

Persistência da atividade biológica de imazaquin e imazethapyr aplicados em duas épocas do ano

Miriam Hiroko Inoue¹, Rubem Silvério de Oliveira Junior^{1*}, Jamil Constantin¹ e Maurílio Fernandes de Oliveira²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

²Purdue University. *Author for correspondence. e-mail: rsojunior@uem.br

RESUMO. Com o intuito de estimar a persistência da atividade biológica de imazaquin e imazethapyr em um latossolo vermelho escuro, realizou-se este trabalho em Maringá, PR, em dois períodos do ano (inverno/primavera - julho a outubro de 1999 e primavera/verão - dezembro de 1999 a março de 2000). Os herbicidas foram aplicados nas doses de 150 e 600 g/ha, sendo que amostras de solo de 0-2 cm foram coletadas periodicamente das parcelas com herbicida e de uma testemunha sem herbicida até 91 dias após a aplicação (DAA). Em casa de vegetação, foram feitos bioensaios com pepino e sorgo como plantas-teste, semeados nestes materiais coletados no campo. Os resultados obtidos permitiram concluir que o herbicida imazaquin demonstrou maior efeito residual no solo e que doses mais elevadas (600 g/ha) de ambos os herbicidas apresentaram períodos de persistência mais longos que as doses mais baixas, independente da época de aplicação e planta-teste utilizada. Observou-se que, na época de primavera/verão, a porcentagem de inibição na produção de biomassa, nas parcelas com os herbicidas, diminuiu de forma mais rápida, quando comparada ao período de inverno/primavera. Constatou-se também que o pepino foi mais sensível que o sorgo como bioindicador da atividade de imazaquin e imazethapyr.

Palavras-chave: bioensaio, imidazolinonas, persistência no solo.

ABSTRACT. Persistence of biological activity of imazaquin and imazethapyr sprayed in two seasons of the year. With the aim of estimating the persistence of imazaquin and imazethapyr soil biological activity in a dark red latosol in Maringá, PR, Brazil, experiments were carried out in two different seasons of the year (winter/spring - from July to October, 1999, and spring/summer - from December 1999, to March, 2000). The herbicides were applied at 150 and 600 g/ha, and soil samples from 0-2 cm depth were collected from herbicide-treated plots and no-herbicide check up to 91 days after application (DAA). In greenhouse, bioassays using cucumber and sorghum as test-species were carried out, sowing these two species in soil samples collected from the experimental field. Results obtained allowed to conclude that imazaquin displayed a longer soil residual effect, and that higher rates (600 g/ha) of both herbicides provided longer periods of persistence, despite the season of application. The inhibition percentage of biomass production in samples from spring/summer herbicide-treated soil decreased faster, when compared with winter/spring application. Cucumber was more sensitive than sorghum as bioindicator of imazaquin and imazethapyr soil biological activity.

Key words: bioassay; imidazolinones; carryover.

O solo é, normalmente, o destino final dos pesticidas aplicados nas culturas de interesse agrícola. A persistência destes compostos é uma característica físico-química específica, embora seja fortemente influenciada por fatores relacionados ao ambiente, ao manejo do solo e à dose inicial. Para os herbicidas, a persistência representa a capacidade do composto em demonstrar seu efeito residual, prevenindo o

desenvolvimento das plantas daninhas de uma determinada área. Por outro lado, herbicidas com bioatividade muito prolongada podem causar injúrias a plantas sensíveis em um sistema de rotação de culturas ou em culturas consorciadas (Blanco e Oliveira, 1987).

Herbicidas de maior persistência no solo apresentam também maior risco de contaminação aquática, seja por lixiviação ou por erosão ("runoff").

Neste contexto, enquadram-se imazaquin e imazethapyr, do grupo químico das imidazolinonas, intensamente utilizados em aplicações em pré e pós-emergência, respectivamente, na cultura da soja, no Centro-Sul do Brasil. Milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) e pepino (*Cucumis sativus*) são algumas das espécies sensíveis a resíduos destes produtos (Gunsolus et al., 1986; Goetz et al., 1990; Vencil, 1990; Rabaey e Harvey, 1997).

