em que se observou que o preparo de solo acelerava ou não alterava a degradação das imidazolinonas. Nesse sentido, Curran et al. (1992b) encontraram maior efeito residual no solo de imazaquin e imazethapyr em milho semeado no sistema de PD do que no plantio convencional. Todavia, Monks & Banks (1993) não observaram efeito de diferentes manejos de palha e de preparo de

**Tabela 1** - Estande de plantas (plantas m<sup>-2</sup>), número de colmos (colmos m<sup>-2</sup>), altura de plantas (cm), número de panículas (m<sup>-2</sup>), esterilidade de espiguetas (% esterilidade), número de grãos por panícula (grãos/panícula), peso de mil grãos e produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) dos cultivares IRGA 422CL e IRGA 417, dos quatro experimentos comparativos analisados em forma conjunta

Cultivar	Plantas m <sup>-2</sup>	Colmos m <sup>-2</sup>	Altura (cm)	Panículas m <sup>-2</sup>	% esterilidade	Grãos/panícula	Peso (g) mil grãos	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
IRGA 422CL	291	604	89	457	24	85	26,3	9.069
IRGA 417	265	600	89	443	23	83	25,5	8.944
Média	278	602	89	450	8,8	84	25,9	9.007
CV(%)	17	12	3	14	17,3	16,9	5,5	9
Significância	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Locais x Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo, com probabilidade de erro  $P \leq 0,5$ .



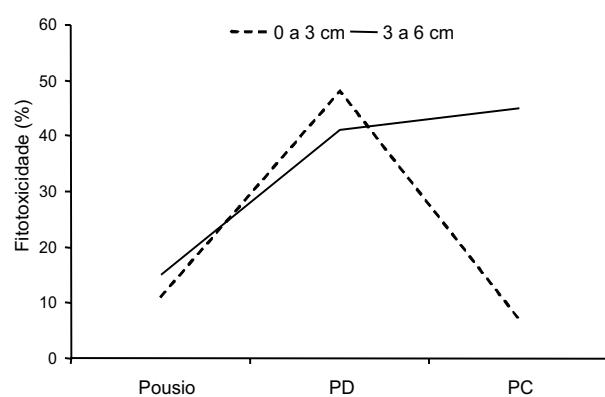
**Figura 1** - Intoxicação do cultivar de arroz IRGA 417 causada pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic ( $75+25\text{ g ha}^{-1}$ ), semeada após um ano da última aplicação dos herbicidas, num sistema com dois anos de uso dos herbicidas, em cinco épocas de avaliação e nove preparamos de solo: 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 OS, em outubro; 2PSMO = dois OS, em maio e outubro; 2PS = dois OS, em abril e outubro; 3PS = três OS, em abril, maio e outubro; 4PS = quatro OS, em abril, maio, agosto e outubro. Santa Maria-RS, 2006/07.

solos no residual de imazaquin e imazethapyr, enquanto Renner et al. (1998), comparando o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo na dissipaçāo do imazaquin, verificaram que no preparo de solo com arado o herbicida teve menor efeito residual que no preparo com escarificador e, este, menos que no PD. Independentemente do sistema de preparo de solo empregado, esses autores detectaram o imazaquin até 18 cm de profundidade. No entanto, Seifert et al. (2001) não encontraram diferenças na degradação do imazaquin entre o preparo com arado e com escarificador. Ulbrich et al. (2005) observaram aumento na persistência de imazapic e imazapyr em dois solos com PD, comparado com o plantio convencional.

Ressalta-se que no presente trabalho, no sistema de plantio convencional, a profundidade de semeadura foi maior quando comparada com a dos sistemas de plantio direto e semidireto (6 e 2 cm, respectivamente). A diferença na profundidade de semeadura foi consequência da impossibilidade de regular a pressão das molas da semeadora, para cada parcela com diferentes preparamos de solo, ocasionando maior profundidade de semeadura

onde o solo tinha sido preparado no mesmo dia da semeadura. A diferença na profundidade de semeadura possivelmente tenha sido a causa da maior intoxicação nos tratamentos que foram semeados mais profundamente. Segundo Zhang et al. (2000), quando uma plāntula de arroz é originada de uma semente localizada em maior profundidade, apresenta coleóptilo mais comprido, o que acarreta maior área de contato com o solo, aumentando a absorção do imazethapyr e os sintomas de fitotoxicidade. Nesse sentido, esses autores não encontraram efeito residual de imazethapyr em arroz pré-germinado semeado em água sobre a superfície do solo e sim sobre plantas originadas de sementes semeadas em solo seco com máquina. Por outro lado, o tratamento 1PSO praticamente passou o mesmo período de tempo sem movimento de solo, quando comparado com os tratamentos com plantio direto (PD e PDA), razão pela qual a planta de arroz não deveria apresentar diferenças nos níveis de intoxicação.

Para detectar diferenças na atividade dos herbicidas nas duas profundidades de semeadura sobre a intoxicação das plantas, foi realizado um bioensaio utilizando-se solo coletado nas áreas de 0-3 e 3-6 cm e tomate como planta indicadora; constatou-se que houve menor atividade dos herbicidas na camada superficial no tratamento 4PS do que no PD, em decorrência da menor intoxicação da planta de tomate (Figura 2).



**Figura 2** - Intoxicação em plantas de tomate semeadas sobre amostras de solo coletadas das parcelas dos tratamentos pousio (extraído de uma área deixada em pousio sem inundação), PD = plantio direto e 4PS = quatro preparamos de solo, em abril, maio, agosto e outubro, em duas profundidades (0 a 3 e de 3 a 6 cm).

Tendo em vista os resultados, pode-se inferir que as diferenças de fitotoxicidade entre esses tratamentos estão relacionadas, pelo menos em parte, a um efeito de posicionamento da semente e estratificação do herbicida no perfil do solo, e não ao efeito dos preparamos de solo na degradação dos herbicidas. Concordando com isso, McDowell et al. (1997) e Jourdan et al. (1998) concluíram que imazethapyr lixivia-se acumulando-se em camadas subsuperficiais de solo, e as sementes colocadas em maior profundidade estariam mais expostas a maiores concentrações de herbicidas.

Na Tabela 2 são apresentados os dados obtidos do efeito dos preparamos de solo e do residual da mistura pronta de imazethapyr e imazapic sobre as variáveis agronômicas analisadas, nos cultivares IRGA 417 e IRGA 422CL. A interação significativa entre preparamos de solo e cultivares, para estande de plantas e colmos  $m^{-2}$ , foi causada por um menor número de plantas e de colmos no tratamento 1PSO no cultivar IRGA 417, o que não foi observado no cultivar IRGA 422CL, mantendo-se como efeito principal a diferença entre os cultivares (dados não apresentados). Por isso, serão discutidos os efeitos dos manejos do solo e dos cultivares em separado.

Os diferentes preparamos de solo não alteraram o estande de plantas, o número de colmos, a altura de plantas, o número de panículas, o

peso de mil grãos e a produtividade, concordando com resultados obtidos por Marín et al. (1998), Levy Jr. et al. (2006) e Tripathi et al. (2007), embora Mohanty et al. (2006) tenham afirmado que os preparamos de solo, quando feitos em água, geram melhores condições físicas de solo para um melhor desenvolvimento do arroz.

Avaliando o efeito residual da mistura pronta de imazethapyr e imazapic no cultivar IRGA 417 em comparação com o cultivar IRGA 422CL (tratamento testemunha), observou-se que o primeiro apresentou diminuição no estande de plantas, no número de perfilhos  $m^{-2}$ , na altura de plantas, no número de panículas  $m^{-2}$ , na esterilidade de espiguetas e na massa de mil grãos, porém obteve-se maior número de grãos por panícula. O maior número de grãos por panícula e a menor esterilidade de espiguetas, provavelmente, deveram-se a um efeito compensatório, ante um menor número de panículas  $m^{-2}$ . O residual do herbicida não alterou a produtividade, possivelmente como consequência do maior número de grãos por panículas; segundo Marín & Kraemer (1999), com menor número de panículas, a planta de arroz apresenta incremento no número de grãos por panículas e menor esterilidade de espiguetas, como efeito compensatório da planta para manter a produtividade. Villa et al. (2006) observaram diminuição na densidade de plantas como resultado do efeito residual da mistura pronta de imazethapyr e imazapic, sem alterar a

**Tabela 2** - Estande de plantas de dois cultivares de arroz semeados em solo com nove sistemas de manejos, aos 10 e 17 dias após emergência (DAE), número de colmos ( $colmos\ m^{-2}$ ), altura de plantas (cm), número de panículas ( $panículas\ m^{-2}$ ), esterilidade de espiguetas (% esterilidade), número de grãos por panícula (grãos/panícula), peso de mil grãos (g) e produtividade de grãos ( $kg\ ha^{-1}$ ), em resposta ao efeito residual no solo de dois anos da mistura pronta de imazethapyr e imazapic. Santa Maria-RS. 2006/07

Fonte de variação	Plantas $m^{-2}$		Colmos $m^{-2}$	Altura (cm)	Panículas $m^{-2}$	% esterilidade	Grãos/panícula	Peso (g) mil grãos	Produtividade de grãos ( $kg\ ha^{-1}$ )
	10 DAE	17 DAE							
Preparamos do solo (PS)	254	304	519	87	383	6,8	89	26,9	9.849
Significância <sup>2</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
IRGA 422CL	283 a <sup>1</sup>	350 a	599 a	88 a	404 a1	8 a	85 b	28 a	9.861
IRGA 417	226 b	260 b	440 b	86 b	361 b	6 b	93 a	26 b	9.837
Significância <sup>2</sup>	xxx	xxx	xxx	x	x	x	x	xxx	NS
PS x Cultivar	NS	xxx	Xx	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV%	17	18	21	4	18	4	18	5	11

<sup>1</sup> Médias não seguidas pela mesma letra diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> NS não significativa, xxx significativa ( $P \leq 0,001$ ), xx significativa ( $P \leq 0,01$ ), x significativa ( $P \leq 0,05$ ).

produtividade. No trabalho realizado por Santos et al. (2006), o efeito residual do herbicida alterou a produtividade em torno de 50%. A menor recuperação da lavoura observada por Santos et al. (2006) provavelmente esteja relacionada, pelo menos em parte, ao menor pH do solo em relação ao deste trabalho: 4,5 e 4,8, respectivamente. Essa pequena diferença no pH gera condições para que as moléculas de imazethapyr e imazapic encontrem-se 20 e 11% associadas a pH 4,4 e 4,8, respectivamente, resultando praticamente no dobro de moléculas, no menor pH, capaz de ser sorvido aos coloides do solo, aumentando assim a persistência do herbicida no solo. Segundo Bresnahan et al. (2000), a sorção do imazethapyr aumenta com pH mais baixo e depois de três meses a dessorção é maior nessas condições, causando maior intoxicação em culturas suscetíveis.

Concluiu-se que para as condições de solo onde foi realizado este trabalho que o efeito residual da mistura pronta de imazethapyr e imazapic reduziu o estande de plantas, o perfilhamento, o número de panículas e a altura de plantas do cultivar não tolerante IRGA 417, sem alterar a produtividade de grãos. O revolvimento do solo diminuiu a atividade do herbicida na sua camada superficial (0-3 cm). Os diferentes sistemas de manejos de solo avaliados não alteraram o comportamento agronômico: estande de plantas, número de colmos, altura de plantas, número de panículas, esterilidade de espigueta, numero de grãos por panícula, massa de grãos e produtividade.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA Argentina e ao PPGA da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pelo financiamento do trabalho.

## LITERATURA CITADA

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

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

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

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

CROUGHAN, T. P. **Herbicide resistant rice**. Patent U.S., 5,773,704. 6-30-1998.

CURRAN, W. S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous solution and soil, *Weed Sci.*, v. 40, p. 143-148, 1992a.

CURRAN, W.S. et al. Effect of tillage and application method on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. *Weed Sci.*, v. 40, p. 482-489, 1992b.

FERNANDES DE OLIVEIRA, M. et al. Sorção do herbicida imazaquin em Latossolo sob plantio direto e convencional. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 39, n. 8, p. 787-793, 2004.

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

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage Res.*, v. 92, n. 1, p. 18-29, 2007.

JOURDAN, S. W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. *Weed Sci.*, v. 46, p. 608-613, 1998.

LEVY Jr., R. J. et al. Effect of cultural practices on weed control and crop response in imidazolinone-tolerant rice. *Weed Technol.*, v. 20, n. 1, p. 249-254, 2006.

LOPES, M. C. B. et al. Avaliação regionalizada de linhagens de arroz irrigado (*Oryza sativa L.*) no Rio Grande do Sul, Brasil, safra 2001/2002. In: INTERNATIONAL TEMPERATE RICE CONFERENCE, 3., 2003, Punta del Este. **Abstracts...** Punta del Este: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2003. p. 35.

LOUX, M.; REESE, K. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinones herbicides. *Weed Technol.*, v. 7, n. 2, p. 452-458, 1993.

MADANI, M. E. et al. pH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. *Fres. Environ Bull.*, v. 1, p. 1114-1119, 2003.

MARCHESAN, E. et al. Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em área com cultivo sucessivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. v. 2. p. 293-295.



MARIN, A. R. et al. Evaluación de sistemas de labranzas y siembra en arroz. In: **Proyecto Regional Arroz. Campaña 1997-1998**. Corrientes: Estación Experimental Agropecuaria INTA Corrientes, 1998. p. 53-62.

MARIN, A. R.; KRAEMER, A. F. Efecto de la densidad de plantas sobre el rendimiento de arroz. In: **Proyecto Regional Arroz. Campaña 1997-1998**. Corrientes: Estación Experimental Agropecuaria INTA Corrientes, p. 67-75, 1998.

MASSONI, P. F. S. et al. Controle de arroz vermelho em arroz tolerante a imidazolinonas e o residual em genótipo de arroz não tolerante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. v. 2. 2007. p. 230-233.

McDOWELL, R. W. et al. Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil. **Weed Res.**, v. 37, p. 381-389, 1997.

MOHANTY, M. et al. Estimating impact of puddling, tillage and residue management on wheat (*Triticum aestivum L.*) seedling emergence and growth in a rice-wheat system using nonlinear regression models. **Soil Tillage Res.**, v. 87, p. 119-130, 2006.

MONKS D. C.; BANKS P. A. Effect of straw, ash, and tillage on dissipation of imazaquin and imazetapyr. **Weed Sci.**, v. 41, p. 133-137, 1993.

PEREZ, K. S. S. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005.

PINTO, J. J. O. et al. Comportamento da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor*), cv BR 304, semeado em rotação com o arroz clearfield. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007a. v. 2. p. 300-302.

PINTO, J. J. O. et al. Avaliação da atividade residual em solo da mistura formulada com os herbicidas imazapic + imazethapyr, para a cultura do arroz irrigado, cultivar IRGA 417. In: CONGRESO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007b. v. 2. p. 307-309.

RAMPELOTTI, F. T. et al. Crescimento inicial de espécies vegetais na presença de resíduos do herbicida BAS 714. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2005, 4., Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. v. 2. p. 658-661, 2005.

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

SANTOS, F. M. et al. **Alternativas de controle químico do arroz-vermelho e persistência dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone na água e no solo.** 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SEIFERT, S. et al. Imazaquin mobilityand persistence in a Sarkey Clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Sci.**, v. 49, p. 571-577, 2001.

SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. **The imidazolinones herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991.

SOON, Y. K.; ARSHAD, M. A. Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. **Soil Tillage Res.**, v. 80, n. 1, p. 23-33, 2005.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Santa Maria: SOSBAI, 2005. 159 p.

TAN, S. et al. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v. 30, p. 195-204, 2006.

TRIPATHI, R. P. et al. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. **Soil Tillage Res.**, v. 92, n. 1/2, p. 221-226, 2007.

ULBRICH, A. V. et al., Persistence and carryover effect of imazapic and imazapyr in Brazilian cropping systems. **Weed Technol.**, v. 19, n. 4, p. 986-991, 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**, v. 24, n. 4, p. 761-768, 2006.

WILLIAMS, B. J. et al. Weed management systems for clearfield rice. **Louisiana Agric. Chemis.**, v. 45, n. 3, p. 16-17, 2002.

ZHANG, W. et al. Effect of rotational crop herbicides on water- and dry-seeded *Oryza sativa*. **Weed Sci.**, v. 48, ??n?? p. 755-760, 2000.

