

GLIFOSATO, SUPERPLANTAS E SUBMINHOCAS

RESUMO

O glifosato é um herbicida considerado de baixa toxicidade sendo o mais utilizado principalmente em plantações de soja transgênica e mesmo em outras atividades domiciliares de combate ao crescimento de plantas indesejadas. Atualmente o Brasil é um dos maiores consumidores deste agrotóxico no mundo. Entretanto seu uso tem provocado o desenvolvimento de resistência em algumas plantas e também casos de impacto negativo sobre a biota do solo. As minhocas são organismos importantes para ciclagem de nutrientes e para a rede trófica dos solos, mas estudos em laboratório mostram que estes animais podem estar sendo seriamente afetadas por este herbicida. Organismos expostos a concentrações de glifosato de 1, 10, 100, 500, 1000 mg.Kg-1 por períodos incubatórios de 14, 21, 28, 42 e 56 dias mostraram redução de peso (perda de até 50%), parada reprodutiva e notórias alterações morfológicas. Estes resultados sugerem que estes organismos estão sob risco e podem inclusive desaparecer de plantações que usam este agrotóxico e evidenciam uma séria lacuna no conhecimento das relações biota-ambiente com consequente efeito sobre a saúde ambiental.

PALAVRAS-CHAVES: Poluição do Solo; Herbicida; Minhocas; Plantas Daninhas.

GLYPHOSATE, SUPERWEEDS AND SUBWORMS

ABSTRACT

The glyphosate is considered an herbicide of low toxicity and it is one of the most used in plantations of transgenic soy and other domiciliary activities for killing unwanted plants. Currently Brazil is one of the biggest consumers of this pesticide in the world. However its use has provoked the development of resistance in several plants and also cases of negative impact on soil biota. The earthworms are important organisms for cycling of nutrients and the soil trophic net, but studies in laboratory are shown that these animals can be seriously affected for this herbicide. Earthworms exposed to concentrations of glyphosate of 1, 10, 100, 500, 1000 mg.Kg-1 for periods of 14, 21, 28, 42 and 56 days have shown reduction of body weight (loss of up to 50%), reproductive stop and morphologic alterations. The results suggest that these organisms are at risk and may even disappear from plantations that use this pesticide and show a serious gap in our knowledge of the biota-environment relationships with consequent effects on environmental health.

KEYWORDS: Soil Pollution; Herbicide; Earthworms; Weeds.

Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.6, n.1, Dez 2014, Jan, Fev, Mar, Abr, Mai 2015.

ISSN 2179-6858

SECTION: *Articles*
TOPIC: *Notas Científicas*



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0025

Fabio Veríssimo Correia

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3463191518030972>
fabio.correia@unirio.br

Josino Costa Moreira

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9103989779392600>
josinocm@fiocruz.br

Cristiane Araujo Nascimento

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3062245281529524>
ristianearaujonascimento@hotmail.com

Emiliano de Oliveira Barreto

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2655854155812760>
emilianobarreto@icbs.ufal.br

Received: 18/09/2014

Approved: 14/10/2015

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Referencing this:

CORREIRA, F. V.; MOREIRA, J. C.; NASCIMENTO, C. R.;
BARRETO, E. O.. *Glifosato, Superplantas e Subminhocas.*
Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais,
Aquidabã, v.6, n.1, p.323-332, 2015. DOI:
<http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0025>

INTRODUÇÃO

Embora há bastante tempo se saiba da existência de plantas daninhas tolerantes/resistentes ao glifosato, recentemente este assunto tem ganho importância com a publicação de vários artigos na imprensa. Há pouco foi noticiado que agricultores americanos estão preocupados com a proliferação de plantas daninhas resistentes ao 'Roundup' uma vez que estão prejudicando a cultura da soja transgênica (Folha, 2011). Esta reportagem relata que os plantadores de soja RR (Roundup resistentes) estão sendo obrigados a utilizar outros mecanismos tais como a aração e o uso de misturas de herbicidas mais tóxicos porque o glifosato não está tendo sucesso no combate a estas plantas. As "superervas", como estas plantas têm sido chamadas, adquiriram resistência ao glifosato e passaram a constituir um problema de tal ordem que o presidente da Arkansas Association of Conservation Districts considerou-as 'a maior ameaça para a produção agrícola jamais vista'. Isto coloca sob suspeita uma série de vantagens apregoadas pela indústria de agrotóxicos sobre o uso do glifosato.