A degradação destes herbicidas no solo parece ocorrer basicamente através da ação de microorganismos (Cantwell et al., 1989). Desta forma, fatores que afetem a atividade microbiana acabam alterando a dinâmica de degradação desses herbicidas. Sabe-se que, em condições de clima temperado, o imazaquin apresenta meia-vida de 60 dias (Wauchope et al., 1992) e o imazethapyr de 60 a 90 dias (Ahrens, 1994), embora, para este herbicida, já tenham sido encontrados valores de até 257 dias (Vischetti, 1995). Em solos ácidos, a atividade das imidazolinonas no solo tende a persistir por maior período de tempo, uma vez que a sorção é mais intensa (Mangels, 1991).

Praticamente não há informações a respeito do comportamento destes produtos em solos brasileiros, especialmente quanto ao potencial de persistência. Em condições tropicais, existem indicativos consistentes (Oliveira Jr. et al., 1999a; Silva et al., 1999) de que o imazaquin e imazethapyr podem apresentar atividade por período de tempo suficiente para causar injúrias em espécies cultivadas após a soja, tais como o milho e sorgo.

Com base no exposto, este trabalho teve por finalidade estimar a persistência da atividade biológica de imazaquin e imazethapyr em um latossolo vermelho escuro durante dois períodos do ano (inverno/primavera e primavera/verão).

Material e métodos

O trabalho foi instalado em um latossolo vermelho escuro, localizado na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá (latitude 23°25'S, longitude 51°57'W). As características químicas e físicas deste solo encontram-se na Tabela 1. O noroeste do Paraná, região onde foi instalado o trabalho de campo, apresenta como clima predominante o Cfa - clima subtropical úmido mesotérmico, caracterizando-se pela predominância de verões quentes, baixa frequência de geadas severas e uma tendência de

concentração de chuvas no período de verão, além de apresentar invernos secos e curtos (classificação de Koeppen). O experimento foi conduzido em duas épocas distintas: julho a outubro de 1999 (inverno/primavera) e dezembro de 1999 a março de 2000 (primavera/verão). Para cada época em que o trabalho foi desenvolvido, houve duas fases distintas: a aplicação dos herbicidas no campo e os bioensaios conduzidos em casa de vegetação.

Fase de campo. Os herbicidas imazaquin e imazethapyr foram aplicados nas doses de 150 e 600 g/ha, equivalentes às doses comerciais recomendadas e quatro vezes essa dose. Utilizou-se um pulverizador com pressão constante, à base de CO₂, munido de 4 bicos leque 110.02, espaçados entre si de 0,50 m, aplicando volume de calda equivalente a 170 L/ha. Além das doses dos herbicidas, havia uma testemunha sem herbicida, totalizando cinco tratamentos.

Foi adotado um delineamento de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas. As parcelas, cujas dimensões eram de 2 m x 10 m, receberam as doses dos herbicidas e a testemunha sem herbicida. As subparcelas, cujas dimensões eram de 2 m x 1 m, foram constituídas pelas datas de coleta das amostras (0, 7, 14, 21, 28, 35, 49, 63, 91 dias após a aplicação - DAA).

As amostras de solo foram coletadas superficialmente (0-2 cm) no centro da área das subparcelas (0,5 x 0,5 m). Logo após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e guardadas em freezer (-15°C) até a montagem dos bioensaios. A Figura 1 apresenta os valores médios diários de temperatura e a ocorrência de precipitações durante os intervalos de coleta de amostras de solo no campo.

Bioensaio. Cada amostra foi dividida em dois vasos para que as espécies bioindicadoras sorgo e pepino fossem semeadas separadamente. As amostras foram acondicionadas em vasos plásticos, sendo que cada vaso recebeu 250 g de solo. Foram distribuídas 10 sementes de cada espécie por vaso e mantidas condições propícias para a germinação e crescimento das espécies-teste por meio de duas irrigações diárias. Doze dias após a semeadura, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo, determinando-se a biomassa seca da parte aérea das plantas, após secagem em estufa de ventilação forçada por 24 h.

