

# ATIVIDADE RESIDUAL DE (IMAZETHAPYR+IMAZAPIC) SOBRE AZEVÉM ANUAL (*Lolium multiflorum*), SEMEADO EM SUCESSÃO AO ARROZ IRRIGADO, SISTEMA CLEARFIELD®<sup>1</sup>

*Residual Activity of (Imazethapyr+Imazapic) on Ryegrass (Lolium multiflorum), Following Clearfield® Rice*

PINTO, J.J.O.<sup>2</sup>, NOLDIN, J.A.<sup>3</sup>, ROSENTHAL, M.D.<sup>4</sup>, PINHO, C.F.<sup>5</sup>, ROSSI, F.<sup>6</sup>, MACHADO, A.<sup>7</sup>, PIVETA, L.<sup>7</sup> e GALON, L.<sup>8</sup>

RESUMO - Este trabalho teve por objetivo avaliar a atividade residual da mistura comercial (imazethapyr+imazapic) sobre azevém semeado em sucessão em áreas antes cultivadas com arroz Clearfield® (CL) por um, dois ou três anos consecutivos. Os experimentos foram conduzidos em campo, no município de Capão do Leão, RS. O arroz cv. IRGA 422 CL foi considerado cultura principal, e o azevém, variedade indefinida, cultura sucessora. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial, em que o fator A, dentro da mesma safra, comparou resíduos de (imazethapyr+imazapic) em um, dois e três anos de cultivo de arroz CL, e o fator B avaliou o efeito de dose sobre a atividade residual do herbicida. Os blocos foram constituídos por quatro unidades experimentais, que haviam recebido a mistura (imazethapyr+imazapic) nas doses de 0; 25+75; 37,5+112,5; e 50+150 g ha<sup>-1</sup>, acrescidos de Dash a 0,5% v/v. A análise conjunta dos dados, gerados nos três ambientes (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>), acusou interação entre dose herbicida (imazethapyr+imazapic) e ambientes para as variáveis-resposta estatura de plantas e rendimento biológico. Para as variáveis peso de grãos e poder germinativo, as diferenças ocorreram somente entre as doses do herbicida. Os resultados demonstram que todas as variáveis-resposta avaliadas foram alteradas negativamente pela presença de resíduos da mistura (imazethapyr+imazapic) no solo, sendo maiores as injúrias com o incremento da dose. Foi observado que o cultivo de arroz irrigado no sistema CL deixa resíduos dos herbicidas (imazethapyr+imazapic) no solo, capazes de causar danos ao azevém cultivado em sucessão. Além disso, o sistema de sucessão envolvendo o arroz CL e azevém requer intervalos superiores a 180 dias entre a aplicação inicial do herbicida na primeira cultura e a semeadura do cultivo sucessor.

**Palavras-chave:** arroz-vermelho, arroz Clearfield®, imidazolinonas, persistência no solo.

*ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate the residual activity of the prepackage mix of the herbicide Only (imazethapyr+imazapic) in a Clearfield (CL) rice production system during one, two or three rice seasons. The study was carried out in the field at Centro Agropecuário da Palma/ Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, southern Brazil. Ryegrass (**Lolium multiflorum**) was planted after CL rice, cv. IRGA 422 CL. CL rice was considered as the main crop (summer) and ryegrass was planted following CL rice. The experimental design was a randomized complete block, with four replications. The treatments were arranged as a factorial: factor A, during the same season, compared herbicide residues during one, two or three years of CL rice and factor B, for herbicide rates. Herbicide (imazethapyr+imazapic) was applied at (0; 25+75; 37,5+112,5; 50+150) g ha<sup>-1</sup> with surfactant Dash being added at 0.5% v/v. The results showed interaction*

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 28.10.2008 e na forma revisada em 21.8.2009.

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup>-Agr<sup>a</sup>, Dr., Prof. da Faculdade de Agronomia da UFPel, campus Capão do Leão, Caixa Postal 354, 96010-900 Pelotas-RS, <jesus Pinto@terra.com.br>; <sup>3</sup> Eng<sup>a</sup>-Agr<sup>a</sup>, Ph.D. Pesquisador da EPAGRI; <sup>4</sup> Eng<sup>a</sup>-Agr<sup>a</sup>, Dra., UFPel; <sup>5</sup> Eng<sup>a</sup>-Agr<sup>a</sup>, aluna do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal – UFPel; <sup>6</sup> Aluno do curso de Agronomia UFPel; <sup>7</sup> Professor, Dr., do Dep. de Matemática e Estatística, UFPel; <sup>8</sup> Eng<sup>a</sup>-Agr<sup>a</sup>, Dr., aluno do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia – DFT/UFV.



between CL rice seasons and the herbicide rate for the variables plant height and biomass. All variables tested were affected by herbicide (imazethapyr+imazapic) residue and the effect was more severe at higher rates. Grain weight and germination percentage were only affected by the herbicide rates. The results showed also that the residue of herbicides (imazethapyr+imazapic) applied to CL rice may stay in the soil and affect ryegrass plants cultivated following CL rice. CL rice production system with herbicides (imazethapyr+imazapic) requires periods longer than 180 days for planting ryegrass as a successional crop.

**Keywords:** red rice, Clearfield® rice, imidazolinones, soil persistence.

## INTRODUÇÃO

O azevém anual (*Lolium multiflorum*) é uma gramínea anual originária do Mediterrâneo, inicialmente cultivada na Lombardia (Araújo, 1967). Após a introdução na América do Norte, conseguiu boa aceitação junto aos pecuaristas, onde, devido à sua qualidade forrageira e fácil adaptabilidade, foi disseminada, mundialmente, sobretudo em países com regiões de clima temperado. A sua introdução no Brasil, em especial no Estado do Rio Grande do Sul (RS), ocorreu em meados do século passado. Hoje, está adaptada e é encontrada sob a forma de pastagem cultivada ou natural em todas as zonas fisiográficas do Estado, em diferentes sistemas agrossilvopastoris.

