

PERSISTÊNCIA DO HERBICIDA IMAZAQUIN ASSOCIADO AO GLYPHOSATE OU PARAQUAT EM PLANTIO DIRETO¹

Persistence of Imazaquin Associated to Glyphosate or Paraquat under No-Tillage

VIDAL, R.A.² e NUNES, A.L.³

RESUMO - A prática de associar herbicidas residuais no momento da dessecação tem ganhado destaque em razão da possibilidade de mitigar problemas decorrentes da resistência de plantas daninhas a herbicidas. Objetivou-se com este trabalho determinar a persistência do herbicida residual imazaquin, associado com os herbicidas dessecantes glyphosate ou paraquat em plantio direto. O trabalho foi realizado em campo e em câmara de crescimento, sob Argissolo Vermelho distrófico típico, contendo 28% de argila. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais, foram aplicados os herbicidas paraquat (600 g ha⁻¹) ou glyphosate (720 g ha⁻¹); e nas subparcelas, o herbicida residual imazaquin (300 g ha⁻¹) associado ou aplicado sequencialmente aos herbicidas dessecantes, além de uma testemunha contendo apenas herbicida glyphosate, sem aplicação do herbicida residual. A persistência do imazaquin é maior na presença do glyphosate do que na do paraquat. Não há diferença entre aplicação simultânea e sequencial dos herbicidas dessecantes e residuais.

Palavras-chave: bioensaio, cinética de dissipação, meia-vida, residual.

ABSTRACT - *The practice of associating non-selective and residual herbicides is becoming increasingly used as it may mitigate problems related to weed resistance to herbicides. This work aimed to evaluate the persistence of the residual herbicide imazaquin when applied simultaneously or in sequence to the non-selective herbicides paraquat and glyphosate, under field conditions and growing chamber, respectively. The experiment was carried out the Agronomic Experimental Station of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), and at the School of Agronomy of the UFRGS using typical Dystrophic Red Argisol (Ultisol) composed by 28% of clay. The experiments were arranged in a randomized block design, in split-plots with four replications. The non-selective herbicides (paraquat, 600 g ha⁻¹ or glyphosate 720 g ha⁻¹) were applied on the main plots and the residual herbicide imazaquin (300 g ha⁻¹) on the subplots, sequentially or in association with the non-selective herbicides, plus a control, where only a non-selective herbicide was applied. The persistence of imazaquin is longer in the presence of glyphosate when compared to paraquat. No difference was found between simultaneous and sequential application of the non-selective and residual herbicides.*

Keywords: bioassay, dissipation kinetics, half-life, residual.

INTRODUÇÃO

A prática de associar herbicidas residuais no momento da dessecação tem ganhado destaque em razão da possibilidade de mitigar problemas decorrentes da resistência de

plantas daninhas a herbicidas. Além disso, essa prática tem a função de dessecar a cultura de inverno que será utilizada como cobertura morta e evitar a reinfestação de plantas daninhas, resistentes ou não, na cultura de verão durante parte de seu ciclo.

¹ Recebido para publicação em 27.11.2009 e na forma revisada em 12.11.2010.

² Eng^a-Agr^a, Ph.D., Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 15100, 91540-000 Porto Alegre-RS; ³ Eng^a-Agr^a, Mestre, Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Sertão, Rodovia RS 135, Km 25, Distrito Eng. Luiz Englert, 99170-000 Sertão-RS.



Entretanto, a presença de palha e cobertura vegetal sobre a superfície promove alterações que afetam a dinâmica dos herbicidas aplicados (Ferri & Vidal, 2003). Assim, a permanência da cobertura sobre a superfície do solo pode, simultaneamente, reduzir o potencial de infestação de plantas daninhas, bem como dificultar o desempenho de herbicidas, uma vez que os principais componentes da dinâmica de herbicidas na palha são a transposição do produto através desta e a própria dinâmica de molhamento e lavagem da palha pela água das chuvas (Maciel & Velini, 2005).

O herbicida imazaquin é um composto anfótero, possui um ácido fraco carboxílico e uma base fraca quinolina como grupos funcionais ionizáveis (Stougaard et al., 1990) e pertence ao grupo químico das imidazolinonas. É aplicado, em pré-emergência, pré-plantio incorporado ou pós-emergência, para o controle de algumas monocotiledôneas e grande número de dicotiledôneas, atuando como inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), de forma seletiva para a cultura da soja (Ahrens, 1994; Trezzi & Vidal, 2001).

