

ESPÉCIES VEGETAIS PARA A REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDA DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS

SOUTO, K.M.¹, AVILA, L.A.², MORAES, B.S.³, CASSOL, G.V.⁴, REFATTI, J.P.⁵, MACHADO, S.L.O.⁶, MARCHESAN, E.⁷.

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); kelen_ms@yahoo.com.br; ²Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) (53) 3275-7590; laavilabr@gmail.com; ³Universidade federal de Santa Maria (UFSM), (55)99068310; bibianamoraes@gmail.com; ⁴Universidade federal de Santa Maria (UFSM), (55) 99022420; guivcassol@bol.com.br; ⁵Universidade federal de Santa Maria (UFSM), (55)99332377; joapaulorefatti@hotmail.com; ⁶Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade federal de Santa Maria (UFSM), (55) 99625047; slomachado@yahoo.com.br; ⁷Departamento de Fitossanidade, Universidade federal de Santa Maria (UFSM); (55) 96317281; emarchezan@terra.com.br

Resumo

Herbicidas que apresentam longa persistência no solo podem comprometer as culturas não tolerantes semeadas em rotação/sucessão. Dessa forma este trabalho teve como objetivo a identificação e seleção de espécies cultivadas com potencial para serem usadas na fitorremediação de solos contaminados por herbicidas do grupo das imidazolinonas. O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. O fator A constou de 15 espécies vegetais: *Avena strigosa* (aveia), *Lolium multiflorum* (azevém), *Brassica* sp. (canola), *Secale cereale* (centeio), *Lotus corniculatus* (cornichão), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Vicia sativa* (ervilhaca), *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta), *Raphanus sativus* (nabo forrageiro), *Glycine max* (soja), *Trifolium repens* (trevo branco), *Trifolium pratense* (trevo vermelho), *Trifolium vesiculosum* (trevo vesiculoso), *Triticum aestivum* (trigo), *mais parcelas sem cultivo prévio de plantas*; e o fator B, de sete doses do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹) variando de zero a 4000 mL ha⁻¹. A determinação do residual dos herbicidas foi feita através de bioensaio com cultivar de arroz não tolerante ao princípio ativo do herbicida (Cultivar IRGA 417) como planta teste. Foram avaliados estatura de plantas, sintomas de fitotoxicidade e massa da matéria seca da parte aérea. As espécies de inverno: *Avena strigosa* (aveia), *Lolium multiflorum* (azevém), *Lotus corniculatus* (cornichão), *Raphanus sativus* (nabo forrageiro), *Secale cereale* (centeio), *Vicia sativa* (ervilhaca), e as espécies de verão: *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Glycine max* (soja) e *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta), foram eficientes na descontaminação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹), reduzindo o seu efeito sobre o arroz irrigado semeado em sucessão.

Palavras-chave: Ambiente, dinâmica de herbicidas, impacto ambiental, tolerância.

Abstract

Herbicides with long persistence in the soil may carryover to non-tolerant crops. Thus, this study aimed to identify and select cultivated species with potential for use in phytoremediate soils contaminated with the imidazolinonas herbicides. The experimental design was randomized blocks with split plot with four replications. Factor A consisted of 16 plant species: *Avena strigosa*, *Lolium multiflorum*, *Brassica* sp., *Secale cereale*, *Lotus corniculatus*, *Crotalaria juncea*, *Vicia sativa*, *Canavalia ensiformis*, *Stizolobium aterrimum*, *Raphanus sativus*, *Glycine max*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Trifolium vesiculosum*, *Triticum aestivum*, with an additional uncultivated plot, and factor B, seven rates of the herbicide formulated mixture of imazethapyr and imazapic (75 + 25 g ai L⁻¹) ranging from zero to 4000 mL ha⁻¹. The determination of residual herbicides was performed by a bioassay using not tolerant rice cultivars (IRGA 417) as test plant. We assessed plant height, the herbicide injury and dry shoots weight. The species *Avena strigosa*, *Lolium multiflorum*, *Lotus corniculatus*, *Raphanus sativus*, *Secale cereale*, *Vicia sativa*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Glycine max* e *Stizolobium aterrimum* were effective in decontaminating the herbicide in soil, reducing its effect on rice irrigated sown in succession.