Tabela 1. Características químicas e físicas de amostras de solo oriundas da área do experimento de campo

pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	P	C	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂ H ₂ O	cmol/dm ³					mg/dm ³	g/dm ³	%		
5,9 6,8	0,00	2,19	2,87	1,71	0,20	16	7,98	79	01	20

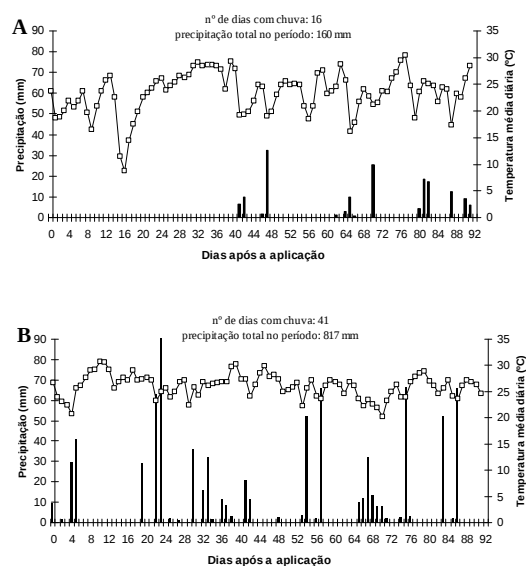


Figura 1. Valores de temperatura média diária ($^{\circ}$), em $^{\circ}$ C, e precipitação em 24 h (mm) durante os períodos de condução do experimento no campo. Época de aplicação **A:** 30/07/1999, **B:** 09/12/1999

O delineamento utilizado em casa de vegetação foi em blocos casualizados, com 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o Saeg (Gomes *et al.*, 1990). A análise de regressão foi feita independentemente da significância observada pelo teste F: Na escolha dos modelos de regressão, o critério utilizado foi o da significância até 5% de seus coeficientes pelo teste t. O modelo geral utilizado foi o seguinte:

$$I = \mu + D_i + D_i^2 + e_{ijk}, \text{ em que:}$$

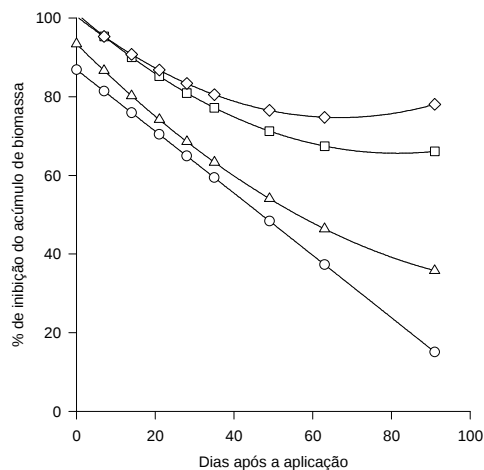
I = % de inibição do acúmulo da biomassa em relação à testemunha sem herbicida, μ = média geral, D_i = i -ésimo dia após a aplicação, e_{ijk} = erro

Resultados e discussão

Observa-se (Figuras 2 e 3) que a dose inicial influencia, em grande intensidade, a persistência da atividade de ambos herbicidas no solo, independente da espécie bioindicadora utilizada. Nos dois casos, doses mais elevadas (600 g/ha) apresentam períodos de persistência no solo mais longos do que as doses mais baixas. Vischetti (1995), ao examinar a persistência do imazethapyr em condições de laboratório com métodos cromatográficos, não conseguiu observar efeitos consistentes da dose sobre a meia-vida do herbicida. Por outro lado, Loux *et al.* (1989) demonstraram que a atividade fitotóxica de imazaquin sobre plantas de milho utilizadas como bioindicadores foi direta e proporcionalmente afetada pela concentração inicial

aplicada, o que se aproxima da metodologia e dos resultados obtidos neste trabalho.

A



B

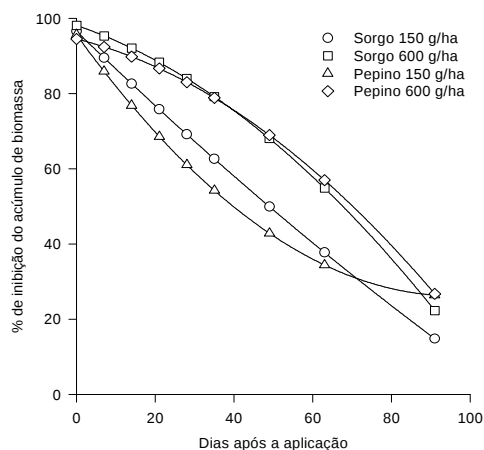


Figura 2. Curvas de inibição da biomassa (% em relação à testemunha sem herbicida) de sorgo e pepino após a aplicação de imazaquin em duas doses sob condições de inverno/primavera (A) e de primavera/verão (B).