1 Rice: imidazolinones carryover  
2  
3

4 **CARRYOVER OF IMAZETHAPYR AND IMAZAPIC TO NON-TOLERANT RICE**  
5

6 Enio Marchesan, Fernando M. dos Santos; Mara Grohs; Luis A. de Avila; Sérgio L.O. Machado; Scott A.  
7 Senseman; Paulo F. S. Massoni and Gerson M. S. Sartori<sup>\*</sup>  
8  
9

10 The present work aimed to evaluate plant injury caused by residues in the soil of the formulated mixture of  
11 imazethapyr and imazapic to a non-tolerant genotype of rice (IRGA 417) drilled at 371 and 705 days after herbicide  
12 application (DAA). The herbicide carryover reduced up to 55% of the grain yield of the IRGA 417 drilled at  
13 371 DAA, and plant injury was still evident at 705 DAA but without grain yield reduction.

14 **Nomenclature:** Imazethapyr; imazapic; rice, *Oryza sativa* L.

15 **Key Words:** Herbicide soil persistence, imidazolinones, plant injury.

---

\* Professor, Master student, Graduate student, Professor, Professor, Graduate student and Graduate student, Departmento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil; Fourth author: Professor, Department of Soil and Crop Sciences, Texas A&M University, College Station, TX 77840. Current address of first author: Department of Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Roraima Avenue, 1000, CEP 97105-900, Rio Grande do Sul State, Brazil. Corresponding author's E-mail: emarchezan@terra.com.br.

New technologies have been developed to reduce the high infestations of red rice (*Oryza sativa* L.) in irrigated rice, which result in yield reduction as well as devaluation of the final product. The development of rice genotypes tolerant to herbicides of the imidazolinone group, a technology called the Clearfield System®, has become an efficient tool to selectively control and manage red rice infestations. In Brazil, this technology consists of applying a formulated mixture of 0.075 kg ai/ha imazethapyr + 0.025 kg ai/ha imazapic to tolerant rice genotypes (IRGA 422 CL, Sator CL, and Avaxi CL). The recommended rate is 1.0 L/ha of the commercial product Only® applied postemergence (POST). However, the consequences of the herbicide treatments are not frequently measured and the ensuing environmental impacts are not well known. The use of winter crops for grazing a livestock-crop rotation or the use of a non-tolerant rice genotype can be affected by the bioavailability of herbicide residues in the soil. Mostly, the plant injury resulting from the herbicide carryover can be visually observed and severe injuries may reduce yield or cause plant death.

The imidazolinone soil persistence is affected by soil properties such as texture, pH (Loux and Reese 1992), humidity (Baughman and Shaw 1996), organic matter (Stougaard et al. 1990) and oxygen concentration (aerobiosis/anaerobiosis). Souza et al. (2000) reported that imazapyr herbicide mobility was higher in sandy loam soils than in clay soils. According to Renner et al. (1998), residues of imidazolinone herbicides can remain in the soil up to two years after application. Depending on the successive crop, the carryover may cause plant injury and adversely affect crop rotation.

Imazethapyr and imazapic persistence is dependent on photolysis and microbial degradation (Madami et al. 2003; Alister and Kogan 2005). Several studies and field observations suggest that the main factors determining the persistence of these herbicides are directly associated to climate and soil conditions, which can be affected by soil management practices (Soon and Arshad 2005; Perez et al. 2005). Moreover, herbicide residues can be drained by rain or irrigation water and leached to the water table potentially adversely affecting the environment (Clay 1993). Thus, a safe recropping interval is recommended between herbicides application and planting of tolerant crops. For imidazolinones, the recommended safe recropping interval is based on studies of upland crops in the United States and Europe, where edaphoclimatic conditions are different from those in Brazil, especially in lowland areas. Studies on effects of the potential herbicide carryover on rice crops grown under the Brazilian edaphoclimatic conditions are necessary to develop crop rotation management strategies for non-tolerant genotypes.

The present study aimed at evaluating carryover effects of the formulated mixture of imazethapyr and imazapic in two consecutive growing seasons by using a non-tolerant lowland rice genotype drilled at 371 and 705 DAA.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out during the 2004/05, 2005/06 and 2006/07 growing seasons at the experimental field of the Department of Crop Science, Federal University of Santa Maria, RS, Brazil, in a soil classified as typical albaqualf, belonging to the Vacaraí mapping unit (Embrapa 1999) with the following characteristics: pH<sub>water</sub>(1:1) = 4.5; P = 6.9 mg/dm<sup>3</sup>; K = 55 mg/dm<sup>3</sup>; M.O. = 1.2 %; Ca = 2.5 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>; Mg = 1.3 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>; Al = 1.4 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>-3</sup>; clay = 17 %.

The randomized complete block design with four treatments and five replicates was utilized, comprising four rates of the herbicide Only® which is a formulated mixture containing 0.075 kg ai/L of imazethapyr and 0.025 kg ai/L of imazapic. The treatments consisted of: untreated check; 0.7 L/ha in preemergence followed by the 0.7 L/ha in postemergence (PRE + POST); 1 L/ha in preemergence (PRE); and 1 L/ha in postemergence (POST). The plots measured 5 x 4 m (20 m<sup>2</sup>) and the grain yield was estimated within an area of 3 x 4 m (12 m<sup>2</sup>).

In the 2004/05 growing season, the herbicide was applied either preemergence at two days after seed drilling or postemergence at 16 days after emergence (DAE). The plant stage was V4 when herbicide was applied to the tolerant rice cultivar IRGA 422 CL and red rice plants were at the V5 growth stage, according to the scale of Counce et al. (2000). In the 2005/06 and 2006/07 growing seasons, the non-tolerant rice cultivar IRGA 417 was used for evaluation of potential herbicide carryover injury. In the intercrop periods, the *Lolium multiflorum* Lam. (Italian ryegrass) was drilled at a rate of 40 kg/ha.

In the 2005/06 and 2006/07 experiments, the non-tolerant rice cultivar IRGA 417 was directly drilled at a rate of 110 kg/ha in 0.17 m spaced rows. The genotype IRGA 422 CL was used as a control, have been chosen due to its tolerance to imazethapyr and imazapic, and agronomic similarities to the IRGA 417. In the 2006/07 growing season, the similarities between IRGA 417 and IRGA 422 CL regarding agronomical traits and grain yield were evaluated in four independent comparative experiments. Each experiment was conducted with six replicates in an area without herbicide carryover, applying fertilization and cultivation procedures according to Sosbali (2005).

In the 2005/06 and 2006/07 growing seasons, the IRGA 417 initial plant stand was determined at 10 DAE based on the number of rice plants per linear meter. In addition, the evaluations included culm and panicle number per plant, spikelet number per panicle, thousand grain weight, spikelet sterility, plant height, and rice grain yield.

Herbicide injury to rice plants was visually evaluated and expressed in percentage, where a value of zero meant an absence of herbicide injury and 100% meant plant death. Red rice reinfestation was assessed at pre-harvest by counting the number of red rice panicles within an area of 0.5 x 0.5 m. Grain yield of the cultivated rice was estimated by hand harvesting the plants of each experimental parcel as the grains reached 20% average moisture, which was based on grain mass and adjusted to 13% moisture.

79 Data on the determined variables were submitted to the one-way ANOVA F-test, and the average values  
 80 compared by the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ). The data on herbicide injury were transformed into  $y_t = \arccosine \sqrt{\frac{y + 0.5}{100}}$  and  
 81 the remaining percentage data were transformed into  $y_t = \sqrt{y + 1}$ .

## RESULTS AND DISCUSSION

87 **IRGA 417 x IRGA 422 CL.** No significant differences were detected between the non-tolerant IRGA 417 and the  
88 tolerant IRGA 422 CL rice genotypes grown in the field soil without herbicide residues (data not shown). Therefore, the  
89 IRGA 422 CL was used as a control in the experiments.

**2005/06 growing season.** Degrees of injury to the non-tolerant cultivar IRGA 417 varied according to the applied herbicide rates and the elapsed time between herbicide application and rice seed drilling (Figure 1A and 1B). For the non-tolerant genotype, most severe injuries were observed at 10 days after emergence (DAE) in both the PRE + POST and POST treatments, without significant differences between them (Figure 1A). Lowest degree of plant injury was restricted to the PRE treatment, and the differences remained evident in the 37 DAE assessment (Figure 1B). The minor injury within the PRE treatment was due probably to herbicide biodegradation in aerobic environment which was the prevalent condition during the first 20 days between herbicide application and the initial irrigation in the 2004/05 experiment. According to Flint and Witt (1997), the imidazolinone herbicides are preferentially degraded in soil by aerobic microorganisms, which require an optimum temperature ( $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ) and suitable soil moisture of approximately 75% of the field capacity. It is conceivable that upon irrigation there was a disturbance of the conditions favorable to aerobic microorganisms and, therefore, their activity was reduced. Consequently, in the treatments of sequential

101 herbicide application (PRE + POST) and in the POST application, biodegradation might have decreased due to the  
102 extended anaerobic condition, leading to longer herbicide soil persistence as compared to the PRE treatment.

103 As a consequence of herbicide injury, the plant stand of the non-tolerant cultivar IRGA 417 was adversely  
104 affected because, notwithstanding seedling emergence, plants died due to the herbicide carryover effects (Table 1). The  
105 control comprised an average population of 295 plants/m<sup>2</sup>, while there was 37% average reduction of the populations  
106 within the herbicide treatments, with no significant differences among treatments. These results are in agreement with a  
107 previous evaluation of the IRGA 417, which resulted in a smallest plant stand in a soil that, in a former growing season,  
108 had been treated with the formulated mixture of imazethapyr and imazapic (Villa 2006).

109 Weather and soil conditions might have contributed to the severe plant herbicide injury observed in the  
110 experiments. The fallow period was characterized by low temperatures (data not shown), which might have contributed  
111 to lowering microbial activities (Flint and Witt 1997). In addition, the soil pH was approximately 4.5 and low pH values  
112 are known to increase imidazolinone adsorption to soil colloids, making them unavailable to biodegradation. The  
113 persistence of imidazolinone herbicide in the soil is reported to be directly related to pH, organic matter content, and clay  
114 content (Loux and Reese 1992).

115 Irrigation enhanced plant injury symptoms, probably by increasing herbicide availability in the soil solution.  
116 According to Avila et al. (2006), in soil at field capacity, about 61% of the imazethapyr would be in the soil solution  
117 whereas upon saturation such value would increase to 73%. Besides, at approximately 20 days after irrigation, a  
118 phenomenon known as ‘self-liming’ takes place, where the pH of acid soils increases and hence favors the dissociation of  
119 weakly acidic herbicide molecules. Mostly, the herbicide molecules are dissociated into their anionic form, which is  
120 repelled by the negative charges of clay and organic surfaces. Afterwards, the resulting anions move into the soil  
121 solution and become available for transport and absorption into the plant (Che 1992).

122 Besides affecting the plant stand, herbicide carryover also affected the culm number per plant, which at 29 DAE,  
123 was higher in the control as compared with the herbicide treatments (Table 1). Conversely, at 49 DAE, plants recovered  
124 from herbicide stress by compensating for lower in culms numbers by producing tillers. Consequently, no significant  
125 differences were observed between treatments and time of herbicide application. Yoshida (1981) states that rice plants  
126 can compensate from a limited crop stand by producing large tiller numbers. Despite the apparent rice plant recovery,  
127 not all culms produced panicles under our experimental conditions also when culms were produced, the panicles had  
128 fewer grains that had lower mass.

129        Regardless of the applied herbicide rate, treatments with the formulated mixture of imazethapyr and imazapic  
130      reduced the yield of IRGA 417 rice genotype. The average yield of the tolerant IRGA 422 CL genotype in the control  
131      was 8,928 kg/ha whereas the other genotypes had an average yield of 4,470 kg/ha. Most likely, the lower yield was  
132      caused by effects of the herbicides limiting metabolic pathways important for panicle and grain development.  
133      Additionally, there was a 53% decrease in rice grain yield in the POST treatments using the recommended rate of 1 L/ha,  
134      compared with the control. These results demonstrated negative effects on the non-tolerant rice genotype drilled at 371  
135      days after application (DAA) from carryover soil residues of imazethapyr e imazapic.

136      **2006/07 growing season.** The herbicide injury to the non-tolerant rice cultivar drilled at 705 DAA was significant, but  
137      the observed values were lower compared with those of the previous (2005/06) growing season (Figures 1C and 1D). At  
138      18 DAE, the plant injury within the POST herbicide treatment was higher than in the other treatments (Figure 1A). This  
139      result is consistent with that of the 2005/06 growing season, with less injury within PRE treatments that had a longer  
140      biodegradation period. However, at 26 DAE there was an increase of plant injury due to flooding of the experimental  
141      area, which was observed mainly in the sequential herbicide application (PRE+POST). However, the POST application  
142      (Figure 1B) did not show significant injury compared with the control. Wik and Reinhardt (2001) suggested that leached  
143      herbicide could return to the root absorption zone by water capillary movement during irrigation which may explain the  
144      increase in plant injury of the sequential treatment.

145        Regarding the initial plant stand (Table 2), there was a 31% decrease in the POST treatment compared to the  
146      control group and similarly to the plant injury symptoms at 18 DAE. However, no significant differences in culms  
147      numbers per plant were observed among the treatments, confirming the capability of compensation in the rice grain yield  
148      component. No significant differences were detected among herbicide treatments and the control group regarding the  
149      number of panicles, number of spikelets per panicle, thousand-grain mass, and grain yield. The low yield in the  
150      experiment (average 3,950 kg/ha) was a consequence of high red rice infestation in the experimental field, with an  
151      average of 419 panicles/m<sup>2</sup>. Grain yield was reduced because of the lack of complementary control practices. Souza and  
152      Fisher (1986) consider that red rice interference in rice crops caused a decrease of 18 kg/ha for each red rice panicle/m<sup>2</sup>.  
153      The results demonstrated that even at 705 DAA, there was enough herbicide carryover to cause injury to non-tolerant  
154      rice plants under the conditions of this experiment.

155        The persistence of imidazolinone herbicides in the soil for more than a year after application has been reported  
156      in several studies. Moyer and Esau (1996) observed that imazethapyr carryover causes yield decrease in rapeseed up to  
157      two years after application, and as long as three years in potato and sugar beet crops. Moreover, conducting the

158 experiment in a direct drilling system also favors herbicide persistence. According to Kraemer (2008), not plowing the  
159 soil between crops slows microbial activity, leading to longer persistence periods. Also, the author states that in this  
160 system the herbicide is concentrated in a three to six cm depth which is where rice seeds are drilled. Suitable  
161 management practices, such as drainage management and soil preparation in the fallow seasons can enhance herbicide  
162 degradation and hence minimize injury to non-tolerant rice genotypes grown in succession or in rotation with Clearfield®  
163 rice. Where non-tolerant tolerant rice genotypes are grown in succession or rotation, one could choose cultivars that  
164 could be planted at the end of the drilling season, thus avoiding low temperatures during the initial plant growth and  
165 minimizing the impact of herbicide carryover. Low temperatures are known to enhance the activity of imidazolinones.  
166 The herbicide and crop management suggestions refer to the current available information. Further studies can advance  
167 the understanding of carryover effects of imidazolinones on tolerant and non-tolerant rice genotypes, allowing the  
168 improvement of management procedures suitable to local or regional Brazilian conditions.

169

170

171

172

## ACKNOWLEDGMENTS

173

174

175

176

177

178

179

The authors gratefully acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for scholarship awards to E. Marchesan, F. M. Santos, and M. Grohs, the CAPES for Visiting Professor fellowship award to Dr. S. A. Senseman, and to the Universidade Federal University de Santa Maria for logistic support.