O azevém é uma das pastagens anuais de inverno mais cultivadas em sucessão com as culturas de verão. Após a colheita do arroz, a gramínea vem ocupando as áreas, integrando o processo de rotação do cereal com as pecuárias de corte ou leiteira – sistema amplamente utilizado nas áreas de várzea do RS. Nos períodos sujeitos à presença de geadas e às baixas temperaturas, o azevém substitui com vantagem as espécies nativas (Lupatini et al., 2007), permitindo um crescimento adequado dos animais na pecuária de corte (Rocha et al., 2003).

Segundo Zhang et al. (2002), a sucessão e rotação de cultivos são componentes vitais da agricultura moderna. A adoção dessas práticas por parte dos agricultores é considerada decisão inteligente, uma vez que a monocultura pode promover um declínio na produtividade da maioria dos cultivos. Esses autores também mencionam que no sudeste dos EUA o arroz é amplamente cultivado em rotação com outros cultivos importantes, destacando, entre eles, a soja (*Glycine max*), o sorgo (*Sorghum bicolor*) e

o algodão (*Gossypium hirsutum*). Vários herbicidas utilizados nas culturas de sequeiro podem persistir por algum tempo no solo, mas sem causar injúrias que venham a afetar a produtividade da cultura do arroz. Contudo, destacam restrições à rotação do arroz com culturas tratadas com fluometurom, imazethapyr, metolachlor e norflurazon, em razão do longo período de atividade no solo desses herbicidas (Zhang et al., 2002).

Diversos herbicidas que apresentam longa atividade residual no solo vêm sendo utilizados em larga escala no Brasil. Esses compostos, dependendo de sua estrutura química e das condições edafológicas e climáticas, podem não ser completamente degradados durante o ciclo da cultura principal, deixando resíduos indesejáveis no solo, os quais podem afetar a cultura subsequente e comprometer o ambiente (Silva et al., 1999). Destacam-se o grupo químico das triazinas, com intenso uso na cultura do milho, e o das imidazolinonas, para as culturas da soja, do milho e do arroz, podendo causar prejuízos a espécies sensíveis semeadas em sucessão à cultura tolerante (Briguenti et al., 2002). O risco de intoxicação às culturas devido à presença de resíduos de herbicidas de longa persistência desses grupos deve ser considerado para as áreas orizícolas do RS. Segundo levantamento realizado pela BASF junto às distribuidoras de agrotóxicos na safra 2007/08, a utilização de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, registrados ou não para a cultura do arroz, atingiu área superior a 500 mil hectares (IRGA, 2008).

O herbicida imazethapyr pode ser aplicado em pré-semeadura e incorporado ao solo no sistema convencional, em pré-semeadura no sistema de plantio direto e em pós-emergência (Hart et al., 1991). O imazethapyr aplicado em pós-emergência controla plantas estabelecidas

e mantém atividade residual que previne fluxos sucessivos de plantas daninhas, mostrando um controle efetivo no sistema de semeadura direta, tão bom quanto no sistema convencional (Masson & Webster, 2001). Também tem sido utilizado em aplicações sequenciais nas culturas de amendoim e arroz cultivado no sistema Clearfield® (Sensemann, 2007).

A ligação desse herbicida ao solo é fraca e a adsorção aumenta com o decréscimo do pH; sua dissipação é altamente influenciada pela matéria orgânica, acidez do solo, temperatura e umidade, tendo como principal fonte de degradação os microrganismos, sob condições aeróbicas (Mangels, 1991; Ahrens, 1994). A degradação microbiana de herbicidas no solo depende da estrutura química do composto, dos sistemas enzimáticos de degradação, da quantidade e do nível de atividade dos microrganismos influenciados pela umidade, temperatura, concentração de oxigênio, pH e nutrientes do solo (Flint & Witt, 1997). Os mesmos autores destacam que a degradação de imazethapyr sofre acréscimo a partir do conteúdo de 15 a 25% de umidade no solo. A persistência no solo, com atividade herbicida, dos compostos do grupo das imidazolinonas é variável com o produto, com a dose e com as condições ambientais (Silva et al., 1999), com destaque para os valores de pH do solo (Renner et al., 1988; Marsh & Loyd, 1996; Tracy & Penner, 2005), temperatura (Flint & Witt, 1997) e umidade do solo (Goetz et al., 1990; Curran et al., 1992).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a atividade residual da mistura comercial

(imazethapyr+imazapic) na cultura de azevém semeado em sucessão sobre áreas antes cultivadas com arroz Clearfield® por um, dois ou três anos consecutivos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em campo, em área experimental do Centro Agropecuário da Palma (CAP), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no município de Capão do Leão-RS, alocados em três áreas contíguas cultivadas num sistema de sucessão de azevém, em solo, com um, dois e três anos de cultivos sucessivos de arroz Clearfield®. Como as três áreas experimentais receberam diferentes repetições de um, dois e três anos de aplicação de herbicidas, doravante elas serão denominadas, respectivamente, de ambientes (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>). O solo foi identificado como de estrutura franca (Vieira & Vieira, 1983) e classificado como Planossolo Háplico Eutrófico solódico, pertencente à Unidade de Mapeamento Pelotas (Embrapa, 2006), cujas características químicas foram determinadas no laboratório da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Os resultados da análise química serviram de diagnóstico para os procedimentos de correção e manutenção de fertilidade, realizadas conforme as recomendações, aplicados à cultura do arroz (SOSBAI, 2007).

Inicialmente, foi implantada a cultura do arroz, sistema Clearfield® de arroz irrigado, envolvendo a cv. IRGA 422 CL, com a aplicação em pós-emergência do herbicida Only®

**Tabela 1** - Diagnóstico para calagem do solo

Registro	pH (água)	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)		Índice SMP
		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					Al	Bases	
Amostra	5,0	1,8	0,7	1,0	3,0	3,6	29	46	6,3

**Tabela 2** - Diagnóstico para recomendação de adubação NPK

Registro	% Mat. Org. (m/v)	Argila (%)	Textura	P-Mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )	P-Resina	CTC Ph 7 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	K (mg dm <sup>-3</sup> )
Amostra	1,2	16	4,0	11,4	---	5,5	17



**Tabela 3** - Diagnóstico para S, micronutrientes e relações molares

Registro	S	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações			
	(mg dm <sup>-3</sup> )							Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/(Ca+Mg)
Amostra	X	0,9	1,0	---	13	17	17	2,5	43,6	17,8	0,027

**Tabela 4** - Análise granulométrica das amostras

Registro	Granulometria (%)			
	Argila	Silte	Areia	Argila dispersa em água
Amostra	15,44	41,38	43,19	9,61

(imazethapyr+imazapic). O azevém (*Lolium multiflorum*), variedade indefinida, foi semeado em sucessão ao arroz para servir como espécie bioindicadora.