Há grande variabilidade no período de permanência do imazaquin no solo. Estudos de laboratório reportam que a meia-vida desse herbicida varia entre 39 a 1.330 dias, dependendo das condições do experimento (Basham & Lavy 1987; Loux & Reese, 1992; Aichele & Penner, 2005). Observa-se, em pesquisas de campo, que a meia-vida do imazaquin varia entre 8 e 71 dias (Baughman & Shaw, 1996; Seifert et al., 2001; Smith et al., 2005). A dissipação do imazaquin em campo é maior que a observada em laboratório. O aumento da sua degradação em campo em relação ao laboratório pode se dar pela fotodegradação (Katagi, 2004; Quivet et al., 2006). Contudo, a dissipação do imazaquin no solo ocorre principalmente pela degradação microbiana (Flint & Witt, 1997; Greenland, 2003).

A atividade microbiana no solo é maior na presença de glyphosate + atrazine em comparação à presença de somente atrazine, mas a degradação de atrazine foi similar entre os tratamentos atrazine e glyphosate + atrazine, com exceção de alguns tratamentos, em que glyphosate aumentou ligeiramente a

degradação de atrazine (Haney et al., 2002). Entretanto, em trabalho similar, a presença em grande quantidade do glyphosate (129 mg kg^{-1} de solo) estimulou a atividade microbiana, que, simultaneamente, inibiu a degradação do herbicida atrazine aos oito dias após a aplicação deles em associação, sendo observado que a degradação do atrazine está inversamente correlacionada com a atividade microbiana e com as doses de glyphosate aos oito dias após a aplicação (Krutz et al., 2003). Ainda, a biomassa microbiana e o quociente metabólico, em campo, foram maiores em amostras de solo submetidas à aplicação de atrazine (1.500 g ha^{-1}) ou à mistura deste com nicosulfuron ($4 \text{ e } 32 \text{ g ha}^{-1}$), em comparação a amostras de solo não tratadas, aos sete dias após a aplicação deles (Jakelaitis et al., 2007). Já a exsudação de glyphosate em *Brachiaria decumbens* e *Lolium multiflorum* não parece ser suficiente para alterar a atividade microbiana em solos argilosos (Tuffi Santos et al., 2005; Ferreira et al., 2006).

Objetivou-se com este trabalho determinar a persistência do herbicida residual imazaquin associado aos herbicidas glyphosate ou paraquat, aplicados em plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi instalado em 21 de outubro de 2005, no município de Eldorado do Sul, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) – região fisiográfica da Depressão Central do RS. Experimento em câmara de crescimento foi instalado na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no município de Porto Alegre. O solo da EEA/UFRGS é classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), como Argissolo Vermelho distrófico típico, com 28% de argila.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais, foram aplicados os herbicidas dessecantes paraquat (600 g ha^{-1}) ou glyphosate (720 g ha^{-1}); nas subparcelas, o herbicida residual imazaquin (300 g ha^{-1}), aplicado sequencialmente ou em



associação com os herbicidas dessecantes, assim como uma testemunha sem aplicação de herbicidas residuais. A aplicação sequencial caracterizou-se pela solubilização das formulações em recipientes distintos e sua aplicação com intervalo de cinco minutos. A associação dos herbicidas dessecante e residual caracterizou-se pela solubilização de ambas as formulações em água, simultaneamente, seguindo-se a sua aplicação. Cada unidade experimental mediu 2 x 5 m, com área útil de 1,5 x 4 m.

A aplicação dos herbicidas foi realizada das 16 às 16h55, com equipamento costal, pressurizado com CO₂, à pressão constante de 200 kPa, contendo bicos tipo leque 8001, distantes entre si de 0,50 m na barra de 1,5 m de largura e com volume de calda de 110 L ha⁻¹. No momento da aplicação, a temperatura média do ar era de 27 °C, e a umidade relativa média do ar, de 71%. A pulverização foi realizada sobre cobertura vegetal viva formada por plantas de *Lolium multiflorum* que estavam na fase de floração. A matéria seca total da cobertura viva foi de 2.800 kg ha⁻¹. Na área experimental em campo, procedeu-se à coletas de amostras de solo para, posteriormente, condução de bioensaios em câmara de crescimento, conforme descrito por Nunes & Vidal (2008). A coleta das amostras de solo foi distribuída no tempo, aos 1, 5, 10, 14, 21, 27 e 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas em campo. O monitoramento da precipitação pluvial foi feito com pluviômetros.