Key Words: Environment, environmental impact, herbicide fate, tolerance.

Introdução

Herbicidas que apresentam longa persistência no solo podem limitar a rotação de culturas, técnica esta essencial para a sustentabilidade de sistemas agrícolas. Dentre esses compostos encontram-se os herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas, que apresentam como mecanismo de ação a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), também conhecida como acetohidroxiácido sintase (AHAS). A ALS participa da biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina em microrganismos e plantas. Verifica-se na literatura que a ALS é o principal sítio de ação desses herbicidas, e, quando inibida, paralisa a divisão celular, reduz a síntese de proteínas, inibe a translocação de carboidratos e, conseqüentemente, reduz o crescimento das plantas (Ray, 1984).

Na busca de alternativas para minimizar o problema causado pelos herbicidas que possuem longo efeito residual no solo, tem-se estudado o uso de plantas tolerantes para a remoção ou degradação dos herbicidas no solo. Essa técnica é conhecida como fitorremediação, e seu emprego tem sido indicado em áreas contaminadas com substâncias orgânicas e inorgânicas (Cunningham et al., 1996). Quando se obtém uma planta capaz de reduzir a concentração de herbicidas no solo, na prática, o que se conquista é a antecipação da produção de culturas agrícolas de interesse econômico, antes impossibilitadas de serem cultivadas em determinadas áreas, além da garantia de sustentabilidade para gerações futuras (Accioly e Siqueira, 2000).

A seleção de plantas que apresentem tolerância ao pesticida é o primeiro passo na seleção de espécies potencialmente fitorremediadoras. Contudo, deve-se evitar a utilização de espécies de difícil controle posterior e, se possível, selecionar espécies que promovam outros benefícios ao solo, como é o caso dos adubos verdes.

Em vista do exposto, objetivou-se neste trabalho a identificação e seleção de espécies cultivadas com potencial para serem usadas na fitorremediação de solos contaminados por herbicidas do grupo das imidazolinonas.

Material e Métodos

Dois experimentos foram realizados em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia junto à Universidade Federal de Santa Maria, no ano agrícola de 2009/2010. O primeiro experimento foi realizado com objetivo de determinar a tolerância de espécies vegetais à presença da mistura formulada de imazethapyr e imazapic no solo. O segundo experimento foi conduzido nas mesmas unidades experimentais do primeiro experimento, com o objetivo de verificar a eficiência das culturas em reduzir a quantidade de herbicida no solo e reduzir o efeito sobre o arroz semeado em sucessão. Ambos os experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso, em esquema fatorial (17 x 7), com quatro repetições.

Os tratamentos foram compostos pela combinação de 15 espécies vegetais: aveia (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), canola (*Brassica* sp.), centeio (*Secale cereale*), cornichão (*Lotus corniculatus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), ervilhaca (*Vicia sativa*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), soja (*Glycine max*), trevo branco (*Trifolium repens*), trevo vermelho (*Trifolium pratense*), trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*), trigo (*Triticum aestivum*), mais parcelas sem cultivo prévio de espécies vegetais; e de sete doses da mistura formulada de imazethapyr+imazapic: zero, 50, 100, 300, 400, 500 e 1000 mL ha⁻¹, para as plantas mais sensíveis (canola e os trevos vermelho, vesiculoso e branco) e zero, 200, 300, 400, 500, 1000 e 4000 mL ha⁻¹, para as plantas mais tolerantes (demais espécies), totalizando 476 parcelas.

O experimento para seleção de espécies tolerantes foi conduzido em vasos de polietileno contendo três decímetros cúbicos de solo para as espécies feijão-de-porco, crotalária, soja e mucuna-preta, e um decímetro cúbico de solo para as demais espécies. O solo utilizado foi coletado do horizonte A de um solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico. Esse solo, após peneiramento foi acondicionado nos vasos. Após o enchimento dos vasos, foi feita 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 herbicidas ao solo, sendo este mantido em capacidade de campo até o final do período experimental. O grau de tolerância das espécies citadas acima baseia-se em dados de fitotoxicidade e estatura obtidos em experimentos preliminares no ano de 2008 (Dados não mostrados).

O experimento para determinação da capacidade fitorremediadora das plantas testadas foi conduzido em solo proveniente do experimento anterior, onde foi instalado o bioensaio com cultivar de arroz não tolerante ao princípio ativo do herbicida (Cultivar IRGA 417) como planta teste.