O arroz Clearfield® foi cultivado no ambiente A<sub>1</sub> somente na safra 2005/06; no ambiente A<sub>2</sub>, nas safras de 2004/05 e 2005/06; e no ambiente A<sub>3</sub>, nas safras de 2002/03, 2003/04 e 2004/05. O arroz foi semeado, em cada ambiente, em sistema convencional somente no primeiro ano de cultivo. A partir daí, o sistema utilizado foi o de semeadura direta, enquanto o azevém, cultura sucessora ao arroz, foi semeado após a primeira safra de cada experimento, sobre a resteva do arroz, sem utilização de qualquer tipo de revolvimento de solo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial, em que o fator A, dentro da mesma safra, comparou resíduos de (imazethapyr+imazapic) em repetições de anos de cultivo de arroz Clearfield®, e o fator B avaliou o efeito de dose na atividade residual do herbicida. O delineamento também proporcionou o estudo do comportamento da atividade residual dos herbicidas, entre as safras de 2003 (S<sub>1</sub>), 2004 (S<sub>2</sub>) e 2005 (S<sub>3</sub>), dentro do ambiente A<sub>3</sub>. As unidades experimentais constaram de parcelas de 15 m<sup>2</sup> (5,0 x 3,0 m), com área útil de 8,8 m<sup>2</sup>. As parcelas foram delimitadas por taipas, com as finalidades específicas de proteger os tratamentos de possíveis contaminações com os tratamentos adjacentes e manter no arroz o

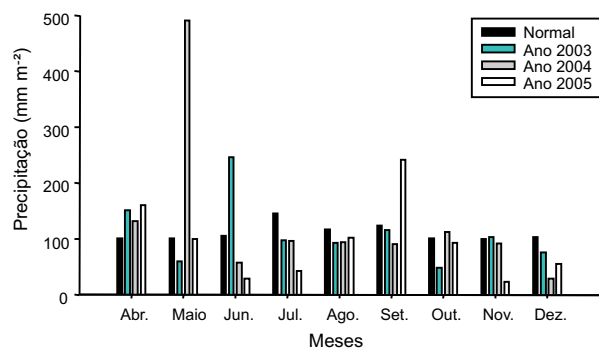
nível desejado da água de irrigação. Os blocos foram constituídos por quatro unidades experimentais, individualizadas, com a mistura dos herbicidas (imazethapyr+imazapic) nas doses de 0; 25+75; 37,5+112,5; e 50+150 g ha<sup>-1</sup>, cujas somas de ingredientes ativos corresponderam a 0, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de (imazethapyr+ imazapic), acrescidos de Dash a 0,5% v/v, que é um adjuvante constituído por uma mistura de ésteres metílicos com 93% de hidrocarbonetos aromáticos. Os herbicidas foram aplicados em pós-emergência nas três safras, quando o arroz se encontrava em estádios fenológicos V<sub>3</sub>-V<sub>4</sub> (SOSBAI, 2007). Utilizou-se um pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub>, munido de quatro bicos do tipo leque (110.02), à pressão constante de 210 kPa e volume de calda herbicida equivalente a 160 L ha<sup>-1</sup>. A irrigação permanente do arroz foi mantida a partir do 6<sup>o</sup>, 7<sup>o</sup> e 11<sup>o</sup> dia após a aplicação dos tratamentos herbicidas, respectivamente nas safras de 2002/03, 2003/04 e 2004/05. Nos ambientes A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, nos quais se repetiu mais de um cultivo de arroz, manteve-se o croqui e o sorteio dos tratamentos do primeiro ano.

O azevém foi semeado a lanço, manualmente, sobre a resteva do arroz, em 2/5/2003, 6/5/2004 e 14/5/2005, respectivamente nos ambientes A<sub>3</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>1</sub>. As ressemeaduras do azevém ocorreram de forma natural nos anos de 2003 e 2004 no A<sub>3</sub>, e no A<sub>2</sub>, somente em 2005.

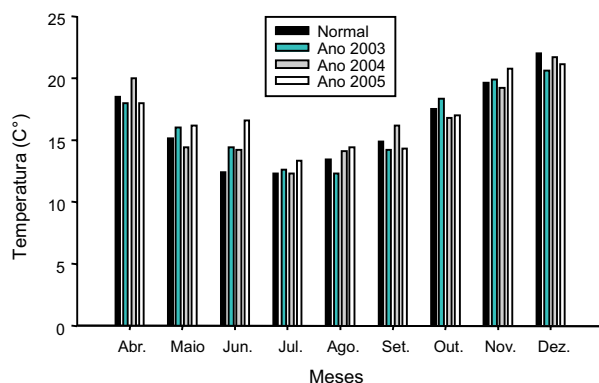
Os dados climáticos, relativos à precipitação pluvial (Figura 1), à temperatura (Figura 2) e à evaporação (Figura 3) do período, foram registrados pela Estação Meteorológica da Embrapa/ETB, que fica situada a uma distância aproximada de 4 km da área experimental.

As variáveis-resposta estudadas nas plantas de azevém foram: altura de planta, massa seca da parte aérea (MSA), peso de mil sementes (P1000) e poder germinativo (PG) da

semente. Os dados referentes à altura de planta foram tomados a partir do colo da planta até o ápice da panícula, medidas em centímetros (cm), quando 90% delas se encontravam em fase de grão leitoso. Esses dados foram obtidos em amostras de 20 plantas por repetição, selecionadas ao acaso em cada uma das oito unidades experimentais. A massa seca da parte aérea do azevém foi avaliada nos três ambientes ( $A_3$ ,  $A_2$  e  $A_1$ ), dentro da mesma safra, e entre safras ( $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ ), dentro de um único ambiente. Os dados para esta variável foram gerados a partir da massa seca de plantas, em estágio de grão leitoso, contidas em  $1,0 \text{ m}^2$  de área amostrada, ao acaso, em cada parcela e transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$ .