Após as coletas de solo, realizou-se bioensaio em câmara de crescimento, utilizando *Raphanus sativus* como espécie indicadora da persistência dos herbicidas residuais. Três sementes pré-germinadas foram semeadas em vasos com capacidade de 300 cm³. O desenvolvimento das plantas ocorreu com temperatura média de 25,3 ± 3,1 °C e umidade relativa do ar de 85,4 ± 9,8%, com fotoperíodo de 12h e irrigação por aspersão.

No bioensaio, avaliaram-se as variáveis fitotoxicidade e estatura. A primeira foi avaliada aos 7 dias após a semeadura (DAS) das plantas indicadoras nas amostras de solo coletadas em diferentes intervalos de tempo, após a aplicação dos herbicidas no campo (1 aos 35 DAA). A estatura foi avaliada aos 11 DAS, com régua milimétrica. Quanto à

fitotoxicidade, atribuíram-se notas que variaram de 0%, para ausência de efeito, a 100%, para efeito letal nas plantas.

A biodisponibilidade dos herbicidas residuais no solo foi determinada por meio de curva de calibração, utilizando a variável estatura aos 11 DAA. A elaboração da curva de calibração foi feita com a semeadura de sementes pré-germinadas da planta indicadora no solo oriundo do local do experimento em campo (coletado antes da implantação) e aspergidas com 0, 15, 30, 50, 65, 80 e 100% das doses máximas dos rótulos do herbicida imazaquin (140 g ha⁻¹). O desenvolvimento das plantas da curva de calibração ocorreu nas mesmas condições do bioensaio em câmara de crescimento. As curvas de calibração foram obtidas através do programa computacional *Origin 8.0*, após submeter os dados à análise da variância.

A persistência do imazaquin no solo foi determinada mediante a cinética de dissipação de herbicidas (Paul & Clark, 1996), utilizando a equação 1.

$$\ln\left(\frac{[C_f]}{[C_i]}\right) = -kt \quad (1)$$

em que [C_i] e [C_f] são as concentrações de herbicidas indicadas pelo bioensaio no tempo inicial e final, respectivamente; *k* é a constante de dissipação do herbicida no tempo; e *t* é o tempo.

A meia-vida (*t*_{1/2}) na solução do solo foi calculada pela equação 2. A [C_i] foi considerada a partir da data após aplicação dos herbicidas onde houve a máxima quantidade disponível na solução do solo, o que corresponde à menor estatura apresentada pela planta indicadora.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (2)$$

Os dados do bioensaio foram convertidos em porcentagem em relação à testemunha sem herbicida. Os dados provenientes da variável estatura, avaliados aos 11 DAS da planta indicadora, foram utilizados para obter a biodisponibilidade (g ha⁻¹) dos herbicidas residuais no solo, através da curva de calibração. Os dados do bioensaio e da



biodisponibilidade foram em seguida submetidos à análise da variância pelo teste F. As variáveis foram analisadas por comparação das médias de tratamentos pelo teste DMS a 5% de probabilidade ($P \geq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre a pulverização dos herbicidas na cobertura vegetal, em associação ou em aplicação sequencial, e a primeira coleta de solo realizada no primeiro dia após a aplicação (DAA), ocorreu precipitação de 21 mm. Outras precipitações ocorreram até o final das coletas de solo, sendo a de maior intensidade aquela entre as coletas aos 10 e 14 DAA, de 42 mm. Não houve precipitações nos períodos entre 14 e 21 nem entre 21 e 28 DAA. A precipitação acumulada entre a aplicação dos herbicidas e a finalização do estudo, aos 35 DAA, foi de 100 mm (Nunes & Vidal, 2008).

Não houve diferenças significativas, nas variáveis analisadas, entre a aplicação em associação e a aplicação sequencial de glyphosate ou paraquat com imazaquin. Em razão disso, será apresentada a média das formas de aplicação de cada combinação de herbicidas dessecantes com imazaquin. Da mesma forma, Nunes & Vidal (2008) não encontraram diferenças entre a aplicação em associação e a aplicação sequencial de glyphosate ou paraquat com S-metolachlor.