As características avaliadas para determinação da seletividade e potencial fitorremediador das plantas ao herbicida foram fitotoxicidade, estatura de plantas e massa da matéria seca. Os sintomas de fitotoxicidade foram avaliados visualmente, comparando-se com a testemunha, e atribuindo-se notas de acordo com a aparência da parte aérea de cada espécie, utilizando escala variando de 0 a 100%, para ausência de sintomas até a morte de planta, respectivamente. A estatura das plantas foi avaliada medindo-se do nível do solo até o meristema apical das dicotiledôneas e a extremidade das folhas mais altas das demais espécies. Ambas as avaliações foram feitas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após emergência (DAE). Aos 60 DAE, as plantas foram cortadas rente ao solo para determinação da massa da matéria seca da parte aérea.

Os dados foram analisados quanto a sua homogeneidade da variância e à sua normalidade e submetidos aos procedimentos de análise da variância e regressão polinomial através do programa computacional SAS para a análise estatística e SigmaPlot para confecção das curvas de dose resposta. Um exemplo de curva de dose resposta obtido é observado na Figura 1. A partir dos parâmetros da curva, foi obtido o GR_{50} (Dose de herbicida que causa 50% de efeito biológico) e a partir deste valor foi calculado o fator de susceptibilidade, usando-se a espécie que se demonstrou mais suscetível como testemunha.

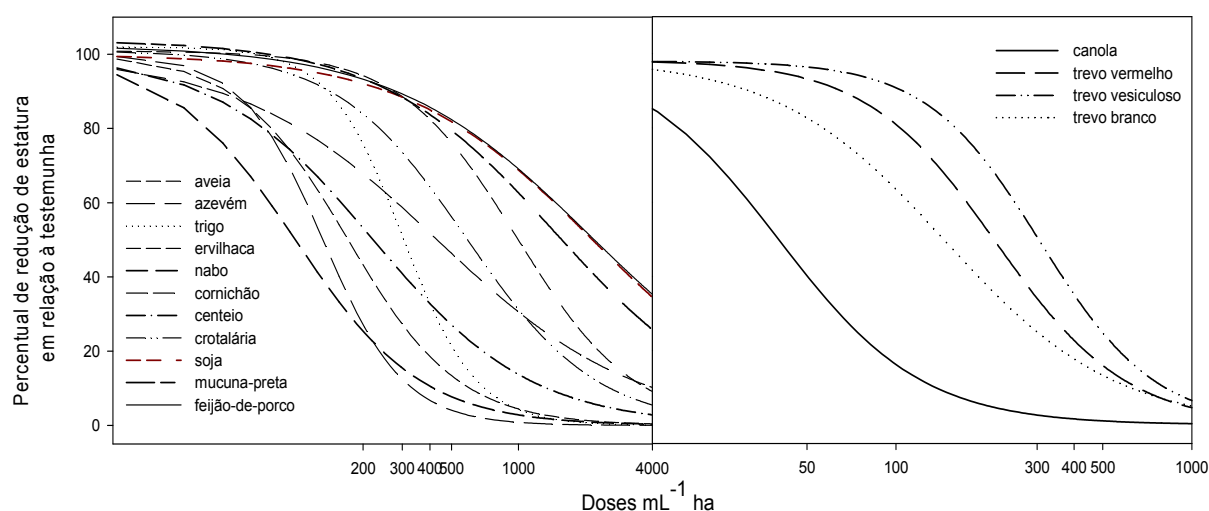


Figura 1. Curva de dose resposta de espécies suscetíveis (A) e resistentes (B) ao herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 e 25 g i.a. L⁻¹) avaliada através da estatura aos 35 dias após a emergência (DAE).

Resultados e Discussão

Ao comparar os fatores de tolerância das espécies vegetais testadas (Tabela 1), verificou-se que as espécies de trevo branco, trevo vermelho, trigo, aveia, trevo vesiculoso, centeio, cornichão, ervilhaca, mucuna-preta, soja, crotalária e feijão-de-porco apresentam de 6 a 38 vezes, respectivamente, mais tolerância que a espécie mais sensível testada (canola). Resultados semelhantes foram encontrados por Carmo et al. (2008) com diferentes espécies vegetais para o herbicida picloram.