A Tabela 2 mostra que o comportamento da atividade residual foi diferente para os herbicidas estudados. O imazaquin apresentou, independente da época de aplicação e da espécie utilizada, períodos de tempo mais longos para que a inibição de 50% do acúmulo de biomassa da parte aérea dos bioindicadores chegasse a 50%, sugerindo que, nas condições estudadas, este herbicida apresenta maior potencial de *carryover*. Na dose de 600 g/ha, para ambas as espécies utilizadas, não foi sequer possível identificar os valores de I_{50} deste produto no inverno, uma vez que, durante todo o decorrer do período de coleta de amostras de solo (91 dias), a inibição do acúmulo da biomassa foi superior a 50% (Tabela 2). Tomando-se os valores de I_{50} como indicativos da atividade residual destes

herbicidas no solo é possível compará-los a valores de meia-vida relatados em literatura; Mills e Witt (1989), utilizando bioensaios com milho, observaram meia-vida do imazaquin de 43 dias, semelhante aos valores observados principalmente na dose de 150 g/ha. No mesmo trabalho, encontrou-se meia-vida de 60 dias para o imazethapyr, o que é superior aos valores observados para sorgo e pepino na dose normal (150 g/ha) de aplicação. Este fato sugere que a metodologia utilizada possa ter influenciado nos valores observados. Já se demonstrou anteriormente que o imazethapyr é muito pouco sorvido em solos brasileiros (Oliveira Jr. *et al.*, 1999a) e que a sorção é tanto menor quanto mais próximo de neutro é o pH do solo (Oliveira Jr. *et al.*, 1999b). No solo em questão neste estudo, poderia ter ocorrido lixiviação de parte do herbicida aplicado à superfície, fazendo com que menor quantidade de herbicida estivesse presente na camada de solo coletada, subestimando o efeito sobre a biomassa dos bioindicadores.

Tabela 2. Valores de I_{50} (período de tempo, em dias, necessário para que a inibição do acúmulo de biomassa da espécie bioindicadora, em relação à testemunha sem herbicida, chegue a 50%) para imazaquin e imazethapyr aplicados em duas épocas distintas, avaliado por meio de dois bioindicadores

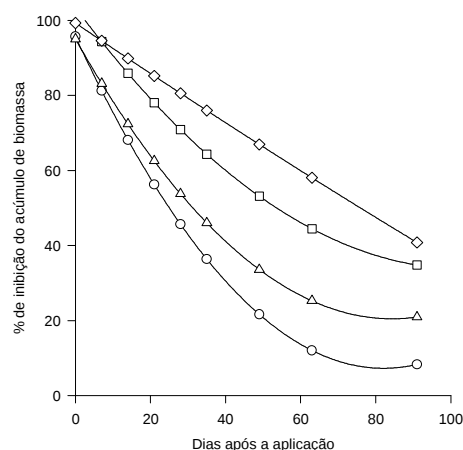
Herbicida	Espécie	Dose (g i.a./ha)	I_{50} inverno (dias)	I_{50} verão (dias)
imazaquin	sorgo	150	47	49
imazaquin	sorgo	600	nd	58
imazaquin	pepino	150	56	40
imazaquin	pepino	600	nd	70
imazethapyr	sorgo	150	25	27
imazethapyr	sorgo	600	53	51
imazethapyr	pepino	150	31	30
imazethapyr	pepino	600	76	59

nd - não detectado no decorrer do experimento (inibição no crescimento foi sempre superior a 50%)

Sabe-se que a degradação, e por consequência, a persistência da atividade biológica dos herbicidas, é fortemente influenciada pela condição climática vigente durante o período de análise. Comparando os resultados de I_{50} obtidos neste trabalho nas duas épocas (Tabela 2), observa-se que houve maior efeito da época de aplicação sobre a degradação do imazaquin do que do imazethapyr, embora, em ambos os casos, a persistência tenha sido maior na aplicação de inverno do que na de verão. Durante o primeiro período em que as amostras de solo foram coletadas no campo, houve apenas 16 dias em que se registrou chuva, com um total de 160 mm de precipitação no decorrer de todo o período (Figura 1A). Além disso, ocorreram vários dias nos quais a temperatura média foi baixa. No segundo período (verão) (Figura 1B), o total de dias em que ocorreram chuvas foi de 41, com 817 mm de precipitação total no período. O período de veranico típico do inverno do Paraná restringiu a disponibilidade de água no solo, o que, por sua vez, pode ter limitado a

atividade microbiana e, conseqüentemente, a degradação dos dois herbicidas. O efeito negativo da baixa disponibilidade de água no solo sobre a degradação de outros herbicidas já foi anteriormente descrita para 2,4-D e atrazine (Willens *et al.* 1996), clomazone (Mervosh *et al.*, 1995), metsulfuron-methyl (Ismail e Lee, 1995), alachlor (Moon e Walker, 1997), chlorsulfuron (Ravelli *et al.*, 1997) e para as próprias imidazolinonas (Flint e Witt, 1997).

