

# FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO DE CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO CONTAMINADO COM HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS

Kelen Müller Souto<sup>1</sup>; Sérgio Luiz de Oliveira Machado<sup>2</sup>; Luis Antonio de Avila<sup>3</sup>; Andrisa Balbinot<sup>4</sup>; Liange Reck<sup>5</sup>, Fernando Picinini<sup>6</sup>; Leonardo Urban<sup>7</sup>.

Palavras-chave: biorremediação; imazetapir; imazapique; imazapir.

## INTRODUÇÃO

Herbicidas que apresentam atividade residual no solo, impedindo ou reduzindo a emergência de plantas daninhas, são insumos de grande importância para garantir a produtividade esperada das culturas comerciais. Todavia, esse residual pode comprometer as culturas subsequentes que não possuem tolerância ao princípio ativo desses produtos e, quanto mais tempo permanecerem no solo, maior será a probabilidade de contaminação do ambiente. Dentre esses compostos encontram-se herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas, que são largamente utilizados em lavouras de arroz irrigado cultivados sob o Sistema Clearfield® no Rio Grande do Sul.

Na busca de alternativas que minimizem esse problema, tem-se difundido o uso de plantas tolerantes para a remoção desses contaminantes do solo e água. Esse processo, conhecido por Fitorremediação é uma tecnologia que utiliza espécies vegetais para extrair, conter, imobilizar ou degradar contaminantes do solo e da água, tornando-os menos tóxicos e, principalmente, menos fitotóxicos (SILVA et. al., 2007). Em vista do exposto, o trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência das culturas potencialmente fitorremediadoras na diminuição do residual dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, em mistura e isolados.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia junto à Universidade Federal de Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2011/2012; tendo sido utilizado como substrato o solo coletado do horizonte A classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006).

**Experimento de verão** - O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x5x5, com três repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre fatores, sendo o Fator A as espécies vegetais feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), soja (*Glycine max*) e arroz Clearfield® (*Oryza sativa* cultivar Puitá INTA CL), cultivadas durante os meses de dezembro (2011) e janeiro (2012), mais um tratamento controle – sem cultivo prévio, o Fator B os herbicidas imazetapir+imazapique, imazapir+imazapique, imazetapir, imazapique e imazapir; e o Fator C: zero, 25%, 50%, 100% e 200% da dose de referência, levando-se em consideração a quantidade de g/L de equivalente ácido de cada herbicida testado. Admitindo-se como dose de referência o uso de 150 g de ingrediente ativo/ha para todos os herbicidas (dose baseada na quantidade de ingrediente ativo presente na dosagem recomendada para a aplicação a campo da mistura

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, M.Sc. doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Pinheiro Machado, 2866, ap.410, CEP: 97050-600, Santa Maria, RS. kelen\_ms@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Dr. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, PhD. Universidade Federal de Pelotas (UFPEl).

<sup>4</sup> Aluna de graduação do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>5</sup> Bióloga, Ms.C. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>7</sup> Aluno de graduação do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

formulada de imazetapir+imazapique - 1500 ml ha<sup>-1</sup> = 150 g e.a. ha<sup>-1</sup>). Totalizando 300 unidades experimentais (vasos).

O experimento foi conduzido em vasos de polietileno com capacidade de 3,6 dm<sup>3</sup>. O solo, destorroado e peneirado, foi acondicionado nos vasos e recebeu a aplicação dos herbicidas nas doses descritas anteriormente, 48 horas antes da semeadura das culturas, utilizando-se pipetador de precisão para adicionar as soluções com os herbicidas no solo.

Transcorridos 60 dias após a emergência (fevereiro de 2012), as espécies vegetais foram cortadas na altura do coleto, não tendo sido efetuada a retirada das raízes do solo. Após sete dias, foi realizada a semeadura da cultivar de arroz não tolerante ao princípio ativo do herbicida utilizado, Irga 417, como planta teste (bioindicadora), com o intuito de avaliar a capacidade fitorremediadora das espécies anteriormente cultivadas em solo contaminado. Após a emergência das plantas de arroz, efetuou-se desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. As características avaliadas para determinação do potencial fitorremediador das plantas anteriormente testadas ao herbicida foram fitointoxicação e estatura de plantas (dados não mostrados) e massa seca da parte aérea das plantas de arroz. Logo, aos 28 DAE, as plantas foram cortadas rente ao solo para determinação de massa da matéria seca da parte aérea, obtida por meio de pesagem do material colhido, secado em estufa de circulação forçada (70 ± 2 °C) por 72 horas.