180

181

182

**LITERATURE CITED**

- 183 Alister, C. and Kogan M. 2005. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their  
184 carryover effect on rotational crops. *Crop Prot.* 24 (4): 375-379.
- 185 Avila L.A, Massey J. H, Senseman S. A., Armbrust K.L, Lancaster S.R, McCauley G.N, and Chandler J.M. 2006.  
186 Imazethapyr Aqueous Photolysis, Reaction Quantum Yield, and Hydroxyl Radical Rate Constant. *J. Agric. Food Chem.*  
187 54 (7): 2635 -2639.
- 188 Baughman, T. A. and Shaw, D. R. 1996. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable  
189 imazaquin. *Weed Sci.* 44 (2): 380-382.
- 190 Che M., Loux M., Traina S.J, and Logan T.J. 1992. Effect of pH on Sorption and Desorption of Imazaquin and  
191 Imzethapyr on Clays and Humic Acid. *J. Environ. Qual.* 21: 698-703.
- 192 Clay, D. V. 1993. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. Pages 153-171 In: J.C Streibig and P. Kudsk,  
193 ed. *Herbicide bioassays*. Florida: CRC Press.
- 194 Counce, P.A. and Keisling, T.C.; Mitchell, A.J. 2000. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice  
195 development. *Crop Sci.* 40: 436-443.
- 196 Embrapa. ed. 1999. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Brasília: Embrapa-SPI, 412 p.
- 197 Flint, J.F and Witt, W.W. 1997. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. *Weed Sci.*, v.45, p.586-591,
- 198 Loux, M. M. and Reese, K. D. 1992. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. *Weed Sci.* 40 (3):  
199 490-496.
- 200 Kraemer A.F. 2008. Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em áreas de arroz sob  
201 diferentes manejos de solo. Dissertation. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria. 64 f.
- 202 Madani, M.E, Azzouzi, M.E and Zrineh, A., Martens D., Kettrup, A . 2003. pH effect and kinetic studies of the binding  
203 behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. *Fresenius Environ. Bulletin.* 1: 1114-1119.
- 204 Moyer J.R and ESAU R. 1996. Imidazolinone Herbicide Effects on Following Rotational Crops in Southern Alberta,  
205 Weed Technol. 10: 100-106.
- 206 Perez, K.S., Ramos, M.L.G. and McNamee, C. 2005. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja,  
207 sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 40 (2):137-144.

- 208 Renner, K.A., Schabenberger, O. and Kells, J.J. 1998. Effect of tillage application method on corn (*Zea mays*) response  
209 to imidazolinone residues in soil. *Weed Technol.* 12 (2): 281-285.
- 210 Soon, Y. K., Arshad, M. A. 2005. Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. *Soil and*  
211 *Tillage Res.* 80: 23-33.
- 212 Sosbai. *Arroz Irrigado*. ed. 2005. Recomendações Técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria, RS. 159 p.
- 213 Souza, P. R. and Fischer, M. M. 1986. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. *Lavoura Arrozeira*. 39 (368):  
214 19-20.
- 215 Souza A.P, Prates H.T, Ferreira F.A and El Reis C.P. 2000. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com  
216 diferentes texturas e composição química. I – Método de Bioexperimento. *Planta Daninha*. 18 (1): 5-16.
- 217 Stougaard, R. N. and Shea, P. J.; Martin, A. R. 1990. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of  
218 imazaquin and imazethapyr. *Weed Sci.* 36 (1) 67-73.
- 219 Villa, S. C. C. 2006. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo  
220 gênico. Dissertation. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria. 53 f.
- 221 Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Philippines: P. Imprenta. 269 p.
- 222 Wik, L.J.V. and Rinnhardt, C.F. A. 2001. Biossay technique detects imazathapyr leaching and liming-dependent activity.  
223 *Weed Technol.* 15: 1-6.

224 **Table 1.** Carryover effects of the formulated mixture of imazethapyr (75 g a.i. L<sup>-1</sup>) and imazapic (25 g a.i. L<sup>-1</sup>) on the non-tolerant rice cultivar (IRGA 417)  
 225 drilled at 371 days after herbicide application, affecting plant stand, culms per plant at 29 and 49 days after emergence (DAE), number of panicles, number of  
 226 spikelet per panicle, thousand grain weight, plant height, spikelet sterility and rice grain yield. Santa Maria, RS, 2008.

Treatments <sup>1/</sup>	Number of culms per plant			Number of spikelets per panicle	Thousand grain weight			Spikelets sterility % <sup>6/</sup>	Grain yield kg/ha			
	Plant stand number/m <sup>2</sup>				Panicles/m <sup>2</sup>	Plant height cm						
		29 DAE	49 DAE									
Untreated check	295 a <sup>7/</sup>	4.5 a	3.7 <sup>NS</sup>	648 a	79 a	27 a	80.8 a	11 <sup>NS</sup>	8,928 a			
PRE <sup>2/</sup> + POST <sup>3/</sup>	191 b	1.6 b	2.3	358 b	73 b	23 b	74.3 ab	10	5,262 b			
PRE <sup>4/</sup>	199 b	1.8 b	3.0	338 b	72 b	22 b	75.7 ab	12	3989 b			
POST <sup>5/</sup>	171 b	1.5 b	2.5	303 b	71 b	23 b	71.4 b	12	4,158 b			
Average	214	2.4	2.8	412	74	24	75.6	11	5,584			
Coefficient of variation (%)	17	25	43	19	12	7	5	11	21			

227 <sup>1/</sup>Treatment applied at the 2004/05 growing season and evaluated on the 2005/06 growing season.

228 <sup>2/</sup>0.0525 kg ai/ha imazethapyr + 0.0175 kg ai/ha imazapic in preemergence application.

229 <sup>3/</sup>0.0525 kg ai/ha de imazethapyr + 0.0175 kg ai/ha de imazapic in postemergence application, red rice at V<sub>5</sub> growth state (Counce et al., 2000).

230 <sup>4/</sup>0.075 kg ai/ha imazethapyr + 0.025 kg ai/ha in preemergence application.

231 <sup>5/</sup>0.075 kg ai/ha imazethapyr + 0.025 kg ai/ha in postemergence application.

232 <sup>§</sup>Prior to analysis, data were transformed by  $yt = \sqrt{y + 1}$  (presented values are untransformed).

233 <sup>¶</sup>Values followed by different letter in the column are different by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

234 <sup>ns</sup>Means are not significantly different according to F-test ( $p \leq 0.05$ ).

235

236 **Table 2.** Carryover effects of the formulated mixture of imazethapyr (75 g a.i. L<sup>-1</sup>) and imazapic (25 g a.i. L<sup>-1</sup>) on the non-tolerant rice cultivar (IRGA 417)  
 237 drilled at 705 days after herbicide application, affecting plant stand, culms per plant at 26 and 40 days after emergence (DAE), red rice infestation, number of  
 238 panicle, number of spikelet per panicle, thousand grain weight, plant height, spikelet sterility and rice grain yield. Santa Maria-RS, 2008.

Treatments <sup>1/</sup>	Plant stand number/ m <sup>2</sup>	Number of culms per plant		Red rice plants/m <sup>2</sup>	Number of panicles/m <sup>2</sup>	Number of spikelets per panicle	Thousand grain weight		Plant height cm	Spikelet sterility %	Grain yield kg/ha
		26 DAE	40 DAE				g				
Untreated check	281 a <sup>7/</sup>	1.7 <sup>NS</sup>	2.0 <sup>NS</sup>	384 ab	249 <sup>NS</sup>	68 <sup>NS</sup>	27.5 <sup>NS</sup>	79 <sup>NS</sup>	10 <sup>NS</sup>	4,450 <sup>NS</sup>	
PRE <sup>2/</sup> + POST <sup>3/</sup>	234 ab	2.0	2.3	160 b	273	71	26.9	78	15	3,887	
PRE <sup>4/</sup>	240 ab	1.9	2.1	616 a	142	59	26.1	75	15	3,736	
POST <sup>5/</sup>	195 b	2.3	2.8	516 a	219	64	26.8	77	11	3,725	
Average	238	1.9	2.3	419	221	65	26.8	77	13	3,950	
Coefficient of variation (%)	23	23	25	19	36	21	6	6	13	18	

239 <sup>1/</sup>Treatment applied at the 2004/05 growing season and evaluated on the 2005/06 growing season.

240 <sup>2/</sup>0.0525 kg ai/ha imazethapyr + 0.0175 kg ai/ha imazapic in preemergence application.

241 <sup>3/</sup>0.0525 kg ai/ha de imazethapyr + 0.0175 kg ai/ha de imazapic in postemergence application, red rice at V<sub>5</sub> growth state (Counce et al., 2000).

242 <sup>4/</sup>0.075 kg ai/ha imazethapyr + 0.025 kg ai/ha in preemergence application.

243 <sup>5/</sup>0.075 kg ai/ha imazethapyr + 0.025 kg ai/ha in postemergence application.

244 <sup>§</sup> Prior to analysis, data were transformed by  $yt = \sqrt{y + 1}$  (values presented are untransformed).

245 <sup>¶</sup> Values followed by different letter in the column are different by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

246 <sup>ns</sup> Means are not significantly different according to F-test ( $p \leq 0.05$ ).

247 **Figure 1.** Carryover of the formulated mixture imazethapyr (0.075 kg ai/ha) and imazapic (0.025 kg ai/ha) injuring  
248 non-tolerant rice (IRGA 417) drilled at 371 (A and B) and 705 days after treatment (C and D). Columns followed  
249 by different letter differ by the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ). A = plant injury evaluated at 10 days after emergence (DAE);  
250 B = at 37 DAE; C = 18 DAE; and D = 26 DAE.

251

1           **RETORNO A PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO COM CULTIVARES**  
2           **CONVENCIONAIS APÓS O USO DO SISTEMA CLEARFIELD®**

4           **RETURN TO RICE PRODUCTION WITH NON-TOLERANT CULTIVARS AFTER THE**  
5           **USE OF CLEARFIELD™ SYSTEMS**

7           **Luis Antonio de Avila<sup>1</sup>, Gustavo Mack Teló<sup>2</sup>, Rafael Bruck Ferreira<sup>3</sup>, Enio**

8           **Marchesan<sup>4</sup>, Sérgio Luis de Oliveira Machado<sup>5</sup>, Tiago Luis Rossato<sup>3</sup>**

10          **RESUMO**

11          O Sistema Clearfield® vem sendo utilizado em áreas orizícolas para auxiliar no  
12          controle do arroz-vermelho em áreas com alta infestação. Visando a sustentabilidade  
13          desse sistema, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar  
14          manejos de cultivo de arroz em áreas após a utilização do Sistema Clearfield®. O  
15          experimento foi instalado em área de várzea sistematizada da Universidade Federal de  
16          Santa Maria (Santa Maria, RS) e conduzido no ano agrícola 2006/07. O delineamento  
17          experimental foi de blocos ao acaso, em esquema trifatorial, com 3 repetições. O fator A  
18          foi representado pelas cultivares de arroz irrigado (BR-IRGA 409, IRGA 417,  
19          IRGA 422 CL e BRS 7 “TAIM”). O fator B foi composto por duas formas de manejo nas  
20          safras anteriores à realização do experimento: 1) duas safras agrícolas com o uso do  
21          Sistema Clearfield® usando o herbicida Only® na dose de 1 L ha<sup>-1</sup> em pós-emergência  
22          (POS) e uma safra com cultivo de arroz não tolerante, sem aplicação de herbicida Only®  
23          (2CL + 1 CON); 2) três safras agrícolas com o uso do Sistema Clearfield® na dose de 1  
24          L ha<sup>-1</sup> de Only® em POS (3 CL). O fator C foi representado por diferentes herbicidas

<sup>1</sup> Eng. Agr., Ph.D. Professor Adjunto, Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria.

<sup>2</sup> Eng. Agr. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFSM.

<sup>3</sup> Acadêmico de Agronomia da UFSM.

<sup>4</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Titular, Departamento de Fitotecnia da UFSM.

<sup>5</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Titular, Departamento de Defesa Fitossanitária da UFSM.

25 aplicados na safra 2006/07, ***Bispiribaque-sódico, Clomazone + Propanil, Cialofope-***  
26 ***butílico, Quincloraque, Penoxsulam***. Os resultados sinalizam que o cultivo de arroz  
27 irrigado após o uso do Sistema Clearfield® por dois anos requer, pelo menos, uma safra  
28 agrícola sem o uso do sistema para evitar que o residual do herbicida Only® afete a  
29 produtividade do arroz não tolerante. Quanto ao uso de herbicidas não pertencentes ao  
30 grupo das imidazolinonas, quando se retorna ao sistema convencional com cultivares  
31 não tolerantes, não foi verificada diferença de produtividade nem entre os herbicidas e  
32 nem entre as cultivares, porém ressalta-se a necessidade do uso de herbicidas que não  
33 sejam inibidores de ALS para reduzir a pressão de seleção de plantas daninhas  
34 resistentes.

35  
36 **Palavra-chave:** Produtividade de grãos, fitotoxicidade, persistência no solo.

37

38 **ABSTRACT**

39

40 **Key words:** **Grain yield, plant injury, herbicide persistence, carryover.**

41

42 **INTRODUÇÃO**

43 O Sistema Clearfield® de produção de arroz irrigado, que consiste na utilização  
44 de cultivar tolerante aos herbicidas do grupo das imidazolinonas, e do herbicida Only®  
45 (mistura formulada de imazethapyr e imazapic, 75 e 25 g i.a. L<sup>-1</sup>, respectivamente),  
46 sendo uma estratégia eficiente para o controle de arroz-vermelho em lavouras de arroz  
47 irrigado (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003; VILLA et al., 2006).

48 Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem persistir na água e no  
49 solo por longo período (LOPES, 2005), podendo ser observado residual no solo por até  
50 dois anos (RENNER et al., 1998). Uma vez no solo, os resíduos dos herbicidas podem  
51 ocasionar injúrias à cultura subsequente não tolerante (BALL et al., 2003). Estudos  
52 indicam a ocorrência de elevada fitotoxicidade ao arroz nos estágios iniciais de  
53 desenvolvimento (LOPES, 2005), prejudicando o estabelecimento de culturas  
54 sucessoras não tolerantes. A ocorrência de danos ao arroz convencional provocados  
55 pelo residual do herbicida no solo varia de acordo com fatores de manejo que afetam a  
56 degradação do produto (SCIUMBATO et al., 2003; AVILA, 2006).

57 Apesar do sistema prever a utilização da tecnologia por até dois anos consecutivos  
58 e após rotação com outro sistema . No entanto, devido às limitações que os cultivos  
59 alternativos têm nas áreas de várzea e as dificuldades de alternar áreas de cultivo, o  
60 produtor acaba tendo como única opção o retorno com o sistema de produção de arroz  
61 convencional. No Rio Grande do sul, há relatos de, em algumas condições  
62 edafoclimáticas, de persistência do herbicida e dano a cultura do arroz irrigado não  
63 tolerante cultivada em sucessão, com níveis redução que variam de 53% no rendimento  
64 até 72% (SANTOS 2006). Em outros casos, apesar da ocorrência de injuria inicial, de  
65 28% o arroz se recuperou e essa redução não é verificada (KRAEMER, 2008). Uma  
66 prática de manejo que pode afetar os níveis de injúria, ou a velocidade de recuperação  
67 da injúria do residual do herbicida é a aplicação de herbicidas para controle de plantas  
68 daninhas na cultura do arroz, pois de acordo com a seletividade do herbicida usado ou  
69 o modo de ação do herbicida a fitotoxicidade pode ser aumentada e os rendimentos do  
70 arroz comprometidos. Porém, como o Sistema Clearfield® é recente no Brasil, faltam  
71 informações sobre como migrar deste sistema para o sistema convencional de cultivo

72 de arroz irrigado, com o mínimo de efeito negativo sobre o arroz irrigado não tolerante  
73 semeado em sucessão.

74 Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do número de anos de pousio  
75 do solo necessários para reduzir o residual dos herbicidas, bem como identificar quais  
76 herbicidas podem ser usados em sucessão sem causar aumento de fitotoxicidade as  
77 plantas de arroz irrigado não tolerantes.

78

## 79 MATERIAL E MÉTODOS

80 O experimento foi instalado em área de várzea sistematizada da Universidade  
81 Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS) e conduzido no ano agrícola de 2006/07. O  
82 solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, de textura média  
83 ( $\text{pH}_{\text{água}} (1:1) = 5,0$ ;  $\text{P} = 9,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{K} = 72 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Argila = 23%; M.O. = 2,1%; Ca =  
84  $3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Mg =  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Al =  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

85 O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema trifatorial, com  
86 3 repetições. O fator A foi representado pelas cultivares de arroz irrigado (BR-IRGA 409,  
87 IRGA 417, IRGA 422 CL e BRS 7 “TAIM”). O fator B foi composto por duas formas de  
88 manejo nas safras anteriores à realização do experimento: 1) duas safras agrícolas com  
89 o uso do Sistema Clearfield® usando o herbicida Only® na dose de  $1 \text{ L ha}^{-1}$  em pós-  
90 emergência (POS) e uma safra com cultivo de arroz não tolerante, sem aplicação de  
91 herbicida Only® (2CL + 1 CON); 2) três safras agrícolas com o uso do Sistema  
92 Clearfield® na dose de  $1 \text{ L ha}^{-1}$  de Only® em POS (3 CL). O fator C foi representado por  
93 diferentes herbicidas aplicados na safra 2006/07: **Bispiribaque-sódico** na dose de 48 g  
94 i.a.  $\text{L}^{-1}$ ; **Clomazone** na dose 300 g i.a.  $\text{L}^{-1}$  + **Propanil** na dose de 1800 g i.a.  $\text{L}^{-1}$ ;

95       **Cialofope-butílico** na dose de 270 g i.a. L<sup>-1</sup>; **Quincloraque** na dose de 375 g i.a. L<sup>-1</sup>; e  
96       **Penoxsulam** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>.