A



B

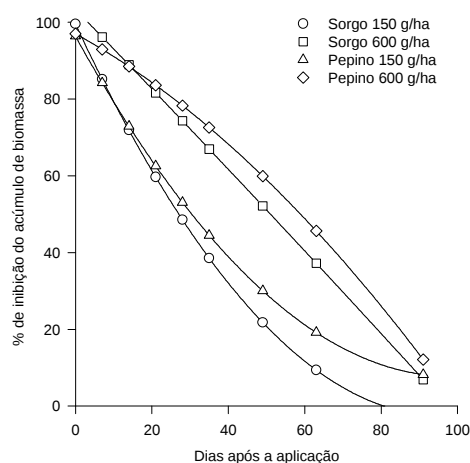


Figura 3. Curvas de inibição da biomassa (% em relação à testemunha sem herbicida) de sorgo e pepino após a aplicação de imazethapyr em duas doses sob condições de inverno/primavera (A) e de primavera/verão (B)

Ao comparar-se os valores de I_{50} obtidos com a utilização de plantas de sorgo e de pepino (Tabela 2), observa-se que, em praticamente todas as combinações de doses e herbicidas, o pepino apresentou maior sensibilidade como bioindicador da persistência das duas imidazolinonas estudadas, uma vez que, através das equações de regressão estabelecidas (Tabela 3), e considerando uma mesma dose, maiores valores de I_{50} foram estimados para esta espécie.

Tabela 3. Parâmetros das análises de regressão da persistência da atividade de herbicidas. Nas equações, I identifica a % de inibição da biomassa seca da parte aérea das plantas teste em relação à testemunha, e D representa os dias após a aplicação

Espécie	Dose (g/ha)	Herbicida	Época	Equação	R ²
sorgo	150	imazaquin	inverno	$I = 86,87 - (0,7812D) + (0,0000864D^2)$	0,91
sorgo	600	imazaquin	inverno	$I = 101,20 - (0,8731D) + (0,0053563D^2)$	0,81
pepino	150	imazaquin	inverno	$I = 93,43 - (1,0002D) + (0,0040286D^2)$	0,97
pepino	600	imazaquin	inverno	$I = 100,41 - (0,7695D) + (0,0057578D^2)$	0,81
sorgo	150	imazethapyr	inverno	$I = 95,72 - (2,1552D) + (0,0131288D^2)$	0,98
sorgo	600	imazethapyr	inverno	$I = 103,43 - (1,3443D) + (0,0064827D^2)$	0,96
pepino	150	imazethapyr	inverno	$I = 95,06 - (1,7675D) + (0,0104137D^2)$	0,97
pepino	600	imazethapyr	inverno	$I = 99,31 - (0,6814D) + (0,0004215D^2)$	0,97
sorgo	150	imazaquin	verão	$I = 96,53 - (1,0128D) + (0,0012656D^2)$	0,99
sorgo	600	imazaquin	verão	$I = 98,10 - (0,3583D) - (0,0052117D^2)$	0,99
pepino	150	imazaquin	verão	$I = 95,63 - (1,4463D) + (0,0075374D^2)$	0,90
pepino	600	imazaquin	verão	$I = 94,48 - (0,2607D) - (0,0053150D^2)$	0,97
sorgo	150	imazethapyr	verão	$I = 99,57 - (2,1343D) + (0,0111576D^2)$	0,92
sorgo	600	imazethapyr	verão	$I = 103,37 - (1,0280D) - (0,0003505D^2)$	0,97
pepino	150	imazethapyr	verão	$I = 96,39 - (1,804D) + (0,0091755D^2)$	0,97
pepino	600	imazethapyr	verão	$I = 97,01 - (0,5511D) - (0,0041957D^2)$	0,98