**Experimento de inverno-** O experimento foi conduzido do mesmo modo que o experimento de verão, porém, tendo como Fator A as espécies vegetais hibernais azevém (*Lolium multiflorum*), consórcio de trevo branco (*Trifolium repens*) + cornichão (*Lotus corniculatus*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), cultivadas durante os meses de junho e julho de 2012 e um tratamento sem planta de cobertura (pousio). O bioensaio com a cultivar Irga 417, foi realizado durante o mês de setembro do mesmo ano (2012).

Os dados obtidos foram analisados previamente quanto ao atendimento das pressuposições da análise de variância, normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Hartley), e posteriormente foram submetidos à análise de variância (p≤0,05). As curvas de dose resposta foram determinadas pelo modelo logístico, de 3 parâmetros (SEEFELDT *et al.*, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise das curvas de dose resposta das espécies estudadas constatou-se efeito significativo (p≤0,05) sobre o residual dos herbicidas testados nas variáveis estatura de plantas e fitointoxicação (não apresentadas no resumo) e massa seca da parte aérea das plantas de arroz não tolerante, Irga 417, semeadas em sucessão às espécies estivais e hibernais testadas e, também, quando não houve cultivo anterior (testemunha). Para esses tratamentos, o aumento das doses resultou em plantas de menor estatura e massa da matéria seca e plantas com maior fitointoxicação, sendo que a intensidade desses efeitos variou com a espécie testada.

A partir dos parâmetros das curvas de dose resposta, pode-se calcular o GR<sub>50</sub>, ou seja, a dose herbicida que causou 50% na redução da massa seca da parte aérea das plantas de arroz não tolerante quando comparadas com a testemunha (sem cultivo prévio) (Tabela 1). A partir destes cálculos, é possível inferir que quanto maior é o valor de GR<sub>50</sub>, maior é o potencial remediador da espécie estudada. Uma vez que, para cada variável dependente analisada destacam-se praticamente as mesmas espécies, foi avaliada a capacidade remediadora através da variável dependente massa da matéria seca, pois dentre as três variáveis analisadas, a produção de grãos na cultura do arroz está relacionada com a produção de matéria seca, através da produção biológica e do índice de colheita (IC) (YOSHIDA, 1981).

Tabela 1- Parâmetros das equações de regressão sigmoidal do tipo logístico, valores  $GR_{50}$  com intervalos de confiança (IC) apresentados pela planta bioindicadora (arroz cultivar Irga 417) semeada em sucessão as espécies estivais e hibernais testadas; e valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), em resposta ao solo com residual dos herbicidas imazetapir+imazapique, imazapir+imazapique e imazapir. Santa Maria, 2012.

<b>Massa seca da parte aérea (gramas)</b>					
Espécies	<sup>1</sup> a	<sup>2</sup> b	<sup>3</sup> GR <sub>50</sub>	<sup>4</sup> 95% IC	R <sup>2</sup>
<b>Imazetapir+imazapique (75 + 25 g e.a. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Estivais</b>					
Soja	100,3	1,08	232,6	203,7-261,4	0,99
Feijão-de-porco	100,2	1,02	136,9	112,6-161,1	0,99
<sup>5</sup> Arroz CL <sup>®</sup>	99,7	1,46	28,2	21,8-34,5	0,99
S. cultivo verão	99,9	1,72	15,2	13,6-16,7	0,99
<b>Hibernais</b>					
Ervilhaca	99,6	1,43	56,8	50,0-63,5	0,99
<sup>7</sup> Consórcio	99,7	1,18	42,9	37,3-48,4	0,99
Azevém	100,1	1,03	25,3	22,6-28,1	0,99
S.cultivo inverno	99,9	2,05	16,4	13,3-19,4	0,99
<b>Imazapir+imazapique (525+175 g e.a. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Estivais</b>					
Soja	98,4	1,38	82,8	62,8-102,7	0,98
Feijão-de-porco	99,6	1,38	50,8	36,3-65,4	0,98
<sup>5</sup> Arroz CL <sup>®</sup>	99,8	1,12	20,4	9,4-31,3	0,98
S. cultivo verão	99,9	1,45	14,9	5,1-24,6	0,98
<b>Hibernais</b>					
Ervilhaca	100,8	1,29	50,6	37,4-63,7	0,98
<sup>7</sup> Consórcio	99,8	1,11	49,3	36,3-62,2	0,99
Azevém	99,9	0,88	16,6	11,8-21,3	0,99
S.cultivo inverno	99,9	1,35	13,7	9,56-17,8	0,99
<b>Imazapir (250 g e.a. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Estivais</b>					
Soja	100,2	1,72	69,4	53,5-85,2	0,98
Feijão-de-porco	99,2	1,56	58,5	58,3-58,6	0,99
<sup>5</sup> Arroz CL <sup>®</sup>	99,8	1,13	17,2	8,2-26,1	0,99
S. cultivo verão	99,9	1,60	13,5	7,3-19,6	0,99
<b>Hibernais</b>					
Ervilhaca	100,5	1,05	23,0	20,1-30,8	0,99
<sup>7</sup> Consórcio	100,0	0,94	24,5	21,8-27,1	0,99
Azevém	99,9	2,98	23,1	22,3-23,8	0,99
S.cultivo inverno	100,0	4,13	16,8	13,9-19,6	0,99