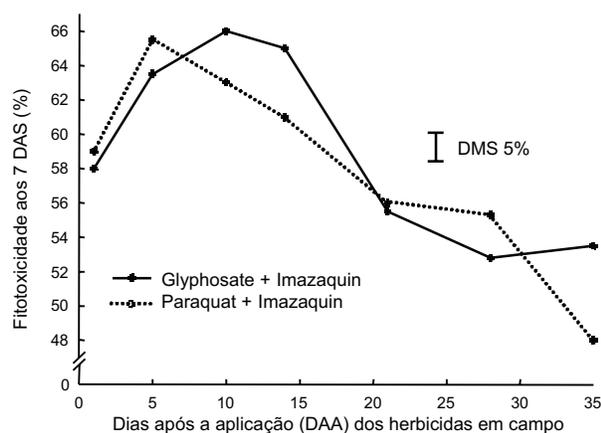


Figura 1 - Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a sua semeadura (DAS) em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas em campo.

Na avaliação de toxicidade realizada aos sete dias após a semeadura (DAS) das plantas indicadoras, a primeira precipitação de 21 mm foi suficiente para mover grande quantidade do imazaquin da cobertura vegetal para a solução do solo, pois a toxicidade causada por esse herbicida nas plantas indicadoras foi de quase 60% no primeiro dia após a sua aplicação, independentemente do herbicida dessecante associado (Figura 1). Dessa forma, a presença da cobertura vegetal parece não trazer consequências na atuação do imazaquin junto ao solo perante as precipitações observadas. Aos 1, 5 e 21 DAA não houve diferença entre as associações dos herbicidas dessecantes (Figura 1). Contudo, aos 10, 14 e 35 DAA, a toxicidade causada às plantas indicadoras por imazaquin foi maior quando associada ao glyphosate, em relação à sua associação com paraquat. Já aos 28 DAA essa toxicidade foi menor quando associada ao glyphosate (Figura 1).

Observa-se, na avaliação da estatura da planta indicadora realizada aos 11 DAS, assim como dos resultados de toxicidade, que a primeira precipitação foi suficiente para mover grande quantidade do imazaquin da cobertura vegetal para a solução do solo, pois a redução da estatura nas plantas indicadoras já no primeiro dia após a aplicação foi de aproximadamente 54% tanto na presença do glyphosate quanto na do paraquat (Figura 2). Aos 1 e

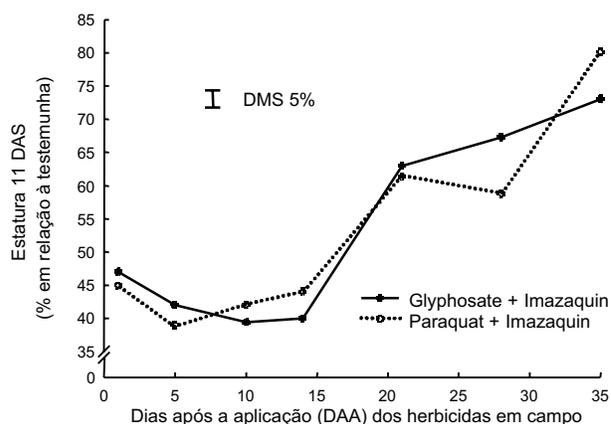


Figura 2 - Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), 11 dias após a sua semeadura (DAS) em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas em campo.

21 DAA não houve diferença entre as associações dos herbicidas dessecantes. No entanto, aos 10, 14 e 35 DAA a redução da estatura das plantas indicadoras causada por imazaquin foi maior quando associada ao glyphosate, em relação à sua associação com paraquat. Entretanto, aos 5 e 28 DAA a toxicidade causada às plantas indicadoras por imazaquin foi menor quando associada ao glyphosate (Figura 2).

Por meio de ensaio de dose-resposta, foi obtida a curva de calibração do imazaquin a partir da variável estatura do nabo forrageiro, avaliada aos 11 DAS. A equação de ajuste seguiu o modelo linear, com R² igual a 0,99 (Figura 3). Por meio da curva de calibração (Figura 3) e da variável estatura do nabo forrageiro, avaliada aos 11 DAS no solo coletado em campo (Figura 2), determinou-se a biodisponibilidade (Figura 4) e a meia-vida (Tabela 1) do imazaquin na solução do solo.

A quantidade máxima bioestimada de imazaquin disponível nos primeiros cinco centímetros da solução do solo foi de 41,1 g de 300,0 g inicialmente aplicados, tanto quando associado com o glyphosate quanto com paraquat. A diferença é que essa máxima biodisponibilidade do imazaquin foi mais ampla quando associada com o glyphosate, em relação ao paraquat. Quando associado com o glyphosate, a máxima biodisponibilidade do imazaquin foi até os 15 DAA, enquanto com o paraquat a biodisponibilidade de 41,1 g de imazaquin foi até aos 5 DAA (Figura 4). Aos 1, 5, 10 e 21 DAA não houve diferença entre as associações. Aos 14 e 35 DAA, a disponibilidade do herbicida imazaquin foi maior quando associado ao glyphosate. Entretanto, aos 28 DAA, a biodisponibilidade foi mais elevada quando o composto estava associado ao paraquat (Figura 4).