Em experimentos em áreas com cultivo de arroz irrigado, Martini (2010) constatou que após a colheita do arroz, a quantidade presente da mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹) encontrada no solo variou de 190 a 500 mL/ha⁻¹, isso nos permite inferir que todas as espécies que suportaram as doses entre esses dois extremos possuem capacidade de serem utilizadas em programas de fitorremediação de solos contaminados com esses herbicidas, já que um dos pré-requisitos para as plantas serem usadas como fitorremediadoras é que elas suportem as concentrações de herbicidas encontradas a campo (Cunningham et al., 1996).

Analisando-se os resultados obtidos com o bioensaio (Tabela 2) com o arroz irrigado semeado logo após o cultivo das plantas hibernais, verificou-se que, em relação ao fator de remediação apresentado por cada espécie testada, apenas as culturas do trigo, canola, trevo branco, trevo vermelho e trevo vesiculoso não apresentaram capacidade fitorremediadora, sendo que todas as outras espécies vegetais contribuíram de 1,3 a 2,1 vezes mais na extração da mistura formulada

de imazethapyr+imazapic do solo, quando comparadas com solo sem cultivo anterior. Procópio et al. (2005), encontrou resultados semelhantes com as espécies mucuna-preta e feijão-de-porco na descontaminação do herbicida trifloxysulfuron-sodium.

Da mesma forma, as espécies vegetais estivais cultivadas anteriormente à semeadura do arroz suscetível a mistura formulada utilizada (IRGA 417), tais como feijão-de-porco, mucuna-preta, crotalária e soja, apresentaram potencial fitorremediador variando de 1,7 a 6,2 vezes maior, quando comparadas com solo sem cultivo prévio.

Tabela 1. Dose do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹) que causa 50% de fitotoxicidade (FT₅₀), 50% de redução de estatura (EST₅₀) e 50% de redução de massa da matéria seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado (MS₅₀) aos 35 DAE e respectivos fatores de susceptibilidade (Ft) das espécies vegetais, com base na espécie mais suscetível ao herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr+imazapic. Santa Maria, RS, 2010.

Espécies	FT ₅₀	Ft	EST ₅₀	Ft	MS ₅₀	Ft
Canola	24	--	40	--	29	--
Nabo forrageiro	39 ^{ns}	1,6	99 ^{ns}	2,5	173*	5,9
Azevém	115 ^{ns}	4,8	132*	3,3	20 ^{ns}	0,7
Trevo branco	152*	6,3	171*	4,3	85*	2,9
Trevo vermelho	168*	7,0	218*	5,4	104*	3,5
Trigo	186*	7,7	301*	7,5	247*	8,5
Aveia	191*	7,9	147*	3,7	139*	4,8
Trevo vesiculoso	218*	9,1	309*	7,7	146*	5,0
Centeio	222*	9,2	297*	7,4	75 ^{ns}	2,6
Cornichão	294*	12,2	433*	10,8	370*	12,7
Ervilhaca	447*	18,6	989*	24,7	312*	10,7
Mucuna-preta	626*	26,0	1465*	36,6	1289*	44,1
Soja	666*	27,7	2149*	53,7	588*	20,1
Crotalária	711*	29,5	583*	14,6	494*	16,9
Feijão-de-porco	933*	38,7	2091*	52,2	1358*	46,4

^{ns} Valor de GR₅₀ não difere da testemunha suscetível (canola) pela sobreposição dos intervalos de confiança dos valores em 95% de probabilidade;

* Valor de GR₅₀ difere da testemunha suscetível (canola) pela não sobreposição dos intervalos de confiança dos valores em 95% de probabilidade.

Com base nos resultados deste trabalho, conclui-se que as espécies de trevo branco, trevo vermelho, trigo, aveia, trevo vesiculoso, centeio, cornichão, ervilhaca, mucuna-preta, soja, crotalária e feijão-de-porco apresentaram tolerância aceitável quando cultivadas em solo que recebeu doses da mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹). Diante disso, essas espécies puderam ser inicialmente inseridas para avaliação da fitorremediação do herbicida.