Quando surgiu pela primeira vez em meados de 1990 a resistência de plantas daninhas aos herbicidas, o uso de culturas GM RR foi pouco discutido, embora o fenômeno da resistência fosse bem conhecido. Agora, 20 anos mais tarde, a resistência de plantas daninhas ao glifosato é um dos efeitos mais bem documentados e apresenta uma "grande preocupação ambiental" no cultivo de culturas GM RR (IAASTD, 2009).

DISCUSSÃO TEORICA

Glifosato

O glifosato é um herbicida de amplo espectro, não seletivo, cujas propriedades foram descritas pela Monsanto em 1970 e comercializado a partir de 1974 sob o nome de Roundup, como agente controlador de plantas indesejadas (mata-mato). O nome químico desta substância é N-(fosfometil) glicina, cuja fórmula estrutural é mostrada na Figura 1 (DUKE, 1988; CERDEIRA et al., 2007; INOUE et al., 2003).

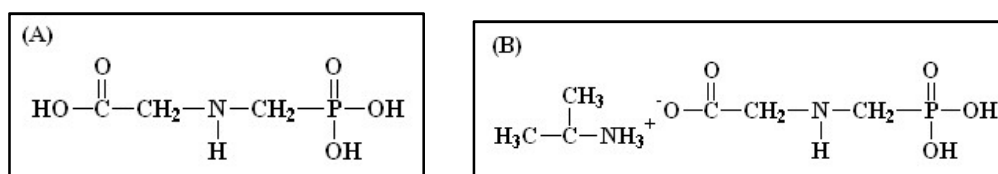


Figura 1: Fórmula estrutural do glifosato (a) e seu sal de isopropilamina (b)

Trata-se de uma substância anfótera (capaz de doar e receber prótons), altamente polar, possuindo vários pKa (2,34, 5,73 e 10,2) como mostrado na Figura 2. Utilizado sobretudo na forma de sais (principalmente isopropilamina), devido a maior solubilidade em água desses derivados e também praticamente insolúvel em solventes orgânicos.

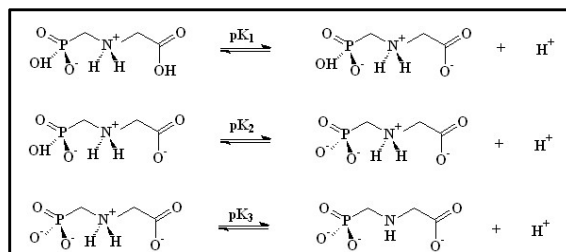


Figura 2: Dissociações do glifosato (apresentado sob a forma de zwitterion).

É um herbicida bastante eficiente na inibição do crescimento de plantas, sendo amplamente utilizado no controle de plantas indesejadas nos cultivos de plantas geneticamente modificadas que se tornaram artificialmente tolerantes, especialmente a soja (*Glycine Max L.*), o algodão (*Gossypium hirsutum L.*), a canola (*Brassica nappus L.*) e o milho (*Zea Mays L.*). Estas variantes são conhecidas como *Roundup ready* (CASTLE et al., 2004; CERDEIRA & DUKE, 2006; YASOUR & RUBIN, 2007). O mecanismo de ação do glifosato baseia-se na inibição da produção de aminoácidos aromáticos essenciais as plantas (fenilalanina, tirosina e triptofano) através de um mecanismo que não é partilhado com o reino animal, reduzindo a síntese de proteínas e provocando transtornos metabólicos gerais (DUKE, 1998; WILLIANS et al., 2000; CERDEIRA et al., 2007).