a: diferença entre os pontos máximo e mínimo da curva; b: declividade da curva; <sup>3</sup>GR<sub>50</sub>: dose do herbicida que causa 50% de redução da variável analisada; <sup>4</sup>IC: intervalo de confiança a 95% de probabilidade; <sup>5</sup>>200 valores correspondentes a GR<sub>50</sub>>270%; <sup>6</sup>CL:arroz resistente aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. <sup>7</sup>Consórcio de trevo branco+cornichão.

Os valores estimados de GR<sub>50</sub> para a variável analisada mostram que independente do herbicida testado, tanto as espécies estivais soja e feijão-de-porco quando as hibernais, ervilhaca e trevo branco + cornichão em consórcio, apresentaram valores superiores aos observados para o solo sem cultivo no mesmo período (testemunha), demonstrando potencial fitorremediador dessas espécies vegetais (Tabela 1).

Para a mistura formulada imazetapir+imazapique a soja foi a espécie que apresentou os maiores valores de GR<sub>50</sub>, diferindo estatisticamente das demais espécies estivais testadas, da mesma forma, a ervilhaca foi a planta com maior potencial fitorremediador, diferindo significativamente das demais espécies da mesma estação de cultivo (Tabela 1). Para as plantas cultivadas no inverno, o mesmo foi observado quando o solo recebeu o herbicida imazapique (resultados não mostrados).

Para a mistura formulada de imazapir+imazapique e o composto isolado imazapir, as plantas estivais com maior potencial fitorremediador foram soja e feijão-de-porco, sendo que o mesmo foi observado para os herbicidas isolados imazetapir e imazapique (dados não mostrados). Para as espécies hibernais testadas, ervilhaca e consórcio de trevo branco e cornichão apresentaram o maior potencial remediador do solo contaminado com a mistura imazapir+imazapique, diferindo estatisticamente das demais espécies testadas. Já para o herbicida isolado imazapir, além da ervilhaca e do consórcio de leguminosas, o azevém também apresentou potencial fitorremediador, não diferindo significativamente dessas (Tabela 1). O mesmo foi observado para os compostos isolados imazetapir e imazapique (dados não mostrados).

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, foi possível observar que a presença de espécies vegetais causa impacto positivo na dissipação de moléculas herbicidas no solo, em comparação com solos sem vegetação. Segundo Pires et al. (2003), a utilização da fitorremediação é baseada na tolerância natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Nesse contexto, acredita-se na capacidade que as plantas estudadas possuem em metabolizar (fitodegradação) o herbicida em questão até compostos não-tóxicos (ou menos tóxicos) à planta e ao ambiente. Outra possibilidade é a fitoestimulação, na qual há o estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de exsudatos radiculares, que atuam degradando o composto no solo, o que caracteriza, em algumas plantas, a aptidão rizosférica para a biorremediação de compostos tóxicos (SCRAMIN et al., 2001).

## CONCLUSÃO

As espécies estivais soja (*G. max*) e feijão-de-porco (*C. ensiformis*) e hibernais ervilhaca (*V. sativa*) e o consórcio de trevo branco (*T. repens*) + cornichão (*L. corniculatus*), cultivadas em vasos, são capazes de reduzir o efeito dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir utilizados em mistura ou isolados, sobre as plantas de arroz não tolerantes à esses herbicidas, em comparação com o solo não cultivado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 306 p. 2006.

PIRES, F.R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Fitorremediação de áreas contaminadas com herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds). **Tópicos de manejo integrado de plantas daninhas**. Viçosa, 367 p. p. 210-239. 2007.

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: MELO, I. S. et al. **Biodegradação**, Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 369-371.

SEEFELDT, S. S; JENSEN, J. E; FUERST, P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, n. 2, p. 218-225, 1995.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Manila, The International Rice Research Institute, 1981. 269p.