97           O arroz foi semeado no sistema convencional, sendo a semeadura realizada em  
98       21/10/2006, com semeadora de 11 linhas espaçadas em 0,17 m com 4,5 m de  
99       comprimento, na densidade de 110 kg ha<sup>-1</sup> de semente. A adubação de base foi de  
100      17,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N), 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 105 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A emergência  
101      das plantas ocorreu em 01/11/2006.

102           A aplicação dos herbicidas ocorreu aos 16 dias após a emergência (DAE),  
103       realizada com um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> munido de pontas leque  
104       11002, na vazão de 150 L ha<sup>-1</sup>. Um dia após a aplicação dos herbicidas a área foi  
105       inundada, mantendo-se lâmina d'água constante de aproximadamente 5 cm de altura.  
106       O N aplicado foi na forma de uréia, dividido em três épocas: a primeira na semeadura, a  
107       segunda (80 kg ha<sup>-1</sup> de N) um dia antes da inundação, e a terceira (40 kg ha<sup>-1</sup> de N) na  
108       diferenciação da panícula. Os demais tratos culturais foram conduzidos conforme a  
109       recomendação técnica para a cultura.

110           Aos 14 DAE, determinou-se o estande inicial através da contagem da população  
111       de plantas em um metro de comprimento da linha de semeadura. Nessa mesma área  
112       determinou-se o número de panículas por planta e realizou-se acompanhamento da  
113       estatura das plantas aos 30 DAE e no momento da colheita. A avaliação de  
114       fitotoxicidade no arroz foi realizada aos 15, 21 e 45 DAE, utilizando uma escala de 0 a  
115       100%, em que 0 = sem fitotoxicidade e 100 = morte das plantas. A produtividade de  
116       grãos foi determinada através da colheita manual, em área de 6,88 m<sup>2</sup> (4,5 x 1,53 m),  
117       quando os grãos apresentavam umidade média de 22%. Após a trilha, limpeza e

118 pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e  
119 convertidos em kg ha<sup>-1</sup>.

120 Os dados foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo  
121 teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Antes da análise, os dados de fitotoxicidade foram  
122 transformados para  $yt = \text{arcoseno} \sqrt{\frac{y + 0,5}{100}}$ .

123  
124 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

125 Quanto ao estande inicial de plantas, não houve diferença estatística entre as  
126 cultivares, os manejos da área e os herbicidas aplicados na safra 2006/07, indicando  
127 que estes fatores não afetaram a emergência das plantas, sendo a média de 177  
128 plantas m<sup>-2</sup>. Com relação ao número de panículas por planta, não houve diferença entre  
129 as cultivares no manejo de 2CL+1CON. Porém houve diferença entre as cultivares no  
130 manejo de 3CL, onde a cultivar IRGA 422 CL apresentou maior número de panículas  
131 por plantas. Quanto à aplicação dos herbicidas não houve diferença entre eles e nem  
132 entre os manejos de área. Foi observada diferença significativa entre as áreas, com  
133 média superior na área com 2CL+1CON quando comparada à área com 3CL.

134 A avaliação de fitotoxicidade foi realizada em três períodos durante o  
135 desenvolvimento da cultura (Tabela 2). A primeira avaliação, 15 DAE, foi realizada  
136 antes do início da irrigação e da aplicação dos herbicidas, somente na área com 3CL.  
137 Foi observada fitotoxicidade em todas as cultivares, sendo maior para aquelas não  
138 tolerantes a imidazolinonas (BR-IRGA 409, IRGA 417 e BRS 7 "TAIM"). Segundo BALL  
139 et al. (2003), enfatizam que pode haver fitotoxicidade decorrente do residual do  
140 herbicida no solo dependendo da cultura sucessora.

141 Para o manejo com 2CL+1CON, não foi observada diferença entre as cultivares  
142 após o início da irrigação (21 DAE). Entre as cultivares semeadas na área com 3CL  
143 observou-se aumento nos valores de fitotoxicidade decorrente da entrada d'água na  
144 área, sendo que a cultivar IRGA 422 CL apresentou menor fitotoxicidade de plantas  
145 entre as cultivares avaliadas. Em relação aos herbicidas aplicados em 2006/07, a  
146 fitotoxicidade foi maior para os tratamentos com Gomit® + Propanil® e Nominee®,  
147 independente do manejo da área. Com a entrada d'água na área, a fitotoxicidade  
148 decorrente do residual do imazethapyr e imazapic pode ser potencializada em  
149 decorrência da elevação do pH pelo processo natural de “auto calagem”. O aumento do  
150 efeito fitotóxico ocorre em decorrência do imazethapyr e imazapic possuírem pKa na  
151 ordem de 3,9 (RENNER, 1998). Quando o pH da solução do solo é superior ao pKa,  
152 ocorre a ionização das moléculas do herbicida, predominando a forma aniónica, a qual  
153 é repelida pelas cargas negativas e superfícies orgânicas, passando então para a  
154 solução do solo e tornando-se passível de ser transportada ou absorvida pelas plantas  
155 (CHE, 1992). E com a ação dos herbicidas aplicados na safra de 2006/07 foram  
156 somatórios a fitotoxicidade das plantas.

157 Na avaliação aos 40 DAE houve redução na fitotoxicidade das cultivares nos dois  
158 manejos de área, não havendo diferenças de fitotoxicidade entre as cultivares referente  
159 à área com 2CL+1CON. No entanto, no manejo 3CL as cultivares não tolerantes  
160 apresentaram maior fitotoxicidade de plantas. Analisando os herbicidas aplicados,  
161 observa-se diferença entre os tratamento, sendo que o herbicida Clincher® apresentou  
162 menor fitotoxicidade quando comparado com os demais herbicidas. Quando  
163 comparando os dois manejos adotados nas áreas, o sistema com 3 anos consecutivos

164 do Sistema Clearfield® sempre apresentou maior fitotoxicidade comparado ao manejo  
165 com dois anos do Sistema Clearfield® e um ano de sistema convencional.

166 Entretanto, em relação à fitotoxicidade, torna-se necessária à avaliação das  
167 condições ambientais do período, as quais condicionaram os resultados obtidos. De  
168 acordo com LOUX & REESE (1993), a permanência das moléculas de herbicidas do  
169 grupo das imidazolinonas está diretamente relacionada com a quantidade de matéria  
170 orgânica, argila e pH do solo. Em relação ao pH, o comportamento desses herbicidas é  
171 influenciado no sentido de que, com a diminuição do pH, ocorre um aumento da  
172 adsorção da molécula nos colóides do solo.

173 Com relação à estatura de plantas (Tabela 3), nas avaliações realizadas aos 15  
174 (dados não mostrados) e 30 DAE houve diferença entre as cultivares somente no  
175 manejo com 3CL. Não houve diferença também entre os herbicidas aplicados para os  
176 dois manejos de área. Quando comparando os dois manejos, a estatura de plantas foi  
177 superior no manejo 2CL+1CON comparado ao 3CL. Essa diferença na estatura de  
178 plantas não foi observada nas avaliações realizadas no momento da colheita, não  
179 sendo observada diferença entre as cultivares independente do herbicida aplicado e do  
180 manejo adotado, caracterizando a capacidade das plantas de recuperar-se.

181 A persistência de herbicidas do grupo das imidazolinonas por mais de um ano  
182 após a aplicação já havia sido relatada por autores como MOYER & ESAU (1996), que  
183 observaram que imazethapyr causa diminuição de produtividade em canola até dois  
184 anos após a aplicação, e três anos para batata e beterraba. Cabe destacar que o efeito  
185 residual dos herbicidas do grupo das imidazolinonas pode apresentar diferentes  
186 prejuízos a culturas não tolerantes, variando conforme o manejo da área, clima,  
187 umidade do solo, quantidade de herbicida aplicado, dentre outros fatores que

188 contribuem para a persistência de imazethapyr e imazapic no solo. Os danos  
189 registrados pelo residual desses herbicidas vão desde redução no estande da planta e  
190 da massa seca (RENNER et al., 1988; ZHANG et al., 2002; MATOCHA et al., 2003;  
191 VILLA et al., 2006), do tamanho das raízes (WIXSON & SHAW, 1992), até redução da  
192 produtividade (LOUX & REESE, 1993; ZHANG et al., 2002).

193

#### 194 CONCLUSÃO

195 Os resultados sinalizam que o cultivo de arroz irrigado após o uso do Sistema  
196 Clearfield® por dois anos requer, pelo menos, uma safra agrícola sem o uso do sistema,  
197 para evitar que o residual do herbicida Only® afete a produtividade do arroz não  
198 tolerante.

199 Quanto ao uso de herbicidas, quando retorna-se ao sistema convencional com  
200 cultivares não tolerantes, não foi verificada diferença de produtividade nem entre os  
201 herbicidas e nem entre as cultivares, porém na escolha do herbicida, deve-se levar em  
202 conta a rotação dos modos de ação de herbicidas.

203

#### 204 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 205 AVILA L., et al. Imazethapyr Aqueous Photolysis, Reaction Quantum Yield, and  
206 Hydroxyl Radical Rate Constant. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.  
207 2635 - 2639, 2006.
- 208 BALL, D.A., et al. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotational crops. **Weed**  
209 **Technology**, v.17, n.1, p.161-165, 2003.
- 210 COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive  
211 system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.

- 212 CHE M., et al. Effect of pH on Sorption and Desorption of Imazaquin and Imzethapyr on  
213 Clays and Humic Acid. **Journal Environmental Quality**, v.21, p. 698-703, 1992.
- 214 DONALD, W. Estimated corn yields using either weed cover or rated control after pre-  
215 emergence herbicides. **Weed Science**, vol. 54, n. 2, pag. 373-379, 2006.
- 216 LOPES, S. I. G. Arroz Irrigado: situação atual e perspectivas de uso de cultivares  
217 híbridas, transgênicas e mutadas. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ  
218 IRRIGADO; XXVI REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, Santa Maria, RS,  
219 2005 – **Anais...**, v.2, p.594-609.
- 220 LOUX, M. M.; REESE, K. D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of  
221 imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, n.2, p.452-458,1993.
- 222 KRAEMER, A.F. **RESIDUAL DA MISTURA FORMULADA DOS HERBICIDAS**  
223 **IMAZETHAPYR E IMAZAPIC EM ÁREAS DE ARROZ SOB DIFERENTES MANEJOS**  
224 **DE SOLO.** 2008. 65f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade Federal de  
225 Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- 226 MATOCHA, M. A et al. The persistence of imazapic in peanut (*Arachis hypogaea*) crop  
227 rotations. **Weed Technology**, v.17, p.325–329, 2003.
- 228 MOYER J.R and ESAU R. Imidazolinone Herbicide Effects on Following Rotational  
229 Crops in Southern Alberta, **Weed Technology**, v. 10, p. 100-106, 1996.
- 230 OTTIS, B.V., et al. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-  
231 tolerant rice (*Oriza sativa*). **Weed Technology**, v.17, n.3, p.526-533, 2003
- 232 RENNER, K.A. et al. Effect of tillage application method on corn (*Zea mays*) response to  
233 imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v.12, n.2, p.281-285, 1998.
- 234 SANTOS, F.M. **Alternativas de controle químico do arroz-vermelho e persistência**  
235 **dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone na água e no solo.** 2006. 73f.  
236 Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa  
237 Maria, 2006.
- 238 SOSBAI. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.  
239 **Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado**, 2005.159p.

- 240 SCIUMBATO, A. S., et al. Plant available imazethapyr in soil solution and red rice  
241 (*Oryza sativa* L.) efficacy as influenced by herbicide rate and soil moisture.. **Weed**  
242 **Science**, v.56, 351. 2003.
- 243 STEELE, G.L., et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O.*  
244 *sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.
- 245 VILLA, S.C.C., et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza*  
246 *sativa*) tolerante/resistente a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Revista Planta**  
247 **Daninha**, v. 24, n. 3, p. 549-555, 2006a.
- 248 VILLA, S.C.C., et al. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, fluxo  
249 gênico e efeito residual do herbicida em culturas sucessoras não-tolerantes. **Revista**  
250 **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 761-768, 2006b.
- 251 WIXSON, M. B., SHAW, D. R., Effect of soil-applied AC 263222 on crop rotated with  
252 soybean. **Weed technology**, v.6, p.276-279, 1992.
- 253 YORK, A. C., et al. Cotton response to imazapic and imazethapur applied to a preceding  
254 peanut crop. **The Journal of Cotton Science**. v.4, p.210-216, 2000.
- 255 ZHANG W., et al. Rice (*Oryza sativa*) response to rotational crop and rice herbicide  
256 combinations. **Weed Technology**, v.16, p.340–345, 2002.
- 257
- 258

**Tabela 1-** Produtividade de grãos, estande inicial de plantas e panículas por metro de quatro cultivares de arroz irrigado submetidas a cinco herbicidas pós-emergência em dois manejos de área de cultivo após o uso do Sistema Clearfield®. Santa Maria, RS. 2008.

Cultivar	Produtividade de grãos		Estande inicial		Número de panículas m <sup>-2</sup>	
	2 CL 1 NCL <sup>1</sup>	3 CL <sup>2</sup>	2 CL 1 NCL <sup>1</sup>	3 CL <sup>2</sup>	2 CL 1 NCL <sup>1</sup>	3 CL <sup>2</sup>
Tratamentos <sup>3,4</sup>	kg ha <sup>-1</sup>		número de plantas m <sup>-2</sup>			
BR-IRGA 409	A 8.795 <sup>ns</sup>	B 5.121 b	177 <sup>ns</sup>	153 <sup>ns</sup>	457 <sup>ns</sup>	342 <sup>b</sup>
IRGA 417	A 8.620	B 4.989 b	166	153	464	313 <sup>b</sup>
IRGA 422 CL	A 8.632	A 7.277 a	217	204	468	440 <sup>a</sup>
BRS 7 "TAIM"	A 8.609	B 5.088 b	182	172	452	301 <sup>b</sup>
Média	A 8.663	B 5.619	A 184	A 170	A 453	B 318
C.V. %	15,7		12,9		14,2	

<sup>1</sup>Área cultivada por dois anos com o Sistema Clearfield® (2003/04 e 2004/05) e um ano com o Cultivo Convencional (safra 2005/06); <sup>2</sup>Área cultivada por três anos consecutivos com o Sistema Clearfield® (2003/04, 2004/05 e 2005/06); <sup>3</sup>Aplicação em pós-emergência com o arroz no estádio V<sub>5</sub> (COUCE et al., 2000); <sup>4</sup>**Bispiribaque-sódico** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>; **Clomazone** na dose 300 g i.a. L<sup>-1</sup> + **Propanil** na dose de 1800 g i.a. L<sup>-1</sup>; **Cialofope-butílico** na dose de 270 g i.a. L<sup>-1</sup>; **Quincloraque** na dose de 375 g i.a. L<sup>-1</sup>; e **Penoxsulam** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>; <sup>ns</sup>Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; \* Médias seguidas de letra minúscula diferente na coluna e letra maiúscula diferente na linha diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 2** - Fitotoxicidade de herbicidas em quatro cultivares de arroz, em resposta à aplicação de cinco herbicidas pós-emergentes em dois manejos de área de cultivo. Santa Maria, RS. 2008.