**Figura 1** - Precipitação pluvial, em mm, observada na Estação Agroclimatológica da Embrapa/ETB, situada a 4 km da área onde foi conduzido o experimento. Capão do Leão-RS – 2007.

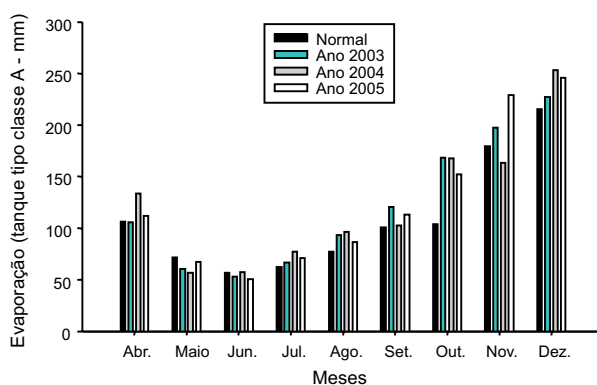


**Figura 2** - Temperatura média (°C) mensal no período de condução do experimento, observadas na Estação Agroclimatológica da Embrapa/ETB. Capão do Leão-RS – 2007.

Para determinar o P1000 de azevém, foram tomadas ao acaso oito amostras de 100 sementes, conforme Brasil (1992); depois de pesadas em balança analítica e obtidos os valores de massa (gramas), os dados foram transformados em peso médio de mil sementes para cada uma das oito repetições por tratamento.

Para obtenção dos dados referentes ao PG, foram tomadas sementes ao acaso e submetidas ao teste-padrão de germinação (Brasil, 1992), utilizando-se quatro repetições de 100 sementes ( $4 \times 100$ ) para cada unidade experimental. A seguir, procedeu-se à semeadura, em rolo de papel germitest umedecido na proporção de 2,5:1 (volume de água: peso seco do papel). Posteriormente, os rolos foram acondicionados em câmara de desenvolvimento biológico (BOD) à temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . A avaliação foi realizada através de contagem das plântulas normais, aos 7 e 14 dias após a semeadura (DAS), sendo os dados transformados para valores percentuais médios do PG da semente de cada uma das oito repetições por tratamento.

Os dados gerados no experimento foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ). Nas situações em que ocorreu significância, o resultado dos efeitos causados pelos fatores ambiente e herbicida foi avaliado por modelos de regressão polinomial (Machado & Conceição, 2007).



**Figura 3** - Evaporação em Tanque Classe "A" (mm), observada na Estação Agroclimatológica da Embrapa/ETB. Capão do Leão-RS – 2007.



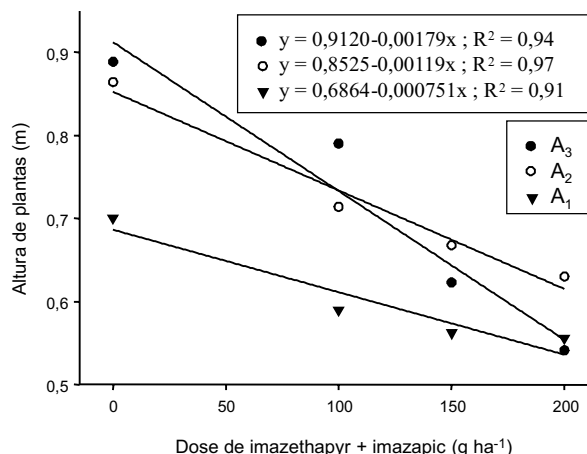


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos dados, gerados nos três ambientes ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ), mostrou interação entre dose herbicida e ambiente para as variáveis-resposta altura de plantas e MSA. Para as variáveis P1000 e PG, as diferenças ocorreram somente na atividade herbicida. O comportamento do azevém, apresentado através da MSA, também mostrou interação entre safras ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) e resíduos dentro do mesmo ambiente ( $A_3$ ).

Os dados relativos à altura de planta encontram-se representados por equações lineares (Figura 4), para os ambientes  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ . Os valores obtidos para altura de plantas mostraram que essa variável foi alterada negativamente pela atividade residual da mistura (imazethapyr+imazapic) proporcionalmente à dose, porém com respostas diferenciadas entre os ambientes. O crescimento de plantas, em altura, foi menor à medida que ocorreu incremento da dose. A dose de  $100 \text{ g ha}^{-1}$  de (imazethapyr+imazapic) deixou resíduos no solo em quantidade suficiente para reduzir em 7,51, 11,9 e 17,9 cm a altura de planta do azevém, respectivamente nos ambientes  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ . Também foi observado que acréscimos de  $50 \text{ g ha}^{-1}$  à dose de  $100 \text{ g ha}^{-1}$  de (imazethapyr+imazapic) reduziram a estatura de planta do azevém em 17, 21 e 29%, respectivamente nos ambientes  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ . Também foi observado que o maior percentual de redução na altura de plantas ocorreu do  $A_1$  para o  $A_3$ . Esses resultados indicam que o uso continuado da mistura desses herbicidas no sistema Clearfield® pode resultar em acréscimo de resíduos do herbicida no solo. A redução na altura das plantas é uma das características que tem se mostrado sensível à ação de herbicidas do grupo das imidazolinonas (Fleck & Vidal, 1994; Gazziero et al., 1997; Silva et al., 1999).

Comportamento semelhante em relação à atividade residual de compostos do grupo químico das imidazolinonas sobre esta variável também foi observado em plantas de milho (Gazziero et al., 1997). Esses autores observaram menor estatura de planta nas culturas de milho, comparativamente ao tratamento testemunha, quando as plantas bioindicadoras foram semeadas após a colheita da soja,



**Figura 4** - Altura de plantas de azevém, semeadas em solos tratados com diferentes doses do herbicida Only® (imazethapyr+imazapic), em rotação (uma, duas ou três safras) com arroz Clearfield®. CAP-UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.