A cobertura vegetal e o tipo de herbicida dessecante associado ao herbicida residual influenciam diretamente a quantidade de composto residual disponível na solução do solo. Isensee et al. (1998) revelaram que o atrazine associado com paraquat foi mais eficiente do que quando associado com glyphosate na transposição sobre as coberturas de azevém (*Lolium multiflorum*) e ervilhaca (*Vicia villosa*). Em outro trabalho, utilizando cobertura viva de inverno formada pela associação de

aveia-preta + ervilhaca, foi constatado que as porcentagens da dose inicial de atrazine associado com glyphosate ou com paraquat, detectadas no solo, foram de 41 e 61%, respectivamente (Rodrigues et al., 2000).

Tabela 1 - Constantes de dissipação (k) e meia-vida (t_{1/2}) do herbicida imazaquin quando associado ao paraquat ou glyphosate

Associação	Constante de dissipação (k) (dia ⁻¹)	Meia-vida (t _{1/2}) (dias)
Imazaquin + paraquat	1,15 x 10 ⁻²	60
Imazaquin + glyphosate	1,01 x 10 ⁻²	68

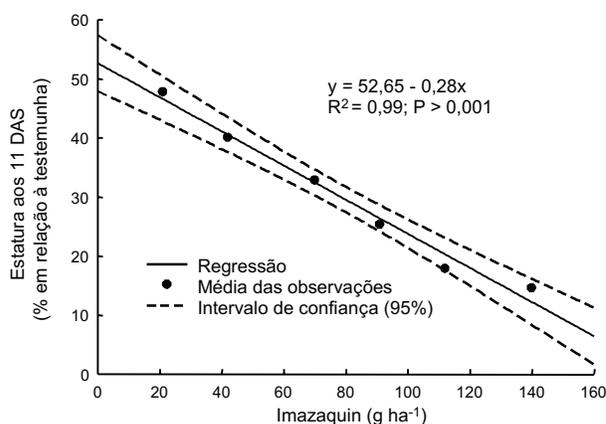


Figura 3 - Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida imazaquin, 11 dias após a sua semeadura.

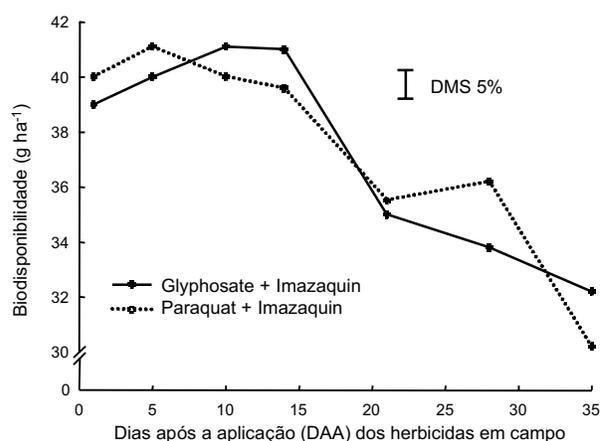


Figura 4 - Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtida através da variável estatura avaliada aos 11 dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro, em amostras de solo com até 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas em campo.



Por meio da cinética de dissipação (equações 1 e 2), verificou-se que a persistência do imazaquin foi maior quando o composto estava associado ao glyphosate, em relação ao paraquat, com constante de dissipação (k) de $0,010 \text{ dia}^{-1}$ ($P > 0,01$) e meia-vida ($t_{1/2}$) de 68 dias ($P > 0,003$) (Tabela 1). Os valores de meia-vida do imazaquin obtidos nesse trabalho estão dentro dos limites normalmente observados para esse herbicida sob condições de campo. Os trabalhos demonstram que as meias-vidas do imazaquin variam entre 8 e 71 dias (Baughman & Shaw, 1996; Seifert et al., 2001; Smith et al., 2005).