Cultivar	Fitotoxicidade (%)					
	15 DAE <sup>1</sup>		21 DAE		40 DAE	
	2 CL 1 NCL <sup>2</sup>	3 CL <sup>3</sup>	2 CL 1 NCL <sup>2</sup>	3 CL <sup>3</sup>	2 CL 1 NCL <sup>2</sup>	3 CL <sup>3</sup>
<b>Tratamentos<sup>4,5</sup></b>						
Testemunha	----- <sup>6</sup>	-----	0 d	55 c	0 c	48 c
<i>Bispyribac_sodium</i>	-----	-----	28 ab	67 ab	19 a	60 a
Clomazone + Propanil	-----	-----	33 a	72 a	18 a	60 a
<i>Cyhalofop-butyl</i>	-----	-----	15 cd	59 bc	8 b	53 b
Quinclorac	-----	-----	23 c	64 bc	18 a	56 a
<i>Penoxsulam</i>	-----	-----	25 b	64 bc	18 a	59 a
<b>Média</b>	B 0	A 41	B 21	A 63	B 13	A 55
<b>C.V. %</b>	12,3		13,3		17,7	

<sup>1</sup> Avaliação realizada um dia antes do inicio da irrigação; <sup>2</sup> Área cultivada por dois anos com o Sistema Clearfield® (2003/04 e 2004/05) e um ano com o Cultivo Convencional (safra 2005/06); <sup>3</sup> Área cultivada por três anos consecutivos com o Sistema Clearfield® (2003/04, 2004/05 e 2005/06); <sup>4</sup>Aplicação em pós-emergência com o arroz no estádio V<sub>5</sub> (COUNCE et al., 2000); <sup>5</sup> ***Bispiribaque-sódico*** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>; ***Clomazone*** na dose 300 g i.a. L<sup>-1</sup> + ***Propanil*** na dose de 1800 g i.a. L<sup>-1</sup>; ***Cialofope-butílico*** na dose de 270 g i.a. L<sup>-1</sup>; ***Quincloraque*** na dose de 375 g i.a. L<sup>-1</sup>; e ***Penoxsulam*** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>; <sup>6</sup> Avaliação realizada antes da aplicação dos tratamentos. <sup>ns</sup>Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; \* Médias seguidas de letra minúscula diferente na coluna e letra maiúscula diferente na linha diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 3-** Estatura de plantas em quatro cultivares de arroz irrigado, referente à aplicação de cinco herbicidas pós-emergentes em dois manejos de área de cultivo. Santa Maria, RS. 2008.

Cultivar	Estatura de plantas			
	30 DAE <sup>1</sup>		Momento da colheita	
	2 CL 1 NCL <sup>2</sup>	3 CL <sup>3</sup>	2 CL 1 NCL <sup>2</sup>	3 CL <sup>3</sup>
<b>Cultivar</b> ----- cm -----				
BR-IRGA 409	22 ns	13 b	92 ns	86 ns
IRGA 417	23	12 b	90	85
IRGA 422 CL	25	27 a	88	84
BRS 7 "TAIM"	20	12 b	87	83
<b>Tratamentos</b> <sup>3,4</sup>				
Testemunha	24 ns	15 ns	85 ns	85 ns
<i>Bispiribac_sodium</i>	21	16	87	88
Clomazone + Propanil	22	15	87	85
<i>Cyhalofop-butyl</i>	22	17	88	85
Quinclorac	25	16	89	86
<i>Penoxsulam</i>	22	16	86	83
<b>Média</b>	A 23	B 16	A 88	A 85
<b>C.V. %</b>	13,6		4,5	

<sup>1</sup> Dias após a emergência das plantas. <sup>2</sup> Área cultivada por dois anos com o Sistema Clearfield® (2003/04 e 2004/05) e um ano com o Cultivo Convencional (safra 2005/06); <sup>3</sup> Área cultivada por três anos consecutivos com o Sistema Clearfield® (2003/04, 2004/05 e 2005/06); <sup>4</sup> Aplicação em pós-emergência com o arroz no estádio V<sub>5</sub> (COUNCE et al., 2000); <sup>5</sup> ***Bispiribaque-sódico*** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>; ***Clomazone*** na dose 300 g i.a. L<sup>-1</sup> + ***Propanil*** na dose de 1800 g i.a. L<sup>-1</sup>; ***Cialofope-butílico*** na dose de 270 g i.a. L<sup>-1</sup>; ***Quincloraque*** na dose de 375 g i.a. L<sup>-1</sup>; e ***Penoxsulam*** na dose de 48 g i.a. L<sup>-1</sup>; ns Teste F não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; \* Médias seguidas de letra minúscula diferente na coluna e letra maiúscula diferente na linha diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

## Época de aplicação de nitrogênio e de início da irrigação na fitotoxicidade causada pela aplicação de imidazolinonas em arroz tolerante

Nitrogen application and flood timing on injury caused by imidazolinone herbicide on tolerant rice

Luis Antonio de Avila<sup>I\*</sup> Diogo Machado Cezimbra<sup>II</sup> Enio Marchesan<sup>I</sup>  
Sérgio Luiz de Oliveira Machado<sup>III</sup> Martin Pasini<sup>II</sup> Cláudio Glier<sup>II</sup> Rafael Bruck Ferreira<sup>II</sup>

### RESUMO

O uso de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, em cultivares de arroz tolerantes, pode causar fitotoxicidade inicial nessas cultivares. Práticas integradas de manejo, como época de aplicação de nitrogênio e início da irrigação, podem reduzir a fitotoxicidade, acelerando a recuperação das plantas. Em vista disto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura e início da irrigação, visando a minimizar a fitotoxicidade, no arroz IRGA 422 CL, causada pelo herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr + imazapic (75+25g L<sup>-1</sup>), na dose de 1,25L ha<sup>-1</sup>, acrescido do adjuvante não iônico (Dash HC®), na concentração de 0,5% v/v. O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2005/06 e 2006/07, em Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), no delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema bifatorial (4x3) + 1, com quatro repetições. O fator A refere-se a épocas de início da irrigação por inundação (um, cinco, 10 e 15 dias após aplicação do herbicida - DAT) e o fator B, às épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura (1, 5 e 10DAT), mais uma testemunha não tratada com o herbicida. Na cultivar tolerante, a fitotoxicidade observada em plantas de arroz, após a aplicação do herbicida, é menor se a adubação nitrogenada em cobertura for realizada precocemente (até o quinto dia após a aplicação do herbicida) e a irrigação da lavoura for realizada no dia seguinte ao da aplicação do herbicida ou tardivamente (15DAT); não afetando a produtividade de grãos. A inundação tardia não é recomendável, pois pode favorecer a emergência de arroz vermelho em áreas infestadas.

**Palavras-chave:** arroz Clearfield®, irrigação, manejo, nitrogênio em cobertura.

### ABSTRACT

The use of imidazolinones herbicides in tolerant rice genotypes can cause injury to rice plant. Integrated management practices, such as, water and nitrogen management could be able to reduce this problem, either reducing the injury or speeding the recovery. For this reason, it was carried out a field experiment with the objective of evaluating the effects of flood and nitrogen topdressing application timing on the rice plant injury caused by the formulated mixture of the herbicides imazethapyr and imazapic (75 and 25g a.i. L<sup>-1</sup>) at 1.25L ha<sup>-1</sup>, in the IRGA 422 CL rice cultivar. The experiment was carried out on 2005/06 and 2006/07 growing season, in a lowland area in the city of Santa Maria, RS, Brazil. The experimental design was a randomized block in a factorial scheme (4x3)+1 with split plot and four replications. The factor A were the flood timing (1, 5, 10 and 15 days after herbicide application - DAT) and the factor B were the topdressing nitrogen application (1, 5 and 10DAT), plus an untreated check. The results showed that in the tolerant rice cultivar, the injury promoted by the use of the herbicide was lower when the nitrogen application was done earlier (until the 5<sup>th</sup> day after herbicide application) and the flooding was done on the day following the herbicide application or at 15 days after herbicide application, without impact on grain yield. But, regarding to the late flooding (15DAT), this is not a recommendable practice because it can favor the red rice emergence in infested areas.

**Key words:** Clearfield rice™, flooding management, nitrogen topdressing.

<sup>I</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: laavilab@gmail.com. \*Autor para correspondência.

<sup>II</sup>Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>III</sup>Departamento de Defesa Fitossanitária, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

## INTRODUÇÃO

O sistema Clearfield® é uma ferramenta eficiente para o controle do arroz vermelho (STEELE et al., 2002), que é a principal planta daninha na lavoura de arroz irrigado (ELEFTHERO HORINOS & DHIMA, 2002). Nesse sistema, são utilizados herbicidas do grupo das imidazolinonas em cultivares tolerantes. No Brasil, o herbicida utilizado é composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic. Esses herbicidas têm como mecanismo de ação a inibição da acetolactato sintase (ALS) ou acetoidróxido sintase (AHAS), primeira enzima da rota de síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada, isoleucina, leucina e valina (FONTANA et al., 2007).

As cultivares utilizadas nesse sistema foram obtidas por meio de mutação induzida pelo agente químico EMS (Etilmetasulfonato) e, em alguns genótipos, por segunda mutação induzida por raio gama (CROUGHAN et al., 1994). Assim, os genótipos disponíveis no mercado podem ser divididos em duas classes, o primeiro com tolerância e o segundo com tolerância avançada, com respostas diferenciadas à aplicação dos herbicidas (AVILA et al., 2005a). Os genótipos tolerantes podem sofrer dano de fitotoxicidade com as doses recomendadas do herbicida. Porém, o genótipo com tolerância avançada suporta doses acima da dose recomendada sem demonstrar sintomas de fitotoxicidade. Nas situações em que ocorre elevada fitotoxicidade em cultivares tolerantes (STEELE et al., 2002; PELLERIN & WEBSTER, 2004; VILLA et al., 2006b), pode resultar na redução da produtividade (STEELE et al., 2002; PELLERIN & WEBSTER, 2004).

A fitotoxicidade inicial dos herbicidas do grupo das imidazolinonas sobre cultivares de arroz tolerante tem sido demonstrada por vários autores (OTTIS et al., 2003; YOKOYAMA et al., 2003; VILLA et al., 2006a). Alguns fatores de manejo podem afetar a intensidade de fitotoxicidade, dentre eles, a época de início da irrigação por inundação, e a irrigação mais precoce possibilita menor injúria dos herbicidas e/ou recuperação mais rápida das plantas (DORNELLES et al., 2005; FLECK et al., 2003). Outra prática de manejo que pode influenciar a fitotoxicidade é a adubação nitrogenada. O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, podendo acelerar a recuperação de plantas sob efeito tóxico do herbicida. Pesquisas realizadas comprovaram a importância da adubação nitrogenada como fator de incremento de colmos e panículas por área e produtividade do arroz (GHOBRIAL, 1983; SINGH & PILLAI, 1996; MARIOT et al., 2003). Além disso, o nitrogênio desempenha papel

importante na formação dos órgãos reprodutivos e dos grãos do arroz (BARBOSA FILHO, 1987).

Em vista do exposto, torna-se importante avaliar a integração de práticas de manejo na redução da fitotoxicidade das imidazolinonas, em plantas de arroz, no sistema Clearfield®. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da época de aplicação de nitrogênio e da época do início da irrigação por inundação na redução da fitotoxicidade observada no arroz tolerante, após a aplicação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic ( $75 + 25\text{g L}^{-1}$ ).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras 2005/06 e 2006/07, em uma área de várzea sistematizada do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada em Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS). O solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico e pertence à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 1999). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema bifatorial ( $4 \times 3 + 1$ ), acrescido de uma testemunha não tratada com o herbicida. O fator A refere-se a épocas de início da irrigação por inundação (um, cinco, 10 e 15 dias após aplicação do herbicida - DAT) e o fator B, as épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura (1,5 e 10DAT), mais uma testemunha não tratada com o herbicida.

A semeadura foi realizada no sistema convencional, no ano agrícola 2005/06 e no sistema de plantio direto no ano agrícola 2006/07, sendo realizada, respectivamente, em 13/10/2005 e 14/10/2006. A adubação de base foi realizada com a aplicação de  $350\text{kg ha}^{-1}$  do adubo de fórmula NPK 5-20-20 ( $\text{N-P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ ). A cultivar 'IRGA 422CL' foi semeada na densidade de  $110\text{kg de sementes ha}^{-1}$ , com o auxílio de uma semeadora-adubadora contendo 11 linhas espaçadas de 0,17m. Após semeadura do arroz, foram construídas taipas de isolamento entre as parcelas.

Nos dois anos agrícolas, o herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic ( $75 + 25\text{ i.a. L}^{-1}$ ) foi aplicado na dose de  $1,25\text{L ha}^{-1}$ , em pós-emergência no estádio V<sub>4</sub> (OUNCE et al., 2000). Essa dose corresponde à dosagem recomendada acrescida de 25%, com os objetivos de promover a maior fitotoxicidade e expressar os efeitos dos tratamentos. Para a aspersão dos herbicidas, foi usado um pulverizador costal de precisão, pressurizado com  $\text{CO}_2$ , provido de uma barra contendo quatro pontas do tipo leque da série Teejet XR110.015,

espaçadas 0,50m, e calibrado para uma vazão de 125L ha<sup>-1</sup> de calda herbicida. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada na forma de uréia parcelada em duas épocas: a primeira (60kg ha<sup>-1</sup> de N) foi realizada conforme os tratamentos descritos anteriormente (um, cinco, 10 dias após a aplicação do herbicida) e a segunda (60kg ha<sup>-1</sup> de N) foi realizada na iniciação do primódio floral do arroz ( $R_0$ ) (COUNCE et al., 2000).

As variáveis avaliadas foram a avaliação visual de fitotoxicidade, realizada aos 16 e 23 (2005/2006) e aos 13, 20, 32 e 40 (2006/07) dias após a aplicação dos herbicidas (DAT), sendo utilizados os valores percentuais (BURRILL et al., 1976); o número de panículas m<sup>-2</sup> determinadas na colheita e a produtividade de grãos. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade da variância. As variáveis que não atenderam à pressuposição de normalidade, antes da análise da variância, foram transformadas para arco seno  $\sqrt{\%}/100$ . Após esses procedimentos, os dados foram submetidos à ANOVA, e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey e pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ), para contraste com a testemunha. Não houve interação entre os fatores para nenhuma das variáveis estudadas, por isso foram avaliados apenas os efeitos dos fatores principais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano agrícola 2005/06, a fitotoxicidade observada nas plantas de arroz, na avaliação realizada

aos 16DAT, foi menor no tratamento com início da irrigação no dia posterior à aplicação do herbicida (1DAT), não diferindo da inundação aos 15DAT. Já na avaliação realizada aos 23DAT não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando recuperação das plantas de arroz, com fitotoxicidade média de 4,5% (Tabela 1). No ano agrícola 2006/07, a fitotoxicidade observada na primeira avaliação (13DAT) também foi menor nos tratamentos com inundação precoce, não diferindo da inundação aos 15DAT. A partir da avaliação realizada aos 20DAT, houve menor fitotoxicidade, não havendo diferenças entre os tratamentos com relação à irrigação e demonstrando a rápida recuperação das plantas. Esses resultados são similares àqueles verificados por DAL MAGRO (2006), que observou recuperação de plantas de arroz que foram submetidas à deriva de imazethapyr e imazapic com inundação precoce. Os resultados corroboram também os resultados de PANIZZO (2008), o qual verificou menor fitotoxicidade em plantas pelo herbicida penoxsulan, nos tratamentos em que a entrada de água foi realizada um dia após a aplicação do herbicida.

A menor fitotoxicidade, nos tratamentos com a irrigação precoce, pode ser atribuída à diluição do herbicida na solução do solo (AVILA et al., 2005c) e também à alta mobilidade do herbicida (FIRMINO et al., 2008), podendo ser transportado para profundidades maiores no perfil do solo e posicionando-se muitas vezes abaixo da zona radicular do arroz. Nesse sentido, KRAEMER (2008) determinou que imazethapyr lixivia

Tabela 1 - Fitotoxicidade observada em plantas da cultivar de arroz 'IRGA 422 CL' após aplicação de 1,25L ha<sup>-1</sup> do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25g i.a. L<sup>-1</sup>), em resposta a épocas de aplicação de nitrogênio e inundação da lavoura. Santa Maria, RS, 2008<sup>1/</sup>.

Época de inundação	Fitotoxicidade (%)					
	2005/06			2006/07		
1 DAT	16DAT <sup>2/</sup>	23DAT	13DAT	20DAT	32DAT	40DAT
5 DAT	39,5 c <sup>3/</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	1,2 b*	5,0 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>
10 DAT	48,1 ab	5,4	13,0 a	3,8	3,4	1,5
15 DAT	51,7 a	7,1	15,6 a	3,3	2,7	2,3
	42,5 bc	3,3	7,4 ab	5,2	1,3	1,3
Época de aplicação de N						
1 DAT	45,8 <sup>ns</sup>	4,4 <sup>ns</sup>	10,3 <sup>ns</sup>	3,6 <sup>ns</sup>	0,3 b	0 b
5 DAT	43,1	5,3	7,8	5,3	2,3 ab	1,6 ab
10 DAT	47,5	3,8	10,4	4,1	3,4 a	3,7 a
Média	45,5	4,5	9,5	4,3	2,0	1,8
CV (%)	6,2	17,2	13,7	13,8	15,7	16,0

<sup>1/</sup> Antes da análise da variância, para fins de normalização da sua distribuição dos dados, os valores foram transformados para arco seno  $\sqrt{\%}/100$ .

<sup>2/</sup> Dias após a aplicação do herbicida (DAT).