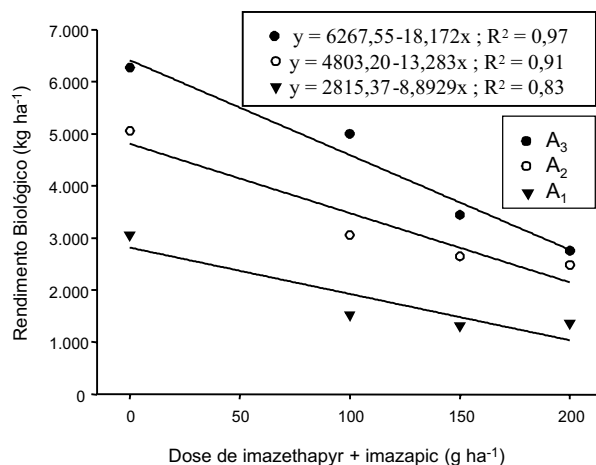
cinco meses após a aplicação de imazethapyr ( $200 \text{ g ha}^{-1}$ ). Em outro estudo para determinar o período de permanência, no solo, de herbicidas do grupo das imidazolinonas, foi demonstrado que as culturas de sorgo e milho têm suas taxas de crescimento reduzidas quando semeadas em sucessão à cultura da soja até 150 dias após a aplicação de imazethapyr, nas doses de  $100$  e  $150 \text{ g ha}^{-1}$  (Silva et al., 1999). Nesse mesmo trabalho, os resultados também apontaram um decréscimo nos valores representativos da estatura de plantas de sorgo e milho quando a dose do herbicida, aplicado na cultura da soja, foi elevada de  $100$  para  $150 \text{ g ha}^{-1}$ . Estudando o comportamento de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, Briguenti et al. (2002) mostraram que imazaquin e imazethapyr apresentam efeitos residuais longos, podendo alterar negativamente cultivos em sucessão/rotação, como a soja, quando plantas daninhas tiverem sido controladas com esses herbicidas.

Os dados obtidos para a MSA são mostrados nas Figuras 5 e 6. Os valores médios de massa da MSA por ambiente (Figura 5), obtidos em mesma estação de crescimento, são apresentados sob a forma de equações lineares, acompanhadas dos gráficos correspondentes. Os resultados mostram que, assim como na altura de planta, a atividade residual no solo de (imazethapyr+imazapic) também pode

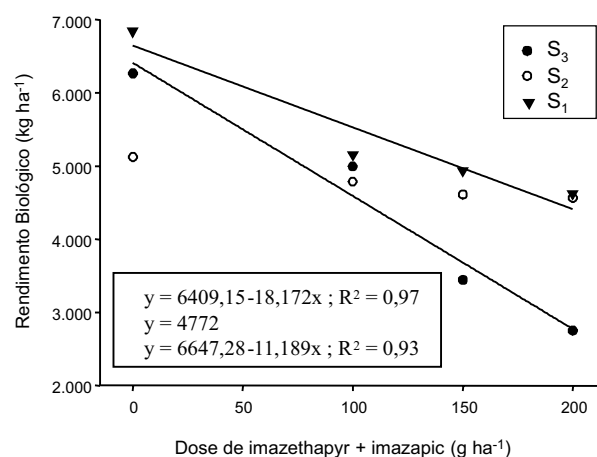
ser observada através do acúmulo de MSA. Os resíduos que restaram de  $100 \text{ g ha}^{-1}$  de (imazethapyr+imazapic) reduziram a MSA do azevém em 28,99, 27,65 e 31,58%, respectivamente nos ambientes  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ . Os resultados observados para essa variável discordam dos obtidos por Villa et al. (2006), que, ao realizarem estudos com culturas não tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, observaram que a massa seca do azevém, semeado em sucessão ao arroz Clearfield®, não foi alterada negativamente pela atividade residual de (imazethapyr+imazapic). Entretanto, os autores atribuíram esses resultados ao excesso de palha de arroz-vermelho no tratamento testemunha, o qual interferiu negativamente no crescimento e desenvolvimento do azevém. O emprego de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas em cultivares de arroz tolerante tem mostrado seletividade para a cultura e elevada eficácia no controle de plantas daninhas suscetíveis (Ottis et al., 2003). Contudo, há poucas informações sobre a atividade residual desses herbicidas nas culturas semeadas em sucessão ao arroz, principalmente em pastagens cultivadas. Os resultados encontrados nesta pesquisa corroboram os de outros estudos, como aqueles realizados por Silva et al. (1999), os quais constataram forte inibição na produção de massa seca da parte aérea e da raiz do sorgo

semeado aos 60 dias após a aplicação de imazethapyr, ou, ainda, os estudos realizados por Alister & Kogan (2005) com 11 culturas, semeadas aos 300 dias após a aplicação dos herbicidas, em que nove delas tiveram a produção de biomassa reduzida pela ação residual de (imazapyr+imazapic) ou (imazapyr+imazethapyr).

Neste trabalho, observou-se que, para cada  $50 \text{ g ha}^{-1}$  de acréscimo, a dose de  $100 \text{ g ha}^{-1}$  de (imazethapyr+imazapic) reduziu em 445, 617 e  $909 \text{ kg ha}^{-1}$  o acúmulo de massa seca do azevém, respectivamente nos ambientes  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ . Todavia, quando a dose dos herbicidas correspondeu ao dobro da recomendada ( $200 \text{ g ha}^{-1}$ ) na mesma ordem de ambientes, os rendimentos foram reduzidos em 1.778, 2.456 e  $3.754 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 5). Esses resultados, com relação a doses e à atividade residual das imidazolinonas sobre o acúmulo da MSA das plantas sensíveis, se assemelham aos de outras pesquisas que estudaram o comportamento desses herbicidas para essa variável. Entre elas, encontra-se a realizada por Silva et al. (1999), onde os autores relatam que o dobro da dose recomendada do herbicida imazethapyr causou inibição do crescimento quando a cultura do sorgo foi semeada até 120 DAA, com decréscimos no acúmulo de MSA de 32,71 e 65,40%, respectivamente para as doses de 100 e  $200 \text{ g ha}^{-1}$ . O aumento da



**Figura 5** - Massa seca da parte aérea das plantas de azevém, semeadas em solos tratados com diferentes doses do herbicida Only® (imazethapyr+imazapic), em rotação (uma, duas ou três safras) com arroz Clearfield®. CAP-UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.