Os aminoácidos são as bases fundamentais para a produção de peptídeos e de proteínas. Os organismos usam 20 aminoácidos nestas sínteses. Os animais são capazes de sintetizarem 12 deles, mas os 8 restantes, denominados aminoácidos essenciais, devem ser adquiridos através da dieta. Os vegetais são organismos capazes de sintetizar todos os 20 aminoácidos. Como o glifosato atua inibindo o processo bioquímico de produção da fenilalanina, da tirosina e do triptofano, sua ação afeta exclusivamente as plantas (WILLIANS et al., 2000). O glifosato é absorvido principalmente pelas folhas de onde é distribuído (translocado) através das plantas. A natureza anfotérica do glifosato faz com que esta substância seja adsorvida as partículas do solo de modo que se torna indisponível para as plantas (PROCOPIO et al., 2007) fazendo com que sua absorção pelas raízes seja baixa. Sofre degradação ambiental por ação de microrganismos com formação de ácido aminometilfosfonico (AMPA), sendo este metabólito encontrado em folhas e sementes de plantas tratadas com glifosato (CHRISTOFOLETI et al., 1994; CHRISTOFOLETI & LOPES, 2008).

A frequência de aplicação do glifosato depende das espécies-alvo, ou seja, das características das plantas indesejadas a serem combatidas. A dosagem recomendada é em função das espécies mais tolerantes presentes na área, podendo variar de 0,48 a 2,88 kg i.a. /ha (AMARANTE JR et al., 2002). Na cultura da soja transgênica (planta resultante da introdução artificial de genes - *Agrobacterium* CP4 (CP4 EPSPS)- isolados de microrganismos resistentes ao glifosato na soja comum modificada por engenharia genética, em áreas com alta infestação de plantas indesejadas ou germinação desuniforme das mesmas, tem sido recomendada a realização de aplicações sequenciais em duas oportunidades. A primeira na dose de 1,5 l/ha até 20 dias após a emergência da soja e a segunda na dose de 1,0 l/ha no intervalo de 15 a 20 dias

da primeira aplicação. Dependendo do nível de infestação e o tipo de planta presente, alguns agricultores têm efetuado mais uma aplicação adicional (AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

Entretanto, estudos têm demonstrado claramente que o uso constante de um herbicida ou de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação exerce alta pressão de seleção, reduzindo ou eliminando os indivíduos suscetíveis, aumentando o número de indivíduos tolerantes e a manifestação de biótipos resistentes (CHRISTOFOLETI et al., 1994; CHRISTOFOLETI & E LOPES, 2008). Diante deste fato, alguns agricultores têm optado pelo uso combinado do glifosato com outros herbicidas mais tóxicos com o objetivo de aumentar o espectro e a eficácia de controle de plantas consideradas mais tolerantes à ação do glifosato isoladamente (PROCOPIO et al., 2007). Outros agricultores também estão optando pelo retorno do uso da aração abaixo do sistema radicular das plantas daninhas, com o objetivo de eliminá-las. O revolvimento do solo proporciona um aumento na erosão, o que facilita o transporte de produtos químicos para água e gasto excessivo de combustível nos tratores. No entanto, toda esta busca tecnológica tem como objetivo único o aumento de produção não levando em consideração os efeitos destas diferentes práticas de manejo sobre a biota do solo, sobre o ambiente e conseqüentemente sobre a saúde ambiental (AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

Neste ponto é importante definir que 'saúde ambiental', como recomendado pela OMS, é aquela que compreende os aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que são determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicossociais do ambiente. Este conceito se refere ainda aos aspectos teóricos e práticos de avaliar, corrigir, controlar e prevenir os fatores ambientais que potencialmente podem afetar de forma adversa a saúde das gerações presentes e futuras (WHO 1993). De acordo com a classificação de toxicidade utilizada pelo IBAMA, o glifosato foi enquadrado na classe II como muito perigoso, sendo as suas principais características ambientais a de não sofrer degradação hidrolítica e fotolítica, ser altamente solúvel em água, altamente tóxico para microrganismos de solo, muito tóxico para microcrustáceos e peixes e possui baixa toxicidade oral e dérmica para mamíferos (WILLIAMS et al., 2000; AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

Em humanos pode ser absorvido principalmente pelo trato gastrointestinal ou através da pele. A urina é a principal via de eliminação do glifosato nos mamíferos. A toxicidade aguda oral para o glifosato, expressa como LD 50 foi estimada como > 5.000 mg/kg de peso e aparentemente esta substância é um herbicida bastante seguro, em relação a suas ações tóxicas sobre o organismo humano. Não é um agente inibidor das colinesterases, não sendo classificado como mutagênico, carcinogênico, teratogênico ou tóxico reprodutivo ou no desenvolvimento (WILLIAMS et al., 2000).