<sup>3/</sup> ns Não significativo pelo teste F ( $P=0,05$ ).

até 20cm em solo de várzea, independentemente do sistema de cultivo. WIELEWICHI et al. (1998) afirmam que a antecipação do início da irrigação proporciona maior absorção de nutrientes e maior produção de massa seca na parte aérea, na planta de arroz, o que possibilitaria a recuperação mais rápida das plantas. Já a menor fitotoxicidade observada com irrigação tardia se deve provavelmente à degradação de parte do herbicida, que é realizada por microorganismos aeróbicos (SENSEMAN, 2007). Porém, o atraso na irrigação poderia ocasionar aumento da emergência de arroz vermelho se sementes destes estivessem presentes na área, reduzindo assim o potencial produtivo do arroz irrigado.

Com relação às épocas de aplicação de nitrogênio, em 2005/06, não houve diferença significativa entre os tratamentos nas primeiras avaliações (16 e 23DAT em 2005/06 e 13 e 24DAT em 2006/07); porém, no ano agrícola de 2006/07, as diferenças entre os tratamentos foram percebidas mais tarde. Dessa forma, no ano agrícola de 2006/07, nas avaliações de fitotoxicidade realizadas aos 32 e 40DAT, a aplicação precoce de nitrogênio (1 e 5DAT) proporcionou menor fitotoxicidade em plantas devido ao herbicida, demonstrando assim uma recuperação mais rápida que os demais tratamentos. Em trabalho realizado por LARROSA (2008), a aplicação de N, em diferentes estádios, promoveu efeito significativo no teor de clorofila, e as maiores concentrações foram obtidas nos tratamentos em que a aplicação foi realizada no estádio V<sub>4</sub>, o que pode ter influenciado a rapidez

com que as plantas se recuperaram do estresse causado pelo herbicida. Há evidências de que o herbicida imazethapyr inibe a atividade da enzima nitrato redutase, reduzindo a absorção de nitrato pelas raízes (ZABALZA et al., 2006). A inibição da absorção de nitrogênio é acompanhada pela redução do conteúdo de nitrogênio e concomitantemente pela inibição da translocação para a parte aérea da planta. Há também evidências que imazethapyr inibe a assimilação da amônia (SCARPONI et al., 1995). Assim, o suprimento precoce de nitrogênio, até o quinto dia após a aplicação do herbicida, pode compensar esses efeitos adversos no metabolismo do nitrogênio.

A precocidade da aplicação de nitrogênio, com a posterior inundação, reduz a fitotoxicidade das plantas de arroz pelo herbicida, pois ocorre a incorporação desse nutriente ao solo, aumentando a eficiência de seu uso e evitando as perdas por volatilização. Nesse sentido, LARROSA et al. (2001) reportam incrementos no acúmulo de nitrogênio total e do número de colmos m<sup>-2</sup>, quando a aplicação de nitrogênio foi seguida da inundação da área.

A produtividade de grãos não foi afetada pelas épocas de aplicação de nitrogênio ou pela época de início da irrigação (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por AVILA et al. (2005b), os quais verificaram que a produtividade do arroz não foi reduzida quando o início da irrigação ocorreu até os 14DAT. Porém, é necessário enfatizar que não ocorreu infestação de arroz-vermelho na área do experimento. Assim, é provável a obtenção de resultados diferentes

Tabela 2 - Produtividade de grãos e número de panículas de arroz m<sup>-2</sup> após aplicação de 1,25L ha<sup>-1</sup> do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25g i.a. L<sup>-1</sup>), em resposta a épocas de aplicação de nitrogênio e inundação da lavoura. Santa Maria, RS, 2008.

Época de inundação	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )			Panículas (número m <sup>-2</sup> )		
	2005/06	2006/07	Média	2005/06	2006/07	Média
1DAT <sup>1/</sup>	8602	6084	<sup>2/</sup> * 7343 <sup>ns</sup>	427	423	* 425 <sup>ns</sup>
5DAT	8509	6141	* 7325	388	437	* 413
10DAT	8642	5932	* 7287	435	406	* 421
15DAT	8574	6469	* 7521	431	422	* 427
Época de aplicação de N						
1DAT	8486	6322	* 7404 <sup>ns</sup>	447	440	* 443 <sup>ns</sup>
5DAT	8720	6238	* 7479	394	439	* 416
10DAT	8538	5910	* 7224	420	388	* 404
Média	8581	6157	7369	420	422	421
Testemunha	6380	2886	4.633	381	316	349
CV (%)			10,0			17,4

<sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F (P=0,05).

<sup>1/</sup> Dias após a aplicação do herbicida (DAT).

<sup>2/</sup> Médias precedidas por asterisco (\*) diferem da testemunha sem aplicação de herbicidas pelo teste de Dunnett P=0,05).

em áreas com alta infestação de arroz-vermelho, especialmente quando a irrigação for realizada tardiamente. Quando comparadas com a testemunha, as médias de produtividade para os dois anos agrícolas apresentaram diferença significativa, demonstrando redução do rendimento de grãos devido à competição com as plantas daninhas presentes na área da parcela testemunha. Isso ocorre também para o número de panículas por metro quadrado.

Apesar da fitotoxicidade inicial observadas nas plantas de arroz, não houve redução na produtividade de grãos, independentemente dos tratamentos testados. É importante destacar que a cultivar 'IRGA 422 CL' é tolerante às imidazolinonas e, quando as práticas de manejo na condução da lavoura são aquelas preconizadas, o arroz recupera-se mais rapidamente da fitotoxicidade inicial. Esse resultado é semelhante ao resultado obtido por OTTIS et al. (2003), os quais também reportam intensa fitotoxicidade decorrente da aplicação de imazethapyr em pós-emergência inicial, contudo sem efeito negativo na produtividade de grãos.

## CONCLUSÕES

A fitotoxicidade observada em plantas de arroz após a aplicação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25g L<sup>-1</sup>), na dose de 1,25L ha<sup>-1</sup>, é menor se a adubação nitrogenada em cobertura for realizada precocemente (até o quinto dia após a aplicação do herbicida) e a irrigação da lavoura for realizada no dia seguinte ao da aplicação do herbicida ou tardiamente (15DAT); não afetando a produtividade de grãos. Porém, a inundação tardia não é recomendável, pois pode favorecer a emergência de arroz vermelho em áreas infestadas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de recursos financeiros por meio dos editais PROADE 3 (processo n. 0523126) e Universal (processo n. 474677/2006-0), respectivamente. À Universidade Federal de Santa Maria, pela bolsa iniciação científica (FIPE/UFSM).

## REFERÊNCIAS

- AVILA, L. A. de, et al. Assessment of acetolactate synthase (ALS) tolerance to imazethapyr in red rice ecotypes (*Oryza sativa* spp.) and imidazolinone tolerant/resistant rice varieties (*Oryza sativa*). **Pest Management Science**, Inglaterra, v.61, n.2, p.171-178, 2005a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ps.966>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1002/ps.966.
- AVILA, L.A. de, et al. Effect of flood timing on red rice (*Oryza sativa* spp.) control with imazethapyr applied at different dry-seeded rice growth stages. **Weed Technology**, v.19, n.2, p.476-480, 2005b. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/abs/10.1614/WT-04-181>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1614/WT-04-181.
- AVILA, L.A. de, et al. Efeito da umidade do solo na sorção e disponibilidade de imazetapir em três solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005c. p. 511-513.
- BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado**. Piracicaba: Potafós, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
- BURRILL, L.C. et al. **Field manual for weed control research**. Corvallis: International Plant Protection Center, Oregon State University, 1976. 59p.
- 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. Disponível em: <<http://crop.scijournals.org/cgi/content/abstract/40/2/436>>. Acesso em: 16 abr. 2009.
- Croughan, T.P. Application of tissue culture techniques to the development of herbicide resistant rice. **Louisiana Agriculture**, v.37, p.25-26, 1994.
- DAL MAGRO, T. **Efeito de deriva simulada e época de aplicação do herbicida imazethapyr + imazapic no arroz irrigado (*Oryza sativa* L.)**. 2006. 65f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- DORNELLES, S. et al. Época de entrada de água: Influência na eficiência e seletividade do herbicida ONLY®. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. V.1, p.235-237.
- ELEFTHEROHORINOS, I.L.; DHIMA, K. V. Red rice (*Oryza sativa*) control in rice (*O. sativa*) with preemergence and postemergence herbicides. **Weed Technology**, v.16, n.3, p.537-540, 2002. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/0890-037X%282002%29016%5B0537%3ARROSCI%5D2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1614/0890-037X(2002)016[0537:RROSCI]2.0.CO;2.
- EMPRESA BRASILEIRADE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: 1999. 412 p.
- FIRMINO, L.E. et al. Movimento do herbicida imazapyr no perfil dos solos tropicais. **Planta Daninha**, v.26, n.1, p.223-230, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582008000100023&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582008000100023&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0100-83582008000100023 .
- FLECK, N.G. et al. Controle químico seletivo de angiquinho e arroz-vermelho em arroz irrigado utilizando o sistema Clearfield®. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú - SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.465-467.

FONTANA, L.C. et al. Controle de arroz-vermelho (*Oryza* sp.) com o herbicida nicosulfuron ou a mistura formulada de imazethapyr + imazapic. **Planta Daninha**, v.25, n.4, p.783-790, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582007000400015&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582007000400015&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0100-83582007000400015.

GHOBRIAL, G.L. Response of irrigated dry seeded rice to nitrogen level, interior spacing, and seeding rate in a semiarid environment. **International Rice Research Newsletter**, v.8, n.4, p.27-28, 1983.

KRAEMER, A.F. **Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em áreas de arroz sob diferentes tipos de solo**. 2008. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LARROSA, R.F. et al. Eficiência da aplicação de nitrogênio no perfilhamento do arroz em três manejos de irrigação. **Ciência Rural**, v.31, n.5, p.745-749, 2001. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782001000500001&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782001000500001&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0103-84782001000500001 .

LARROSA, R.F.M. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na suscetibilidade do arroz temperatura baixa na fase reprodutiva**. 2008. 77f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARIOT, C.H.P. et al. Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.233-241, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2003000200010&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2003000200010&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0100-204X2003000200010.

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. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WT02-104>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1614/WT02-104.

PANOZZO, L.E. **Ocorrência de Cyperaceae e manejo de plantas daninhas em lavoura de arroz irrigado**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PELLERIN, K.J.; WEBSTER, E.P. Imazethapyr at different rates and timings in drill- and water-seeded imidazolinone-tolerant rice. **Weed Technology**, v.18, n.2, p.223-227, 2004. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WT-03-005>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1614/WT-03-005.

SCARPONI, L. et al. Consequences on nitrogen metabolism in soybean (*Glycine max* L.) as a result of imazethapyr action on acetohydroxy acid synthase. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.43, n.3, p.809-814, 1995. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00051a047>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1021/jf00051a047.

SINGH, S.P.; PILLAI, K.G. Response of scented rice varieties to nitrogen. **Oryza**, Cuttack, v.33, n.3, p.193-195, 1996.

STEELE, G.L. et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/0890-037X%282002%29016%5B0627%3ACORROS%5D2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1614/0890-037X(2002)016[0627:CORROS]2.0.CO;2.

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**, v.24, n.4, p.761-768, 2006a. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582006000400017&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582006000400017&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0100-83582006000400017 .

VILLA, S.C.C. et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p.549-555, 2006b. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582006000300018&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582006000300018&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0100-83582006000300018 .

WIELEWICHI, A.P. et al. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de inicio de irrigação. **Ciência Rural**, v.28, n.1, p.17-22, 1998. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84781998000100003&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84781998000100003&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1590/S0103-84781998000100003 .

YOKOYAMA, S. et al. Obtenção de cultivares de arroz irrigado resistentes a herbicidas do grupo das imidazolinonas (arroz clearfield). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p.117-119.

ZABALZA, A. et al. Nitrogen assimilation studies using <sup>15</sup>N in soybean plants treated with imazethapyr, and inhibitor of branched-chain amino acid biosynthesis. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.54, n.23, p.8818-8823, 2006. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf0618224>>. Acesso em: 16 abr. 2009. Doi: 10.1021/jf0618224 .

# LIXIVIAÇÃO DE IMAZETHAPYR + IMAZAPIC EM FUNÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO DO ARROZ<sup>1</sup>

*Imazethapyr + Imazapic Leaching in Lowland Soil as Affected by Rice Irrigation Management*

MARTINI L.F.D.<sup>2</sup> AVILA, L.A.<sup>3</sup> SOUTO, K.M.<sup>4</sup> CASSOL, G.V.<sup>5</sup> REFATTI, J.P.<sup>5</sup> MARCHESAN, E.<sup>6</sup> e BARROS, C.A.P.<sup>7</sup>

**RESUMO** - Os herbicidas utilizados no sistema Clearfield® de arroz irrigado são persistentes e móveis no solo, portanto práticas de manejo podem influenciar na sua dinâmica no ambiente. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de três manejos de irrigação da cultura do arroz na lixiviação da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic, em solo de várzea. O experimento consistiu de um ensaio de campo seguido de um bioensaio. As coletas de amostras de solo foram feitas por meio da retirada de monolitos em áreas submetidas aos diferentes manejos de irrigação do experimento de campo. As amostras foram seccionadas em intervalos de 5 cm, até a profundidade de 30 cm. Os tratamentos foram compostos pelos manejos de irrigação por inundação contínua, intermitente e por banhos (fator A) e pelas profundidades do solo de 0 a 30 cm (fator B). Foi efetuada a comparação do crescimento de plantas de arroz não tolerantes aos herbicidas, cultivadas em solo submetido aos manejos de irrigação, com o crescimento das plantas em solo com quantidade conhecida dos herbicidas. A irrigação promoveu movimento vertical do herbicida, porém a diferença entre os manejos de irrigação apenas foi observada na camada superficial do solo (0-5 cm), com menores concentrações na irrigação por banhos. A mistura formulada do herbicida concentrou-se na camada de 5-20 cm de profundidade aos 134 dias após a aplicação.

**Palavras-chave:** bioensaio, estatura de plantas, intoxicação, irrigação intermitente.

**ABSTRACT** - The herbicides used in Clearfield™ rice technology are persistent and mobile in soil, and thus, management practices can affect its dynamics. The objective of this study was to determine the effect of three different rice irrigation managements on leaching of the formulated mixture of the herbicides imazethapyr and imazapic in lowland soil. This study consisted of a field experiment followed by bioassay. The bioassay was conducted in a greenhouse of the Department of Biology of the Universidade Federal de Santa Maria in 2009. Soil samples were collected from a field experiment submitted to different rice irrigation managements. These samples were sliced at 5 cm intervals up to 30 cm in depth. The treatments included three irrigation managements: continuous flooding, intermittent flooding and flush (factor A) and soil depth of 5 cm intervals, from 0 to 30 cm (factor B). The bioassay compared the growth of non-tolerant rice plants grown in soil subjected to the treatments described above, with the plants grown in soil with a known amount of herbicides. Irrigation promotes vertical movement of the herbicide, but the difference between irrigation management is only observed in the topsoil (0-5 cm), with flush being the treatment with the lower amounts of herbicide at this depth. The herbicide is concentrated at 5-20 cm depth, 134 days after the product is applied in lowland soil.

**Keywords:** bioassay, intermittent irrigation, injury, plant height.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 15.4.2010 e na forma revisada em 18.2.2011.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup> Doutorando(a), Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Bolsista CAPES;

<sup>3</sup> Professor Adjunto, Departamento de Fitossanidade, UFPel, Caixa Postal 354, 96010-900 Pelotas-RS, Brasil, bolsista CNPq, <laavilab@gmail.com>; <sup>4</sup> Doutorando(a), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista CAPES; <sup>5</sup> Mestrando(a), Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, UFPel, bolsista CAPES; <sup>6</sup> Professor Titular, Departamento de Fitotecnia, UFSM, bolsista CNPq; <sup>7</sup> Mestrando(a), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM, bolsista CAPES.



## INTRODUÇÃO

A tecnologia Clearfield® foi introduzida como uma ferramenta para o eficiente controle químico do arroz-vermelho, principal planta daninha das lavouras de arroz irrigado (Agostinetto et al., 2001; Villa et al., 2006; Santos et al., 2008), o que contribuiu para o acréscimo da produtividade média de grãos de arroz do Estado. Os herbicidas utilizados em tal tecnologia pertencem ao grupo químico das imidazolinonas, as quais possuem elevado risco de contaminação de águas subterrâneas devido ao seu prolongado efeito residual e alta solubilidade (Vischetti, 1995), com grande mobilidade no solo (Jourdan et al., 1998; Firmino et al., 2008).