**Figura 6** - Massa seca da parte aérea das plantas de azevém, semeadas em solos tratados com diferentes doses do herbicida Only® (imazethapyr+imazapic), em área antecedida por uma ( $S_1$ ), duas ( $S_2$ ) e três ( $S_3$ ) safras com arroz Clearfield®. CAP-UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.



atividade residual, com acréscimos na dose, dos produtos do grupo químico das imidazolinonas tem sido observado na maioria das pesquisas que estudam o comportamento desses herbicidas no solo (Monks & Banks, 1991; Fleck & Vidal, 1994; Alister & Kogan, 2005).

Já com relação aos resultados sobre o acúmulo de MSA, gerados somente no  $A_1$  (Figura 6), a análise estatística dos dados indicou efeito herbicida e interação entre dose e safras ( $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ ) de cultivo do azevém. Os resultados mostram que os rendimentos biológicos do azevém, em  $S_1$  e também em  $S_3$ , tiveram comportamento semelhante ao apresentar menor massa à medida que foi aumentada a dose do herbicida, enquanto em  $S_2$  o rendimento biológico não foi alterado estatisticamente, nem mesmo quando foi incrementada a dose do herbicida. Também foi observado que a dose de  $100 \text{ g ha}^{-1}$  de (imazethapyr+imazapic), aplicada à cultura de arroz irrigado, deixou resíduos no solo em quantidade suficiente para reduzir o rendimento biológico do azevém em  $1.119$  e  $1.817 \text{ kg ha}^{-1}$ , cujas quantidades de massa corresponderam a perdas de produtividade de  $16,83$  e  $28,35\%$ , respectivamente nas safras  $S_1$  e  $S_3$ . Diante dos resultados observados, pode-se supor que modificações nas condições ambientais entre as diferentes safras seguramente interferiram na velocidade de degradação e na mobilidade do herbicida no perfil do solo. O maior índice pluviométrico observado na  $S_2$  (Figura 6) pode ter mantido, durante o período, um adequado nível de umidade no solo para a formação de um ambiente favorável à atividade microbiana e, conseqüentemente, acelerado a decomposição dos herbicidas. O conteúdo de umidade no solo, dentro de uma faixa adequada, tem sido relatado como um dos fatores determinantes na velocidade de decomposição dos compostos químicos, utilizados na agricultura, que tenham na atividade microbiana a principal fonte de degradação (Savage, 1978; Zimdahl, 1984; Choi et al., 1988). Estudos realizados por Flint & Witt (1997) sobre a degradação microbiana de imazaquin e imazethapyr observaram persistência prolongada desses herbicidas com umidade no solo a  $25\%$  da capacidade de campo, ao passo que a maior velocidade de degradação, medida pela produção de  $\text{CO}_2$ , foi encontrada com  $75\%$  da capacidade de campo.

Por outro lado, também pode ser considerado que a pressão da lâmina d'água de irrigação, mantida por um período de três meses no arroz, tenha lixiviado os herbicidas para segmentos de solo mais distanciados da superfície, seguindo-se após a drenagem do elevado índice pluviual que os manteve fora de alcance do sistema radical do azevém. Ao se sustentar essa hipótese, deve-se também admitir que os herbicidas lixiviados em solos sujeitos a condição de elevado nível de precipitação nos períodos de entressafras do arroz Clearfield® podem permanecer numa faixa de perfil de solo em que a aerobiose seja insignificante ou bastante reduzida. Nesse caso, eles não deverão ser absorvidos em quantidade suficiente para causar danos significativos a culturas sensíveis que possuam sistema radical mais superficial – é a situação do azevém, nas condições ambientais ocorrentes em  $S_2$ .

Já em  $S_1$  e  $S_3$ , o azevém apresentou acúmulo de MSA completamente diferenciado de  $S_2$ . Entretanto, essas duas safras mostraram comportamento semelhante para essa variável, ou seja, as produções de massa seca responderam na razão inversa e proporcional aos incrementos na dose de (imazethapyr+imazapic). Quando a dose utilizada na cultura do ano anterior foi de  $200 \text{ g ha}^{-1}$  de (imazethapyr+imazapic), as reduções no acúmulo de MSA do azevém foram de  $33,68$  e  $56,7\%$ , respectivamente para  $S_1$  e  $S_3$ . A maior atividade residual do herbicida (imazethapyr+imazapic) pode ser atribuída ao período de baixas temperaturas (Figura 2) que normalmente se sucedem à colheita do arroz e à quase totalidade do ciclo do azevém, somadas aos baixos índices pluviométricos (Figura 1) observados para  $S_1$  e  $S_3$ , em relação a  $S_2$ . A maior atividade residual herbicida observada nessas duas safras pode ser atribuída a condições ambientais reinantes durante a maior parte do período compreendido pela emergência, crescimento e desenvolvimento do azevém. Esses resultados corroboram outros encontrados por Flint & Witt (1997), em que foi observado que a degradação de compostos do grupo químico das imidazolinonas pode ser limitada, sobretudo pelo baixo conteúdo de umidade no solo.