Com relação ao efeito do herbicida sobre a planta de arroz não tolerante semeado após o cultivo das espécies testadas, algumas espécies demonstraram capacidade de fitorremediação, incluindo as espécies de inverno: aveia, azevém, centeio, cornichão, ervilhaca e nabo forrageiro, e as espécies de verão: crotalária, feijão-de-porco, mucuna-preta e soja. Sendo elas eficientes na descontaminação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr+imazapic (75 + 25 g i.a. L⁻¹), reduzindo a fitotoxicidade do herbicida sobre as plantas de arroz. Porém, deve-se preconizar o uso preferencial das espécies vegetais azevém, cornichão e soja, por serem estas adaptadas a solos de ambientes hidromórficos, característica essa encontrada em solos de várzea. Além disto, faz-se necessário estudar o efeito dessas espécies em descontaminar solos em nível de campo e verificar se elas são suficientemente eficientes na redução do residual do herbicida a ponto de evitar a redução de produtividade do arroz irrigado não-tolerante.

O uso dessa tecnologia poderá resultar em maior segurança do cultivo do arroz não tolerante em áreas onde esse herbicida tenha sido aplicado. Além disso, o cultivo dessas espécies após a aplicação desse herbicida contribuirá para a redução do risco de ocorrência de impactos ambientais adversos, como a contaminação de recursos hídricos subterrâneos.

Tabela 2. Efeito do cultivo de espécies vegetais no período de entressafra na dose de herbicida que causa 50% de fitotoxicidade (FT₅₀), 50% de redução de estatura de plantas (EST₅₀) e 50% de redução de massa da matéria seca da parte aérea (MS₅₀) de plantas de arroz irrigado não tolerante IRGA 417 aos 21 DAE. E respectivos fatores de remediação (FRem). Santa Maria, RS. 2010.

Espécies	FT ₅₀	FRem ¹	EST ₅₀	FRem	MS ₅₀	FRem
Após o cultivo de espécies hibernais						
Sem planta inverno	396		467		231*	
Nabo forrageiro	405ns	1,0	794*	1,7	369*	1,6
Trigo	440ns	1,1	489 ^{ns}	1,0	317*	1,4
Azevém	447ns	1,1	624*	1,3	313*	1,4
Aveia	457*	1,2	700*	1,5	307*	1,3
Trevo vesiculoso	469ns	1,2	594*	1,3	246ns	1,1
Cornichão	486*	1,2	625*	1,3	401*	1,7
Canola	570ns	1,4	553 ^{ns}	1,2	38ns	0,2
Centeio	621*	1,6	738*	1,6	275*	1,2
Trevo vermelho	699ns	1,8	714*	1,5	161ns	0,7
Ervilhaca	702*	1,8	961*	2,1	327*	1,4
Trevo branco	723ns	1,8	667 ^{ns}	1,4	111ns	0,5
Após o cultivo de espécies estivais						
Sem planta verão	302		254		218	
Crotalária	361*	1,2	427*	1,7	494*	2,3
Mucuna-preta	722*	2,4	1125*	4,4	1289*	5,9
Feijão-de-porco	732*	2,4	1220*	4,8	1358*	6,2
Soja	803*	2,7	1142*	4,5	598*	2,7

¹FRem = O fator de remediação foi calculado dividindo-se os valores de GR₅₀ (FT₅₀, EST₅₀ e MS₅₀) do arroz irrigado, cultivado em solo com resíduo de herbicida que recebeu a espécie vegetal com aquele obtido em área que não recebeu espécie vegetal durante a rotação e que também tinha resíduo de herbicida.

^{ns} Valor de GR₅₀ não difere da testemunha suscetível (canola) pela sobreposição dos intervalos de confiança dos valores em 95% de probabilidade;

* Valor de GR₅₀ difere da testemunha suscetível (canola) pela não sobreposição dos intervalos de confiança dos valores em 95% de probabilidade.

Literatura Citada

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.

CARMO, M. L. et al. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 301-313, 2008.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996.

MARTINI, L. F. **Transporte de agrotóxicos e uso de água em diferentes manejos de irrigação de arroz**. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

PROCÓPIO, S.O. et al. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 315–322, 2005.

RAY, T.B. Site of action of chlorsulfuron inhibitor of valine and isoleucine biosynthesis in plants. **Plant Physiology**, Los Angeles, v. 75, p. 827-831, 1984.