Nesse grupo de herbicidas destaca-se o imazethapyr, cuja persistência é influenciada pelas características do solo, como textura, teor de matéria orgânica e umidade (Goetz, 1990), sendo diretamente dependente do metabolismo microbiano aeróbico - principal mecanismo de dissipaçāo das imidazolinonas no solo (Loux & Reese, 1993; Flint & Witt, 1997). Contudo, em condições de anaerobiose a sua degradação é praticamente nula (Mangels, 1991), caracterizando a maior persistência em solos hidromórficos, como os de várzea, podendo ocorrer efeito residual sobre o arroz suscetível mesmo após 361 dias da aplicação (Villa et al., 2006).

O sistema produtivo de arroz irrigado caracteriza-se pelo elevado volume de água utilizado para irrigação, variando de 6.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Machado et al., 2006) a mais de 11.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> por ciclo (Toescher et al., 1997), onde as plantas necessitam para o seu desenvolvimento (evapotranspiração) em torno de 4.000 a 7.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabbal et al., 2002). Essa demanda é reflexo da ocorrência de perdas por escoamento superficial, evaporação, fluxo lateral e percolação de água no solo (Stone, 2005). As perdas por percolação podem ser influenciadas por propriedades físicas do solo, largura e estado de consolidação e de conservação das taipas, preparo do solo e por cargas de pressão, decorrentes da altura da lámina de irrigação (Borrel et al., 1997; Tuong & Bhuiyan, 1999; Walker, 1999; Bouman & Tuong, 2001; Tabbal et al., 2002; Tuong et al., 2005). A percolação é considerada o principal componente das perdas de

água em solos arenosos, ocasionando o aumento da lixiviação de nutrientes (Stone, 2005) e, possivelmente, de agrotóxicos, proporcionando a contaminação de águas subterrâneas, as quais muitas vezes podem servir de fonte potável para o consumo humano.

A irrigação intermitente do arroz irrigado, além de manter elevados os níveis de produtividade quando comparada à irrigação contínua (Belder, 2004; Mezzomo, 2009), permite a economia de água para irrigação (Borrel et al., 1997; Stone, 2005; Mezzomo, 2009). A referida economia é proporcionada pelo melhor aproveitamento das precipitações (Borrel et al., 1997; Toescher et al., 1997) e pela diminuição das perdas por escoamento superficial (Stone, 2005; Watanabe et al., 2006, 2007; Mezzomo, 2009) e por percolação (Borrel et al., 1997; Tuong & Bhuiyan, 1999; Tabbal et al., 2002; Stone 2005; Tuong et al., 2005). Dessa forma, com a redução da percolação de água, pode haver menor lixiviação de agrotóxicos no solo e menor risco de contaminação de lençóis subterrâneos.

O manejo de irrigação da cultura do arroz pode afetar a lixiviação e a concentração dos herbicidas imazethapyr e imazapic ao longo do perfil do solo. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito de três manejos de irrigação do arroz na lixiviação dos referidos herbicidas em solo de várzea.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi composto por um experimento de campo, seguido de um bioensaio realizado em casa de vegetação.

**Experimento de campo:** Foi conduzido no ano agrícola de 2008/09 em sistema Clearfield® de arroz irrigado, na área de várzea sistematizada do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no sistema de semeadura direta. O solo é classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico Arênico, com classe textural franco-siltosa, com as seguintes características: pH<sub>água</sub> (1:1) = 5,1; teor de argila = 21%; teor de matéria orgânica = 1,9%; P = 18 mg dm<sup>-3</sup>; K = 36 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 4,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 1,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e índice SMP = 6,4.

O experimento foi organizado no delineamento inteiramente casualizado, com quatro

repetições. Os tratamentos foram compostos por três manejos de irrigação: manejo de irrigação por inundação contínua, intermitente e por banhos. Os dois primeiros foram instalados em área com histórico de utilização da tecnologia Clearfield (safra 2007-2008), aplicado 492 dias antes da coleta do solo do ano em questão. Todos os tratamentos receberam o correspondente a 1 L ha<sup>-1</sup> da mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. L<sup>-1</sup>, respectivamente), aspergido no estádio de V3-V4 aos 16 DAE. Logo após a aplicação, foi iniciada a irrigação. O manejo de irrigação por inundação contínua caracterizou-se pela manutenção de uma lámina de irrigação constante em 10 cm acima do nível médio do solo. Na irrigação intermitente, permitia-se a total evapotranspiração da lámina de irrigação (solo encharcado) e, a partir desse momento, fazia-se a reposição da lámina de irrigação novamente a 10 cm. O manejo de irrigação por banhos foi efetuado com irrigações de 30 mm de volume de água, o qual foi baseado nas condições meteorológicas da região, bem como no estádio fenológico da cultura e previsões de chuva; o requerimento diário de água foi calculado por meio do cálculo da evapotranspiração, pela equação de Penman-Monteith. Nos três tratamentos, a irrigação foi cessada quando as plantas de arroz se encontravam no estádio R7 (110 DAE), conforme escala fenológica proposta por Counce et al. (2000), totalizando um período total de 94 dias de irrigação.

Aos 134 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), foram coletadas amostras de solo com a finalidade de conduzir um bioensaio para determinação da concentração dos herbicidas ao longo do perfil. As referidas coletas foram feitas por meio da retirada de monolitos (amostras não deformadas de solo), com auxílio de tubos de PVC (10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento). O tubo de PVC foi introduzido no solo com auxílio de um batedor até a profundidade de aproximadamente 40 cm e, após, retirado do solo com auxílio de pá de corte, evitando a deformação da amostra. Logo após a remoção dos monolitos, estes foram seccionados em intervalos de 5 cm, até o correspondente a 30 cm de profundidade.

No experimento de campo foi monitorada a altura do lençol freático, o que foi feito através

da instalação de poços de observação, com a introdução de canos de PVC de 50 mm de diâmetro a 1 m de profundidade no solo. Esses poços foram usados para medição do lençol freático no manejo de irrigação por banhos. Já nos manejos de irrigação contínuo e intermitente foi considerada a altura da lámina de irrigação.

**Bioensaio:** As amostras de solo coletadas em campo foram usadas para realização de um bioensaio, usando o cultivar IRGA 417 como bioindicador do herbicida. O bioensaio foi conduzido no ano de 2009, em casa de vegetação do Setor de Herbologia do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Maria. O experimento foi arranjado em blocos completamente casualizados, com os tratamentos em esquema fatorial, com quatro repetições, em que o fator A consistiu no manejo de irrigação utilizado no experimento de campo (A1: manejo contínuo, A2: intermitente e A3: manejo por banhos); e o fator B consistiu das profundidades das amostras de solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 e 25-30 cm).

Foi construída uma curva de calibração em solo que não recebeu a aplicação do herbicida (sem resíduo), para cada profundidade considerada, com o intuito de eliminar o efeito do crescimento das plantas em solo de diferentes profundidades. Nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, foi aplicado o correspondente às doses de 0, 50, 100, 300, 500 e 800 mL ha<sup>-1</sup> da mistura formulada de imazethapyr e imazapic. Já nas profundidades de 15-20, 20-25 e 25-30 cm foi aplicado o herbicida nas doses de 0, 10, 25, 50, 200 e 500 mL ha<sup>-1</sup>. Foram aplicadas doses menores nas profundidades maiores, pois normalmente encontram-se menores quantidades de herbicidas nas profundidades de 15-25 cm (Kraemer et al., 2009). Para as curvas de calibração, foi ajustado um modelo sigmoidal de três parâmetros. Essas curvas foram usadas para estimar a quantidade de herbicida presente em cada profundidade (amostra do experimento de campo).

As amostras de solo, previamente seccionadas em 5 cm, provenientes das áreas tratadas ou da área sem tratamento com herbicida foram destorreadas e acondicionadas

em potes de 500 mL de capacidade. Foi adicionada água para desestruturação do solo e formação do lodo, para semeadura do arroz no sistema pré-germinado.

No solo utilizado para a curva de calibração, o herbicida foi aplicado com pipetas automáticas, retirando quantidades diferenciadas para cada dose de uma solução de 150  $\mu\text{L L}^{-1}$  de concentração da mistura formulada dos herbicidas. Após a aplicação do herbicida, o solo foi deixado em repouso por um período de 48 horas, para o equilíbrio de sorção do herbicida com o solo. Após esse período, seis sementes de arroz pré-germinadas foram semeadas em cada unidade experimental (UE), sendo feito desbaste uma semana depois da semeadura, deixando-se quatro plântulas por pote.

As sementes foram previamente tratadas com o inseticida fipronil na dose de 37,5 g i.a. por 100 kg de sementes. A adubação de base foi realizada anteriormente à semeadura, sendo feita a homogeneização em cada unidade experimental, com dose correspondente a 450 kg  $\text{ha}^{-1}$  de fertilizante de fórmula 05–20–30 (N-P-K). A adubação nitrogenada de cobertura foi efetuada quando o arroz irrigado encontrava-se no estádio de 3-4 folhas (V3-V4), com aplicação do equivalente a 70 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N, na forma de ureia, sobre lâmina de água.

Os parâmetros avaliados aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura do arroz irrigado foram: avaliação visual de intoxicação das plantas de arroz pelo herbicida, com notas variando de 0 (sem efeito do herbicida) a 100% (plantas mortas pela ação do herbicida), e estatura de plantas aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura (DAS). Essas respostas biológicas foram usadas para o cálculo da concentração do herbicida no solo, conforme descrito anteriormente.

Subamostras de solo de cada profundidade foram usadas para determinação do pH em água (1:1); a partir desses resultados, com base no pKa dos herbicidas (3,9) (Senseman, 2007), foi calculada a porcentagem de herbicida associada e dissociada, por meio da equação de Henderson-Hasselbach:

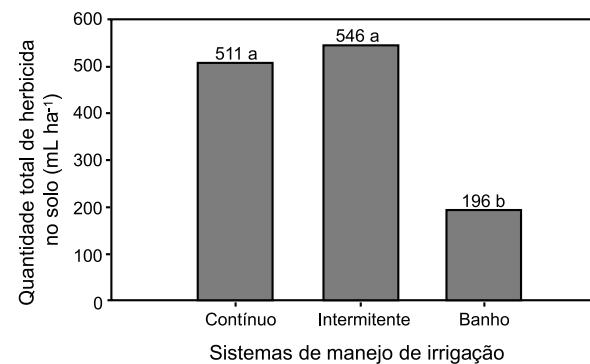
$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

em que  $\text{A}^-$  = porção dissociada; e  $\text{HA}$  = porção associada.

Os dados foram submetidos aos testes das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias) e logo submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os dados analisados seguiram a distribuição normal e não foi necessário transformação. Não houve diferença significativa entre os métodos de estimativa da quantidade total de herbicidas no solo (0 a 30 cm); dessa forma, os valores obtidos pela avaliação de estatura de plantas e pela avaliação visual de intoxicação foram combinados. Os resultados demonstraram que houve diferenças entre os manejos de irrigação para a variável quantidade total estimada de herbicida (Figura 1), com destaque para o manejo de irrigação por banhos, significativamente menor que os demais tratamentos. É válido ressaltar que nesse experimento de bioensaio é avaliado apenas o efeito da mistura formulada composta pelos herbicidas imazethapyr e imazapic, sem possibilidade de discriminação da concentração de cada princípio ativo, que compõem essa formulação.



\* Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 1** - Quantidade total estimada de herbicidas ( $\text{mL ha}^{-1}$ ) composta pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic ( $75 + 25$  g i.a  $\text{L}^{-1}$ ), no somatório das quantidades encontradas nas profundidades de 0 a 30 cm, aos 134 DAA, nos manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos de arroz irrigado. Santa Maria-RS. 2009.

A menor quantidade de herbicida encontrada no manejo de irrigação por banhos ocorreu porque esse tratamento foi inserido no segundo ano de cultivo, em área sem o histórico de aplicação dos herbicidas. Já os manejos de irrigação contínuo e intermitente receberam o herbicida por dois anos consecutivos (no ano anterior e no ano em questão) e, devido às condições anaeróbicas da área experimental durante o período de alagamento e entressafra (inverno chuvoso) anteriores à instalação do experimento, proporcionaram menor degradação e consequente maior quantidade estimada de herbicidas, em comparação ao tratamento que recebeu a aplicação dos herbicidas em apenas um ano.

A principal via de degradação das imidazolinonas ocorre principalmente pela ação de microrganismos aeróbicos, sendo praticamente nula em condições de anaerobiose (Mangels, 1991), promovendo elevada persistência dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solos hidromórficos com intoxicação verificada em arroz não tolerante semeado 361 dias após a aplicação (Villa et al., 2006).

Para avaliar o efeito do manejo de irrigação sobre o movimento vertical do herbicida, foi efetuada a análise da variância envolvendo os fatores manejos de irrigação (fator A) e profundidades no perfil do solo (fator B) para cada método de quantificação: estatura e avaliação visual de intoxicação de plantas pelo herbicida. Foi verificada interação significativa entre os fatores, sendo posteriormente efetuado o desdobramento da interação do fator profundidades, dentro de cada manejo de irrigação, separadamente para cada método de avaliação.

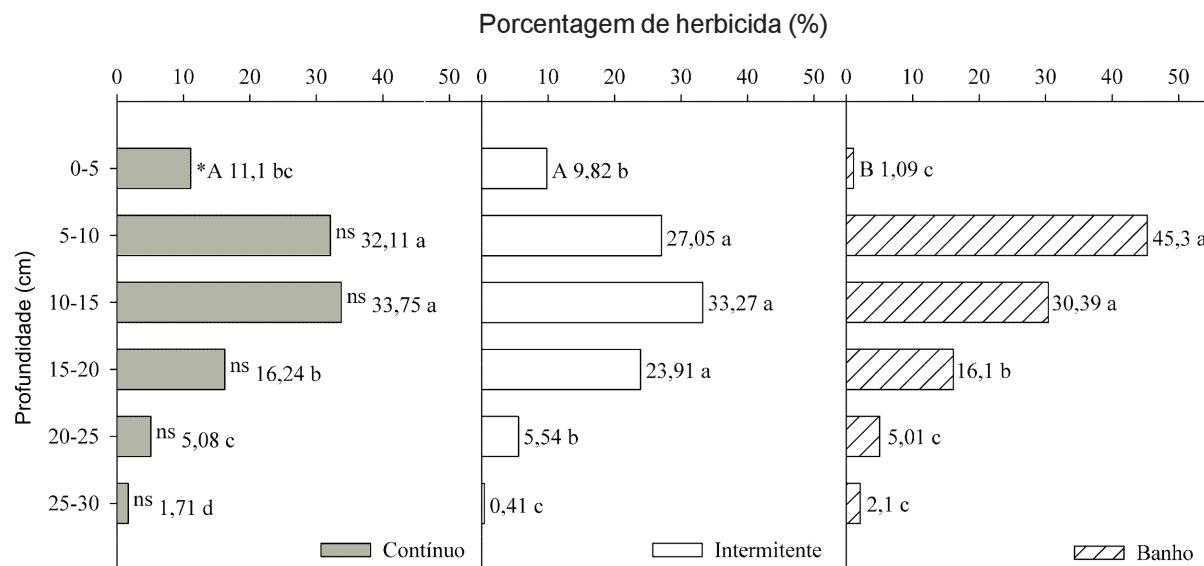
Para quantificação de herbicida a partir da análise da estatura de plantas, o total presente em cada amostra de solo estimada por meio da curva de calibração interagiou com os fatores manejos de irrigação e profundidade no perfil do solo, indicando que os manejos de irrigação apresentam comportamento diferenciado para profundidade (dados não mostrados). Os dados não foram mostrados, pois a comparação das quantidades de herbicidas entre tratamentos nas diferentes profundidades não é possível, visto que o manejo por banhos recebeu aplicação do herbicida apenas um ano, ficando com uma dose aplicada diferente

daquela observada nos manejos contínuo e intermitente. Além de a dose ser diferente, os herbicidas foram aplicados em épocas distintas. Assim, para fins de comparação, as concentrações nas diferentes profundidades foram transformadas para percentual de herbicida encontrado em cada profundidade, em relação ao total encontrado em cada parcela (Figura 2). Essa comparação servirá como subsídio para estimar o comportamento do movimento do herbicida nos três sistemas de manejo.