No entanto, ao se comparar a atividade residual herbicida entre  $S_1$  e  $S_3$ , observa-se



um declínio de rendimento biológico mais acentuado em S<sub>3</sub>, indicando maior presença do herbicida. A maior atividade herbicida detectada pela planta indicadora (azevém) em S<sub>3</sub> pode ser atribuída à sobrecarga de herbicida que a área experimental recebeu ao longo das três safras, somando-se às condições desfavoráveis à decomposição dos herbicidas em S<sub>2</sub>. A soma desses fatores pode ter permitido que um percentual do produto, não decomposto em S<sub>2</sub>, tenha se mantido com atividade no solo e se acumulado no herbicida aplicado ao arroz que antecedeu a S<sub>3</sub>. Como em S<sub>3</sub> ocorreu déficit de precipitação no período, principalmente nos meses de junho/julho e novembro/dezembro (Figura 1), e também temperaturas (Figura 2) e evaporação (Figura 3) superiores às médias das normais do período, pode ter ocorrido lixiviação reversa do herbicida e afetado, em períodos alternados, o crescimento e desenvolvimento do azevém. Parte do herbicida que atinge o solo pode ser transportada para o seu interior, junto com a água da irrigação e/ou proveniente das chuvas. Uma vez na solução do solo, o herbicida recebe atuação de forças, como a de difusão no interior dos agregados, a de ação da capilaridade promovida pela evaporação da água na superfície do solo e a dessorção pelos colóides. Esses processos são influenciados pela molécula do herbicida, pela intensidade do volume de água que percola no solo e pelos demais fatores sazonais (Silva et al., 2007). A possibilidade do movimento ascendente do herbicida lixiviado deve também ser considerada. Esse fato se torna mais evidente no caso dos herbicidas fracamente adsorvidos, como a maioria dos compostos do grupo químico das imidazolinonas, principalmente sob condições de elevada evapotranspiração (Mangels, 1991). Considerando também que o experimento foi realizado em solo franco (Vieira & Vieira, 1983) sob condições de baixo, médio e elevado volume de chuvas, os resultados encontrados vêm de encontro a outros estudos realizados com o herbicida imazapyr, nos quais os autores relataram que o movimento capilar da água provoca o movimento ascendente do herbicida no solo, o que o mantém na região próxima à superfície do solo nos períodos de escassez de chuva. A maior movimentação desse herbicida, tanto descendente quanto ascendente, ocorre em ordem decrescente de areia

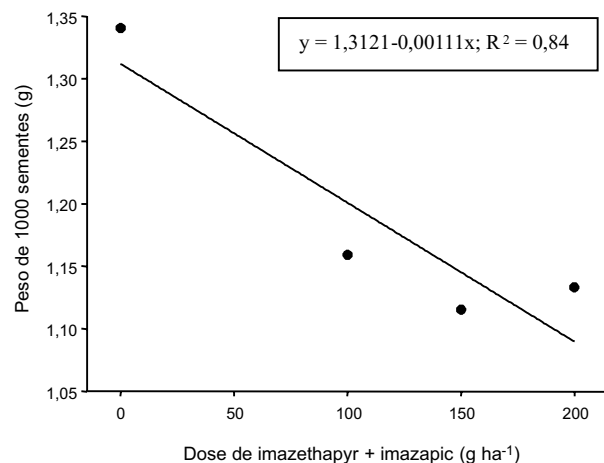
franca>franco-argiloarenoso>muito argiloso (Firmino et al., 2008). A persistência no solo dos herbicidas utilizados no sistema Clearfield® de arroz irrigado, detectada pelo azevém, pode então ser explicada pela elevada mobilidade no solo do herbicida comercial (imazethapyr+imazapic) Além disso, a prolongada atividade residual da maioria dos herbicidas dessa família também foi relatada por Renner et al. (1988). Existe então a possibilidade de esses compostos manterem atividade no solo por período igual ou superior a dois anos e, ainda, causarem fitotoxicidade em plantas, dependendo da sensibilidade da cultura sucessora (Ball et al., 2003; Alister & Kogan, 2005).

O P1000 (Figura 7) não foi afetado pelo número de aplicações (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) de cultivo de arroz CL, mostrando que o emprego repetido de (imazethapyr+imazapic), em safras consecutivas, pode não ter acumulado atividade herbicida no solo o suficiente para reduzir a massa no grão de azevém. Entretanto, essa variável, a exemplo das demais estudadas neste trabalho, também se mostrou sensível a aumentos da dose do herbicida aplicado na cultura do arroz. A dose de 100 g ha<sup>-1</sup> (imazethapyr+imazapic) manteve no solo residual suficiente para reduzir, em média, 5,35% o P1000 do azevém, enquanto resíduos que restaram do dobro daquela dose reduziram em 19,75% a massa do grão.

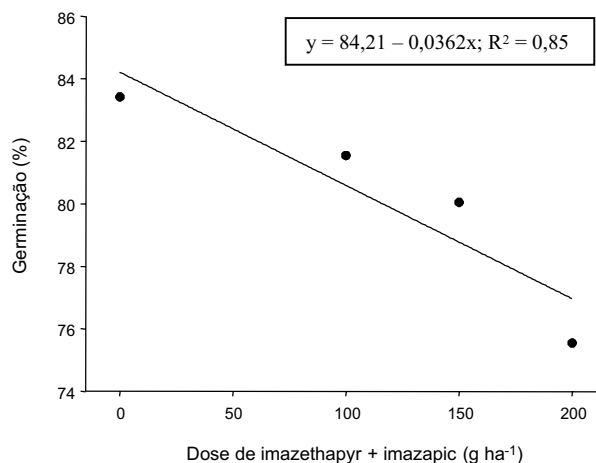
À semelhança do P1000, o poder germinativo da semente de azevém (Figura 8) também não foi alterado pelo número de cultivos sequenciais de arroz Clearfield®, indicando que essa variável não sofreu efeito do ambiente. Entretanto, o efeito herbicida foi significativo nos três ambientes. À medida que foi aumentada a dose do herbicida, ocorreram incrementos na atividade herbicida, com reflexos no PG da semente. A atividade residual correspondente à dose de 200 g ha<sup>-1</sup> de (imazethapyr+imazapic) determinou um decréscimo de 7,24% no PG da semente.

O azevém anual comporta-se como espécie sensível à mistura formulada de (imazethapyr+imazapic), podendo ser utilizado como planta bioindicadora para detectar a permanência de atividade herbicida desses compostos no solo.





**Figura 7** - Peso de mil sementes de plantas de azevém, semeadas em solos tratados com diferentes doses do herbicida Only® (imazethapyr+imazapic), em mesma área antecedida por uma (S<sub>1</sub>), duas (S<sub>2</sub>) e três (S<sub>3</sub>) safras com arroz Clearfield®. CAP-UFPEL, Capão do Leão-RS, 2007.