A degradação do imazaquin no solo ocorre através de processo microbiano (Flint & Witt, 1997; Greenland, 2003); quanto maiores a biomassa e atividade microbiana, maior será a dissipação do herbicida (Accinelli et al., 2006). Como o paraquat não possui efeito na população microbiana, pois apresenta elevada adsorção ao solo, os resultados de dissipação e meia-vida do imazaquin podem ser explicados pela presença ou ausência do glyphosate. Assim, é possível que na associação entre o imazaquin e o glyphosate a comunidade microbiana dê preferência à degradação do último em relação ao primeiro, ou o glyphosate pode ser tóxico às bactérias que degradam e metabolizam o imazaquin, retardando a dissipação deste no ambiente, em comparação à sua aplicação isolada ou em associação ao paraquat.

O tipo de herbicida dessecante afeta a persistência do imazaquin quando aplicado sobre cobertura vegetal. Não há diferença entre aplicação simultânea e sequencial dos herbicidas dessecantes e residuais. A persistência do imazaquin é maior na presença do glyphosate do que na do paraquat.

LITERATURA CITADA

- ACCINELLI, C. et al. Effects of the antimicrobial agent sulfamethazine on metolachlor persistence and sorption in soil. **Chemosphere**, v. 63, n. 9, p. 1539-1545, 2006.
- AHRENS, W. H. (Ed.). **Herbicide handbook**. 7.ed. Champaign: Weed Science Society of America, 1994. 352 p.
- AICHELE, T. M.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technol.**, v. 19, n. 1, p. 154-159, 2005.
- BASHAM, G. W.; LAVY, T. L. Microbial and photolytic dissipation of imazaquin in soil. **Weed Sci.**, v. 35, n. 6, p. 865-870, 1987.
- BAUGHMAN, T. A.; SHAW, D. R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Sci.**, v. 44, n. 2, p. 380-382, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412 p.
- FERREIRA, E. A. et al. Glyphosate no controle de biótipos de azevém e impacto na microbiota do solo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 73-78, 2006.
- FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A. Persistência do herbicida acetochlor em função de sistema de preparo e cobertura com palha. **Ci. Rural**, v. 33, n. 3, p. 399-404, 2003.
- FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 45, n. 4, p. 586-591, 1997.
- GREENLAND, R. G. Injury to vegetable crops from herbicides applied in previous years. **Weed Technol.**, v. 17, n. 1, p. 73-78, 2003.
- HANEY, R. L. et al. Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosate. **Biol. Fert. Soils**, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2002.
- ISENSEE, A. R.; SADEGUI, A. M.; MYLAVARAPU, R. S. Impact of burn-down herbicides on atrazine washoff from vegetation. **Chemosphere**, v. 36, n. 1, p. 13-19, 1998.
- JAKELAITIS, A. et al. Atividade microbiana e produção de milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 71-78, 2007.
- KATAGI, T. Photodegradation of pesticides on plant and soil surfaces. **Rev. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 182, n. 1, p. 1-189, 2004.
- KRUTZ, L. J.; SENSEMAN, S. A.; HANEY, R. L. Effect of Roundup Ultra on atrazine degradation in soil. **Biol. Fert. Soils**, v. 38, n. 2, p. 115-118, 2003.
- LOUX, M. M.; REESE, K. D. Effect of soil-pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Sci.**, v. 40, n. 3, p. 490-496, 1992.
- MACIEL, C. D. G.; VELINI, E. D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 471-482, 2005.



- NUNES, A. L.; VIDAL, R. A. Persistência do herbicida S-metolachlor associado ao glyphosate ou paraquat em plantio direto. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 385-393, 2008.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 3.ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.
- QUIVET, E. et al. Hydrolytic and photolytic behaviour of imidazolinone pesticides. Case of imazamox and imazapyr. **Actualite Chim.**, v. 31-34, p. 294, 2006. (Suplemento)
- RODRIGUES, B. N. et al. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura do milho, em plantio direto. **R. Bras. Herbic.**, v. 1, n. 2, p. 123-128, 2000.
- SEIFERT, S. et al. Imazaquin mobility and persistence in a Sharkey clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Sci.**, v. 49, n. 4, p. 571-577, 2001.
- SMITH, M. C.; SHAW, D. R.; MILLER, D. K. In-field bioassay to investigate the persistence of imazaquin and pyriithiobac. **Weed Sci.**, v. 53, n. 1, p. 121-129, 2005.
- STOUGAARD, R. N.; SHEA, P. J.; MARTIN, A. R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, n. 1, p. 67-73, 1990.
- TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R. A.; MEROTO JR., A. (Orgs.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. p. 25-36.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto e na respiração microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 143-152, 2005.