Houve diferença significativa entre os manejos de irrigação apenas na profundidade de 0-5 cm, em que o manejo por banhos apresentou menor concentração que os demais tratamentos. Esse comportamento pode ser atribuído à maior aeração do solo, devido à ausência da lâmina de irrigação, proporcionando condição adequada para a degradação microbiana aeróbica, que é a principal via de degradação desses herbicidas no solo (Mangels, 1991; Flint & Witt, 1997). Na comparação entre os manejos contínuo e intermitente, não se verificou diferença na profundidade de 0-5 cm, pois a condição de alagamento dos dois tratamentos proporcionou condição anaeróbica, sendo a degradação das imidazolinonas praticamente bastante baixa, conforme supracitado.

A menor quantidade de herbicida na camada superficial do manejo de irrigação por banhos, além da ausência de residual, pode ser relacionada à maior oscilação do nível do lençol freático (Figura 3), demonstrando que a elevação do lençol freático a cada evento de irrigação e/ou chuva pode promover movimento ascendente do herbicida juntamente com a água ou por arraste pelas forças de evaporação, colocando-o numa região com condições ideais para degradação microbiana, devido à maior aeração e temperatura (Wik & Reinhardt, 2001).

A maior quantidade de herbicida nos manejos de irrigação contínuo e por banhos localizou-se na camada de 5-15 cm, com 66 e 76% da quantidade total encontrada, respectivamente. Quanto ao manejo intermitente, a maior concentração de herbicidas localizou-se na camada de 5-20 cm, com 84% do total encontrado. Esses resultados foram semelhantes aos observados por Jourdan (1998),



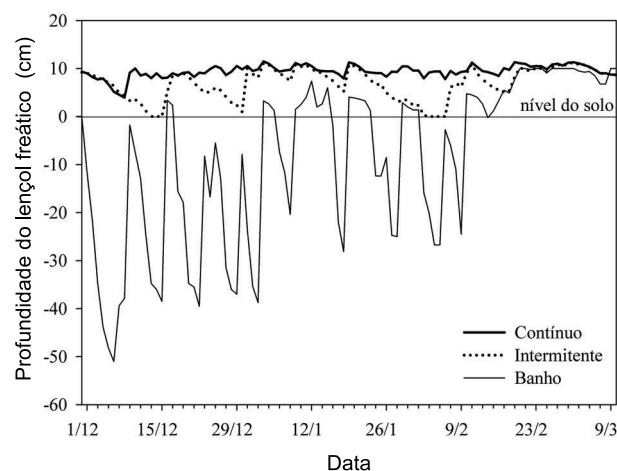
\* Médias antecedidas por letras maiúsculas distintas na linha (manejos) e seguidas por distintas letras minúsculas na coluna (profundidades) diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 2** - Porcentagem de herbicidas imazethapyr e imazapic encontrada aos 134 DAA em diferentes profundidades do solo, nos manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos de arroz irrigado, estimada com base na avaliação de estatura de plantas. Santa Maria-RS. 2009.

que, em bioensaio com colunas de solo, observou a maior concentração de imazethapyr na camada de 0-15 cm, e aos dados de Kraemer et al. (2009), os quais concluíram que a maior quantidade de herbicida é encontrada na camada de 5-15 cm de profundidade, em área cultivada sob plantio direto, demonstrando que, mesmo em solos hidromórficos de baixa condutividade hidráulica, o herbicida imazethapyr lixivia até 20 cm. Além disso, Jourdan (1998) demonstrou que o herbicida imazethapyr, após cinco dias de sua aplicação e ocorrência de chuva moderada, foi detectado a 15-20 cm de profundidade, podendo alcançar até 30 cm, depois de 30 dias.

No que se refere às concentrações de herbicidas estimadas a partir da avaliação visual de intoxicação das plantas, foi verificada interação somente entre os fatores manejos de irrigação e profundidades, sendo somente feita a análise do movimento vertical do herbicida em cada manejo de irrigação. Para fins de comparação, conforme supracitado, as concentrações de herbicida nas profundidades foram transformadas para percentual do total encontrado (Figura 4), porém não houve diferença

entre tratamentos em nenhuma das profundidades avaliadas. Semelhantemente aos resultados obtidos por meio da avaliação de estatura de plantas, a maior concentração de herbicidas se deu na camada de 5-15 cm, com 72%; na camada de 5-20 cm, com 86%; e na

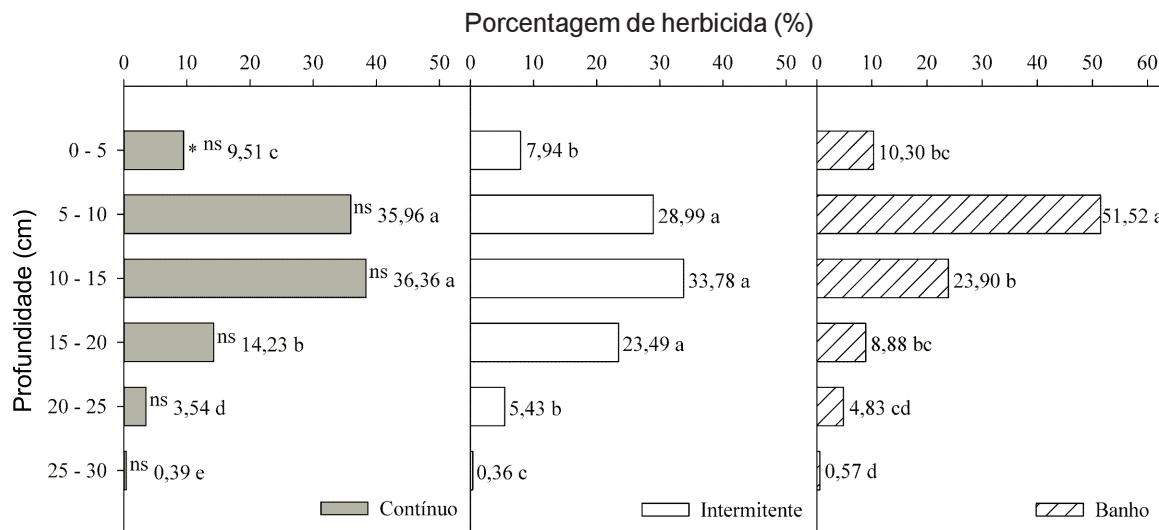


**Figura 3** - Profundidade do lençol freático, nos manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos de arroz irrigado. Santa Maria-RS. 2009.

camada de 5-10 cm, com 51% do total encontrado, para os manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos, respectivamente. Esses resultados mostram que há estreita relação entre as avaliações de estatura e a avaliação visual de intoxicação das plantas, demonstrando consistência dos resultados; isso caracteriza uma adequada e econômica metodologia para estudos relacionados à

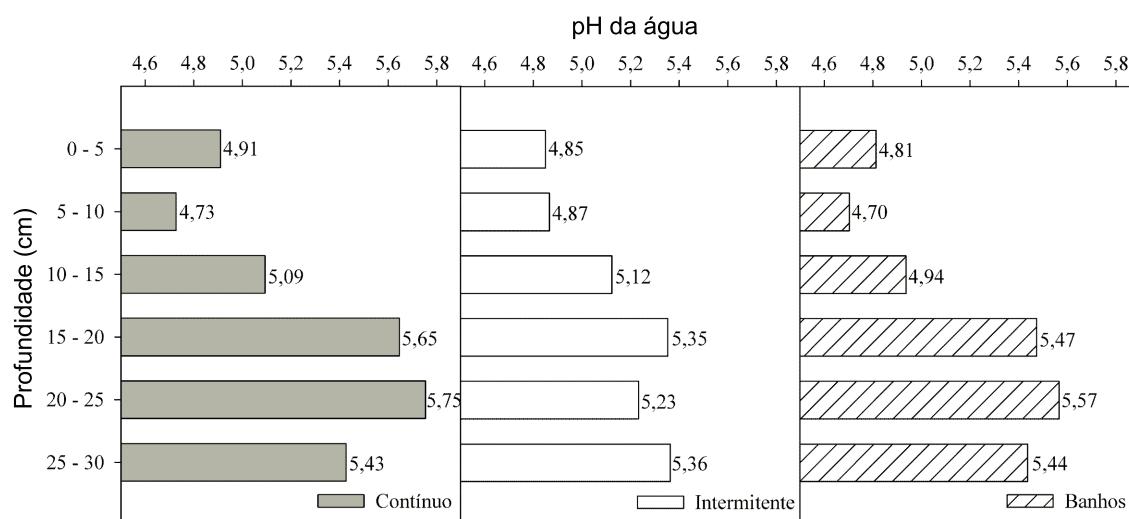
persistência de moléculas de imidazolinonas em solos de cultivo de arroz irrigado.

Conforme mencionado, a dinâmica dos referidos herbicidas no solo é muito influenciada pelo pH. No entanto, verifica-se que os níveis de pH encontrados nas diferentes profundidades (Figura 5) são relativamente uniformes, não afetando significativamente

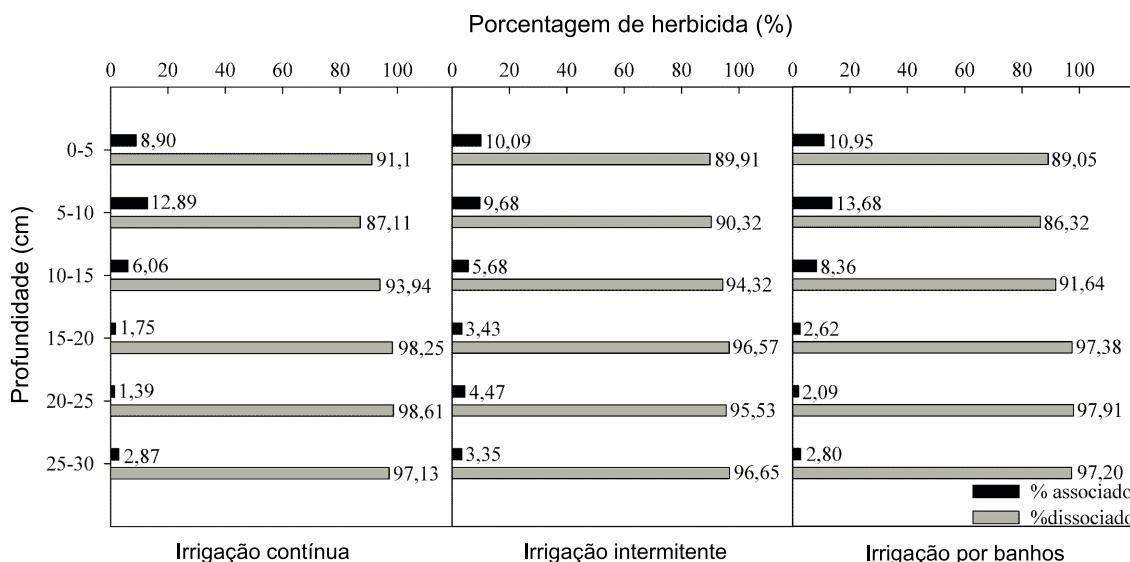


\* Médias não antecedidas pela mesma letra minúscula diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Figura 4** - Porcentagem de herbicidas imazethapyr e imazapic encontrada aos 134 DAA em diferentes profundidades do solo, nos manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos de arroz irrigado, estimada com base na avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida. Santa Maria-RS. 2009.



**Figura 5** - pH do solo em água em diferentes profundidades no perfil aos 134 DAA, nos manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos de arroz irrigado. Santa Maria-RS. 2009.



**Figura 6** - Porcentagem de herbicida associado e dissociado com base na equação de Henderson-Hasselbach para diferentes profundidades, nos manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos de arroz irrigado. Santa Maria-RS. 2009.

seu movimento vertical no solo, pois nos diferentes tratamentos a porcentagem de herbicida dissociado não é inferior a 87, 89 e 86% para os manejos de irrigação contínuo, intermitente e por banhos, respectivamente (Figura 6).

O efeito da altura da lámina de irrigação dos diferenciados manejos sobre a lixiviação dos herbicidas em estudo pode ser mais pronunciado em solos com a camada compactada profunda e permeável (Bouman et al., 1994), o que não se verificou no presente estudo, no qual havia uma camada semi-impermeável a 15 cm de profundidade, também chamada de “pé de arado” ou “hardpans”. Essas camadas semi-impermeáveis podem limitar o movimento tanto de nutrientes quanto de agrotóxicos para porções mais profundas (Wik & Reinhardt, 2001).

O herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic concentra-se na camada de 5-20 cm de profundidade aos 134 dias após a aplicação do produto em solo de várzea, indicando ser possível de movimentação ao longo do perfil do solo, apresentando potencial de contaminação do lençol freático. A irrigação, independentemente de como manejada, promoveu movimento vertical do herbicida, porém apenas foi observada diferença entre os manejos de irrigação na

camada superficial do solo (0,5 cm), evidenciando o favorecimento de sua degradação microbiana aeróbica no manejo de irrigação por banhos.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa de Luis Avila e Enio Marchesan e pelo financiamento do experimento através do Edital MCT/CNPq 14/2008 - Universal, processo 471403/2008-3-Universal. À CAPES, pela bolsa de Mestrado de Luiz Fernando Martini e Kelen Müller Souto. À Universidade Federal de Santa Maria, pela disponibilidade de sua estrutura e viabilização das pesquisas realizadas. Ao professor Sylvio Bidel Dornelles, pelo empréstimo da casa de vegetação para condução do ensaio. Ao Engº-Agrº, M.Sc. Rafael Friguetto Mezzomo, pela sua colaboração para a realização do experimento de campo.

## LITERATURA CITADA

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

BELDER, P. et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agric. Water Manag.*, v. 65, n. 3, p. 193-210, 2004.

- BORRELL, A.; GARSIDE, A.; FUKAI, S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crop Res.*, v. 52, n. 3, p. 231-248, 1997.
- BOUMAN, B. A. M. et al. Water use efficiency of flooded rice fields. II. Percolation and seepage losses. *Agric. Water Manag.*, v. 26, n. 4, p. 291-304, 1994.
- BOUMAN, B. A. M.; TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manag.*, v. 49, n. 1, p. 11-30, 2001.
- COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. *Crop Sci.*, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.
- FIRMINO, L. E. et al. Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. *Planta Daninha*, v. 26, n. 1, p. 223-230, 2008.
- FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. *Weed Sci.*, v. 45, n. 4, p. 586-591, 1997.
- GOETZ, A. et al. Degradation and field persistence of imazethapyr. *Weed Sci.*, v. 38, n. 4-5, p. 421-428, 1990.
- JOURDAN, S. W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. *Weed Sci.*, v. 46, n. 5, p. 608-613, 1998.
- KRAEMER, A. F. et al. Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. *Ci. Rural*, v. 39, n. 6, p. 1660-1666, 2009.
- LOUX, M. M.; REESE, K. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinones herbicides. *Weed Technol.*, v. 7, n. 2, p. 452-458, 1993.
- MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil: a review of the literature. In: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. (Eds.). *The imidazolinone herbicides*. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 191-209.
- MACHADO, S. L. O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial de arroz irrigado. *Ci. Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 65-71, 2006.
- MEZZOMO, R. F. Irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado: uso de água, eficiência agronômica e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- SANTOS, F. M. et al. Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. *Planta Daninha*, v. 26, n. 4, p. 875-881, 2008.
- SENSEMAN, S. A. (Ed.). *Herbicide handbook*. 9.ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.
- STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 48 p.
- TABBAL, D. F. et al. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. *Agric. Water Manag.*, v. 56, n. 2, p. 93-112, 2002.
- TOESCHER, C. F.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. *R. Fac. Zootec. Vet. Agron.*, v. 4, n. 1, p. 75-79, 1997.
- TUONG, T. P.; BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. *Agric. Water Manag.*, v. 40, n. 1, p. 117-122, 1999.
- TUONG, T. P.; BOUMAN, B. A. M.; MORTIMER, M. More rice, less water – Integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. *Plant Produc. Sci.*, v. 8, n. 3, p. 231-241, 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*, v. 24, n. 4, p. 761-768, 2006.
- VISCHETTI, C. Measured and simulated persistence of imazethapyr in soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, v. 54, n. 3, p. 420-427, 1995.
- WALKER, S. H. Causes of high water losses from irrigated rice fields: Field measurements and results from analogue and digital models. *Agric. Water Manag.*, v. 40, n. 1, p. 123-127, 1999.
- WATANABE, H. et al. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. *Agric. Water Manag.*, v. 88, n. 1-3, p. 132-140, 2007.
- WATANABE, H.; KAKEGAWA, Y.; VU, S. H. Evaluation of the management practice for controlling herbicide runoff from paddy fields using intermittent and spillover-irrigation schemes. *Paddy Water Environ.*, v. 4, n. 1, p. 21-28, 2006.
- WYK, L. J. V.; REINHARDT, C. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. *Weed Sci.*, v. 15, n. 3, p. 1-6, 2001.