**Figura 8** - Poder germinativo das sementes de azevém, semeadas em solos tratados com diferentes doses do herbicida Only® (imazethapyr+imazapic), em mesma área antecedida por um a (S<sub>1</sub>), duas (S<sub>2</sub>) e três (S<sub>3</sub>) safras com arroz Clearfield®. CAP-UFPEL, Capão do Leão-RS, 2007.

A mistura formulada dos herbicidas imazethapyr (75 g L<sup>-1</sup>)+imazapic (25 g L<sup>-1</sup>), na forma comercial Only®, aplicada na dose de 1,0 L ha<sup>-1</sup>, em pós-emergência do arroz irrigado, permanece ativa no solo em quantidade suficiente para reduzir significativamente a altura média de plantas, o rendimento biológico, o peso de mil grãos e o PG da semente de azevém semeado em rotação, após um ano de cultivo de arroz CL.

A semeadura de azevém para ser utilizado como pastagem num sistema de sucessão ao arroz CL requer intervalos superiores a 180 dias após a aplicação do herbicida na cultura do arroz.

Na região da Planície Costeira Externa do Rio Grande do Sul, em áreas de solo com estrutura franca sob condições de inverno e primavera de baixos índices pluviométricos, o herbicida Only (imazethapyr-75 g ha<sup>-1</sup>+imazapic-25 g ha<sup>-1</sup>) deixa resíduo no solo, que pode ser acumulado com a utilização repetida do sistema Clearfield®.

## LITERATURA CITADA

AHRENS, W. H. **Herbicide handbook**. 7.ed. Champaign: WSSA, 1994. 352 p.

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

ARAÚJO, A. A. **Forrageiras para ceifa**. 2.ed. Porto Alegre: Sulina, 1967.

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

BRASIL - Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 1992. 365 p.

BRIGHENTI, A. M. et al. Persistência e fitotoxicidade do herbicida atrazine aplicado na cultura do milho sobre a cultura do girassol em sucessão. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 291-297, 2002.

CHOI, J. S. et al. Effect of temperature, moisture, and soil texture on DCPA degradation. **J. Agron.**, v. 80, n. 1, p. 108-113, 1988.

CURRAN, W. S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous solution and on soil. **Weed Sci.**, v. 40, n. 1, p. 143-148, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006. 306 p.

- FIRMINO, L. E. et al. Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 223-230, 2008.
- FLECK, N. G.; VIDAL, R. A. Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol. III: imazaquin e imazethapyr. **Planta Daninha**, v. 12, n. 1, p. 39-43, 1994.
- FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation on imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 45, n. 4, p. 586-591, 1997.
- GAZZIERO, D. L. P. et al. Persistência dos herbicidas imazaquin e imazethapyr no solo e os efeitos sobre plantas de milho e pepino. **Planta Daninha**, v. 15, n. 2, p. 162-169, 1997.
- GOETZ, A. J.; LAVY, T. L.; GBUR Jr., E. E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, n.4-5, p. 421-428, 1990.
- HART, R.; LIGNOWSKI, E.; TAYLOR, R. Imazethapyr herbicide. In: SHANER, D. L.; CONNOR, S. L. (Eds.) **The Imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 247-256.
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Lav. Arroz.**, v. 56, n. 445, 2008.
- LUPATINI, G. C. et al. **Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio**. Disponível em: <[http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/0/3a5e4f336b6389d5832566e000628c8f/\\$FILE/pab257\\_95.doc](http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/0/3a5e4f336b6389d5832566e000628c8f/$FILE/pab257_95.doc)>. Acesso em: 13 jul. 2007.
- MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de Análise Estatística para Windows – WINSTAT** (versão 1.0). Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2007.
- MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in the aquatic environment. In: SHANER, D. L.; CONNOR, S. L. (Eds.) **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 183-190.
- MARSH, B. H.; LLOYD, R. W. Soil pH effect on imazaquin persistence in soil. **Weed Technol.**, v. 10, n. 2, p. 337-340, 1996.
- MASSON, J. A.; WEBSTER, E. P. Use of imazethapyr in water-seeded imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technol.**, v. 15, n. 1, p. 103-106, 2001.
- MONKS, C. D.; BANKS, P. A. Rotational crop response to chlorimuron, clomazone and imazaquin applied in the previous year. **Weed Sci.**, v. 39, n. 4, p. 629-633, 1991.
- OTTIS, B. V.; CHANDLER, J. M.; McCAULEY, G. M. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technol.**, v. 17, n. 3, p. 526-533, 2003.
- RENNER, K. A.; MEGITT, W. F.; PENNER, D. Effect of soil pH on imazaquin and imazethapyr adsorption to soil and phytotoxicity to corn (*Zea mays*). **Weed Sci.**, v. 36, n. 1, p. 78-83, 1988.
- ROCHA, M. G. et al. Produção animal e retorno econômico da suplementação em pastagem de aveia e azevém. **Ci. Rural**, v. 33, n. 3, p. 573-578, 2003.
- SAVAGE, K. E. Persistence of several dinitroaniline herbicides as affected by soil moisture. **Weed Sci.**, v. 26, p. 465-471, 1978.
- SENSEMANN, S. A. **Herbicide handbook**. 9.ed. Lawrence: WSSA, 2007. 458 p.
- SILVA, A. A. et al. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 345-354, 1999.
- SILVA, A. A. et al. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.
- SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 164 p.
- TRACY, M. A.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technol.**, v. 19, p. 154-159, 2005.
- VIEIRA, L. S.; VIEIRA, M. N. F. **Manual de morfologia e classificação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1983. 319 p.
- 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.
- ZHANG, W.; WEBSTER, E. P.; BRAVERMAN, M. P. Rice (*Oryza sativa*) response to rotational crop and rice herbicide combinations. **Weed Technol.**, v. 16, p. 340-345, 2002.
- ZIMDAHL, R. L.; CATIZONE, P.; BUTCHER, A. C. Degradation of pendimethalin in soil. **Weed Sci.**, v. 32, p. 408-412, 1984.