A classe de agrotóxicos mais utilizada pela agricultura brasileira é a dos herbicidas. Em 2008, o consumo de herbicidas ultrapassou os 59% do total geral dos pesticidas utilizados no Brasil, registrando uma demanda aproximada de 186 mil toneladas de ingrediente ativo, o equivalente a cerca de 320 milhões de litros de produtos formulados. Dentre os herbicidas o consumo do glifosato é responsável por cerca de 65% deste total, perfazendo cerca de 120 mil

toneladas de princípio ativo. Sua importância é evidenciada quando se sabe que a safra brasileira de 2008/2009 foi de 57,2 milhões de toneladas de soja das quais cerca de 70% de origem transgênica (INDEA 2010).

Superervas

O aparecimento de plantas indesejadas resistentes a determinado pesticida é relativamente simples, pois existem normalmente indivíduos com variações genéticas capazes de tolerarem maior concentração do agente exterminador que outras. As aplicações continuadas desses produtos levam a uma seleção das espécies mais tolerantes. Em alguns casos as espécies tolerantes são capazes de resistirem a concentrações de 10 a 20 vezes maiores que as espécies não tolerantes. Atualmente estima-se que mais de 130 espécies vegetais desenvolveram resistência a este herbicida (Folha, 2011).

Controlar ervas daninhas resistentes ao glifosato tem se tornado um grande problema para os agricultores. A Monsanto reconhece isso, e tem publicado orientações sobre como lidar com os problemas de resistência de plantas daninhas que crescem em culturas GM RR (Van Gessel, 2001). Estratégias recomendadas pela Monsanto incluem: Utilizar formulações mais fortes de glifosato ou de misturas de glifosato com outros herbicidas, por exemplo, o notório 2,4-D – um ingrediente ativo do agente laranja, o desfolhante usado pelo Exército dos EUA durante o Vietnã, e Produzir sementes transgênicas com genes tolerantes a vários herbicidas, que permitiriam a pulverização de outros produtos além glifosato sobre as culturas.

Estas estratégias adicionam à quantidade de herbicidas, o aumento da carga tóxica global de culturas GM RR, e estimulam o ciclo ininterrupto entre a agricultura e a industrial do uso de herbicidas e sua resistência. Os perfis toxicológicos para misturas de herbicidas não são claras. No entanto, é claro o aumento na crescente pressão tóxica sobre o ambiente e as pessoas. As plantas submetidas ao glifosato podem adquirir resistência a este herbicida por diversos mecanismos tais como: a substituição de alguns aminoácidos usados na síntese de proteínas (por exemplo, substituir a prolina pela serina) produzindo proteínas mais tolerantes, a inibição da translocação (transporte) do glifosato nas plantas, o bombeamento do glifosato para o interior de vacúolos prevenindo seu contato com os cloroplastos ou ainda, o aumento significativo da produção da enzima 5-enolpiruvato-shikimato-3-fosfato sintetase (EPSPS), enzima inibida pela ação do glifosato e responsável pela morte da planta (Duke, 1988, Christofoleti e Lopes, 2008).




Como pode ser observado, o aumento da quantidade de glifosato utilizada na capina química pode ser eficiente em alguns casos, mas certamente a utilização de misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação será mais eficiente. Entretanto, como normalmente os demais herbicidas são capazes de causar maior impacto sobre o ambiente, a utilização de misturas acentuará ainda os impactos do uso do glifosato isoladamente.