Referências bibliográficas

- Ahrens, W.H. (ed.). *Herbicide handbook*. 7.ed. Champaign: Weed Science Society of America, 1994. 352 p.
- Blanco, H.G.; Oliveira, D.A. Persistência de herbicidas em Latossolo Vermelho Amarelo em cultura de cana-de-açúcar. *Pesq. Agrop. Bras.*, 22(7):681-687, 1987.
- Cantwell, J.R.; Liebl, R.A.; Slife, F.W. Biodegradation characteristics of imazaquin and imazethapyr. *Weed Sci.*, 37:815-819, 1989.
- Flint, J.L.; Witt, W.W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. *Weed Sci.*, 45:586-591, 1997.
- Goetz, A.J.; Lavy, T.L.; Gbur, E.E. Degradation and field persistence of imazethapyr. *Weed Sci.*, 38:421-428, 1990.
- Gomes, J.M.; Garcia, S.L.R.; Braga Filho, J.M. *SAEG*. Viçosa: Imprensa Universitária, 1990. p.63.
- Gunsolus, J.L.; Behrens, R.H.; Lueschen, W.E.; Warnes, D.D.; Wiersma, J.V. Carryover potential of AC-263,499, DPX-F6025, FMC 57020, and imazaquin in Minnesota. *Proc. North Cent. Weed Control Conf.*, 1986. p.41-52.
- Ismail, B.S.; Lee, H.J. Persistence of metsulfuron-methyl in two soils. *J. Environ. Sci. Health, B*, 30(4):485-497, 1995.
- Loux, M.M.; Liebl, R.A.; Slife, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr and clomazone in soil. *Weed Sci.*, 37:259-267, 1989.
- Mangels, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil - A review of the literature. In: Shaner, D.L.; O'Connor, S.L. (ed.). *The imidazolinone herbicides*. Boca Raton: CRC Press, 1991. p.191-209.
- Mervosh, T.L.; Sims, G.K.; Stoller, E.W. Clomazone fate in soil as affected by microbial activity, temperature and soil moisture. *J. Agric. Food. Chem.*, 43(2):537-543, 1995.
- Mills, J.A.; Witt, W.W. Efficacy, phytotoxicity and persistence of imazaquin, imazethapyr and clomazone in no-till double-crop soybeans (*Glycine max*). *Weed Sci.*, 37(3):353-359, 1989.
- Moon, Y.H. e Walker, A. The degradation and mobility of alachlor in a sandy loam soil. *Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, 1997. p.499-506.
- Oliveira Jr., R.S.; Koskinen, W.C.; Ferreira, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides in Brazilian soils. In: WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA MEETING, 39. San Diego. *Abstracts...* San Diego: Lawrence, 1999a. p.47.
- Oliveira Jr., R.S.; Koskinen, W.C.; Ferreira, F.A.; Khakural, B.R.; Mulla, D. J.; Robert, P.C. Spatial variability of imazethapyr sorption in soil. *Weed Sci.*, 47(2):243-248, 1999b.
- Rabacy, T.L.; Harvey, R.G. Sweet corn (*Zea mays*) hybrids respond differently to simulated imazethapyr carryover. *Weed Technol.*, 11(1):92-97, 1997.
- Ravelli, A.; Pantani, O.; Calamai, L.; Fusi, P. Rates of chlorosulfuron degradations in three Brazilian soils. *Weed Res.*, 37:51-59, 1997.
- Silva, A.A.; Oliveira Jr., R.S.; Costa, E.R.; Ferreira, L.R.; Constantin, J.; Apoloni, D.K.M.; Oliveira, M.F. Persistência de herbicidas do grupo das imidazolinonas e efeitos sobre as culturas de milho e sorgo. *Acta Scientiarum*, 21(3):459-465, 1999.
- Vencil, W.K.; Wilson, H.P.; Hines, T.E.; Hatzios, K.K. Common lambsquarters (*Chenopodium album*) and rotational crop response to imazethapyr in pea (*Pisum sativum*) and snap bean (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Technol.*, 4:39-43, 1990.
- Vischetti, C. Measured and simulated persistence of imazethapyr in soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 54:420-427, 1995.
- Wauchope, R.D.; Buttler, T.M.; Hornsby, A.G.; Augustijn-Beckers, P.W.M.; Burt, J.P. The SCS/ARS/CES Pesticide properties database for environmental decision-making. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 123:1-164, 1992.
- Willens, H.P.L.; Lewis, K.J.; Dyson, J.S.; Lewis, F.J. Mineralization of 2,4-D and atrazine in the unsaturated zone of a sandy loam soil. *Soil Biol. Biochem.*, 28(8):989-996, 1996.

Received on May 12, 2000.

Accepted on August 31, 2000.