Subminhocas

As minhocas representam mais de 90% da biomassa de invertebrados do solo e têm relação direta ou muito próxima com outros organismos e compartimentos (p. ex., invertebrados, raízes, húmus, serapilheira e microrganismos). Estes organismos são importantes na reciclagem de nutrientes e nas redes tróficas terrestres, constituindo uma fonte de alimento para uma grande variedade de organismos, incluindo aves, mamíferos, répteis, anfíbios, peixes, insetos, nematódeos e centopeias. (MALAVOLTA 2006; AIRA 2008). Mudanças na abundância de invertebrados do solo, tais como as minhocas, que constituem unidades funcionais importantes na transferência de energia e ciclagem de nutrientes, podem acarretar efeitos ecológicos adversos sérios em todo o sistema terrestre (RICKETTS, 2004).

As diferentes práticas empregadas no manejo agrícola alteram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e podem afetar diretamente ou indiretamente, imediatamente ou gradualmente a população de minhocas e suas atividades no decorrer do tempo. Por isso considerando as diferentes opções de manejo, devem-se considerar também seus efeitos sobre a minhoca e toda a biota do solo (LOWE, 2002; MARHAN, 2005). Alguns dos mais importantes efeitos do manejo sobre a população de minhocas são descritos no Quadro 1.

Quadro 1: Efeitos do manejo agrícola sobre a atividade de minhocas no solo.

Práticas que favorecem minhocas 	<ul style="list-style-type: none"> - Plantio Direto - Rotação de culturas - Adubação orgânica - Cobertura do solo
	
<ul style="list-style-type: none"> - Aração e gradagem - Acidificação - Remoção da cobertura - Pesticidas 	Manejos que Depreciam as minhocas 

Os efeitos dos vários pesticidas sobre as minhocas são diversos e dependem do grupo químico a que pertencem, a dose de aplicação, tempo de exposição, espécie e idade da minhoca e as condições ambientais. Muitos pesticidas, como o 2,4-D, são conhecidamente tóxicos, enquanto outros aparentemente não apresentam nenhum efeito (CHINGOMBE et al., 2006). O glifosato tem sido considerado como um herbicida ambientalmente seguro devido à sua biodegradabilidade e forte adsorção ao solo (BARJA & SANTOS 2005; VEREECKEN, 2005). As investigações sobre o impacto do glifosato em minhocas ainda são limitadas. No entanto, estas evidências relatam que o uso repetido pode danificar este grupo de importância vital para as outras espécies. Alguns experimentos sugerem que o glifosato reduz o crescimento de *A. caliginosa* quando repetidamente aplicada a culturas de laboratório em intervalos de duas semanas, em uma taxa inferior à recomendada comercialmente (SPRINGETT & GRAY, 1992). Dados semelhantes foram encontrados em uma espécie diferente (YASMIN & D'SOUZA, 2007).

Outro estudo revelou uma mudança significativa na incubação de casulos de minhoca expostos ao glifosato e que as minhocas evitavam ativamente o solo tratada com glifosato em laboratório (CASABE et al., 2007). O mesmo efeito não foi observado sobre a *A. caliginosa* em outro experimento em vasos quando o pesticida foi misturado com o solo (Martin, 1992). Outro estudo sugere que o glifosato, mesmo na dose recomendada de campo, poderia causar a morte de células e interferir na atividade específica de esterases do epitélio intestinal de *P. elongate* provocando mortalidade, pelo menos, em 50 % da população de minhocas (MOROWATI, 2000). Estes estudos apresentam efeitos deletérios do glifosato em formulações e concentrações normalmente recomendadas para a cultura da soja.

O uso repetido de glifosato nos cultivos transgênicos e no controle de plantas daninhas em geral em uma variedade de agro e ecossistemas florestais poderia eventualmente ter impactos de longo prazo sobre as populações de minhocas. Devido à importância vital das minhocas na melhoria dos solos e na cadeia alimentar, existe uma necessidade urgente de avaliar o impacto da exposição em longo prazo.

Estudos focalizados nos efeitos do glifosato no crescimento e sobrevivência da espécie *Eisenia foetida* têm produzido resultados importantes. Nestes experimentos as minhocas foram mantidas em solos tratados e não tratados (grupo controle) com os herbicidas glifosato e 2,4 D, separadamente. As concentrações dos herbicidas utilizadas foram de 1, 10, 100, 500, 1000 mg.Kg⁻¹. Após 14, 21, 28, 42 e 56 dias de incubação os contêineres foram abertos e a situação das minhocas, avaliadas (OECD 1984, OECD 2004).

Em paralelo, também foi executado o Teste de fuga (ISO 2008), que avalia o comportamento das minhocas expostas simultaneamente ao solo tratado e ao solo não tratado (controle). No teste com glifosato, as minhocas se distribuíram igualmente entre os dois tipos de solo, ou seja, nenhuma alteração no comportamento, seja de atração ou repelência das minhocas foi observado. Indicando aparentemente a ausência de efeitos negativos sobre os organismos. Entretanto quando este teste foi repetido em presença do 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético), todas as concentrações estudadas provocaram repelência imediata dos organismos para o solo não tratado. Este resultado mostra que o organismo estudado não é capaz de identificar o glifosato como uma substância a ser evitada por problemas toxicológicos.

Nos testes de crescimento, as minhocas mantidas nos solos tratados com glifosato apresentaram uma redução gradual no peso médio com o tempo do experimento. Todas as minhocas foram classificadas como vivas em todos os tempos de amostragem, mas a porcentagem de perda de peso daquelas mantidas nos solos tratados foi de cerca de 50% dos pesos iniciais. Este efeito foi observado em todos os experimentos independentemente das concentrações utilizadas e não foi observado nos grupos controles. Ou seja, os efeitos do glifosato sobre as minhocas, em termos de “tempo dependência”, foram significativamente diferentes dos controles. No entanto nenhum efeito em termos de “concentração dependência” foi observado com este pesticida. Embora o glifosato não tenha provocado a morte das minhocas nas diferentes

concentrações estudadas, a diminuição no peso médio pode indicar um efeito crônico deste herbicida sobre os organismos.

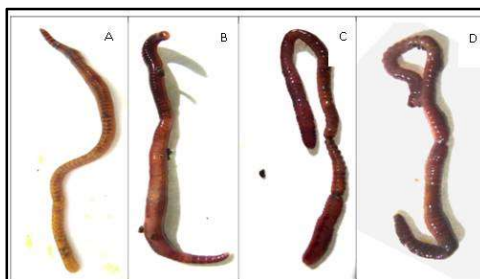


Figura 4: Efeito da exposição ao glifosato na morfologia das minhocas. (a) controle. (b) inchaços e secreção de mucosas em $0,15 \text{ mg/cm}^2$, (c) ruptura da cutícula e constrição dos anéis em $0,30 \text{ mg/cm}^2$, (d) constrições no corpo e degeneração na parte posterior em $1,0 \text{ mg/cm}^2$

Adicionalmente, alterações morfológicas significativas foram observadas após 30 dias de exposição ao glifosato como pode ser observado nas Figuras 4 e 5. Secreção excessiva de muco foi observada em todos os organismos expostos. Além disso, as minhocas expostas eram menos ativas que as do solo controle. Cerca de 65% dos organismos expostos apresentaram lesões superficiais, e extrusão de fluido sanguíneo, resultando em lesões na parte posterior do corpo. Cinquenta por cento de todos os organismos tratados desenvolveram rupturas e desprendimento da cutícula, que se assemelha a ecdise (derramamento de pele) em insetos e cobras.



Figura 5: Efeito de 60 dias de exposição ao solo contaminado com glifosato na morfologia das minhocas. Inflexibilidade nas segmentações, liberação de fluido do celular, quebra cuticular distinta e dobras.

Nos ensaios de reprodução em solos tratados com glifosato não foram encontrados casulos ou indivíduos jovens em nenhum experimento (OECD 2004). A ausência de casulos ou indivíduos jovens nos solos tratados com glifosato pode resultar da interferência desta substância no mecanismo de reprodução das minhocas após longos e repetidos períodos de exposição, mostrando que essa substância pode ter importantes efeitos tóxicos sobre a biota do solo. Estudos semelhantes realizados com o herbicida 2,4 D resultaram na morte de 70 % das minhocas e em alterações morfológicas nos organismos sobreviventes em todas as concentrações avaliadas, que foram as mesmas utilizadas nos experimentos com o glifosato.

CONCLUSÕES

As soluções apregoadas para resolverem o problema das plantas indesejadas, todas elas, trarão impactos sobre a biota do solo e sobre o ambiente em geral. A aração facilita a mobilização do solo, o uso de maiores concentrações de glifosato ou de mistura de glifosato com outros

herbicidas mais tóxicos impactará toda a biota do solo, como mostrado em estudos com as minhocas. Os resultados apresentados sugerem que a utilização do glifosato poderia, ao longo do tempo, levar ao extermínio das minhocas nos locais de aplicação uma vez que estas sofrem modificações morfológicas e têm sua reprodução inibida pela presença deste herbicida.

O incentivo a máxima produtividade coloca o homem em uma situação dúbia: mantém-se a produtividade à custa dos impactos sobre a biota, sem que os efeitos que este impacto irá trazer sejam sequer discutidos. Esta situação expõe claramente a necessidade de que a solução para um problema capaz de afetar a saúde ambiental deve ser considerada não apenas sob um ângulo específico, mas sob um aspecto mais amplo que requer o conhecimento do ambiente como um todo, pois as relações biota-ambiente são múltiplas e complexas, envolvem o próprio homem e podem trazer consequências indesejáveis a saúde.

Restam então algumas perguntas: Será que os riscos identificados para as minhocas não afetam outras espécies da biota do solo? Será que vale a pena continuar pagando este preço sem que se conheçam os impactos futuros? O artigo resulta de pesquisa realizada com apoio do CNPq e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- AIRA, M.; SAMPEDRO, L.; MONROY, F.; DOMINGUEZ, J.. Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, p.2511- 2516, 2008.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L.. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v.25, n.4, p.589-593, 2002.
- BARJA, B. C.; SANTOS, M. A.. Aminomethylphosphonic acid and glyphosate adsorption onto goethite: A comparative study. **Environmental Science & Technology**, v.39, p.585-592, 2005.
- CHINGOMBE P.; SAHA B.; WAKEMAN, R. J.. Effect of Surface Modification of an Engineered Activated Carbon on the Sorption of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid and Benazolin from Water, **Journal of Colloid and Interface Science**, v.297, p.434-432, 2006.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. 3 ed. Campinas: HRAC-BR, 2008.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C. B.. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**. v.12, n.1, p.13-20, 1994.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; MACIEL, C. D. G.. Avaliação de misturas em tanque de imazethapyr com outros herbicidas para o controle de *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla* em soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, p.73-78, 2000.
- DUKE, S. O. G.. **Herbicides: Chemistry, Degradation, and Mode of Action**. New York: Dekker, 1988.
- ISO. **Soil quality - Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behavior**. Geneva: Switzerland, 2008
- LOWE, C. N.; BUTT, K. R.. Influence of organic matter on earthworm production and behaviour: a laboratory-based approach with applications for soil restoration. **European Journal of Soil Biology**. v.38, p.275-278, 2002.
- MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2006.

MARHAN, S.; SCHEU, S.. The influence of mineral and organic fertilizers on the growth of the endogeic earthworm *Octolasion tyrtaeum* (Savigny), **Pedobiologia**, v.49, p.239-249, 2005.

MARTIN, N. A.. **The effects of herbicides used on asparagus on the growth rate of the earthworm *Allobophora caliginosa***. New Zealand: Weed and Pest Control Conference, 1982.

MOROWATI, M.. Histochemical and histopathological study of the intestine of the earthworm (*Pheretima elongate*) exposed to a field dose of the herbicide glyphosate. **Environmentalist**, v.20, p.99 -105, 2000.

OECD. **Guidelines for testing of chemicals**. Test 207: Earthworm acute toxicity tests. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1984.

OECD. **Guidelines for testing of chemicals**. Test 222: Earthworm reproduction test (*Eisenia fetida/ Eisenia andrei*). Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2004.

PETTER, F. A.; PROCÓPIO, S. O.; CARGNELUTTI FILHO. A.. Manejo de herbicidas na cultura da soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.25, p.557-566, 2007.

PROCÓPIO, S. O.; MENEZES, C. C. E.; BETTA, L.; BETTA M.. Utilização de chlorimuron-ethyl e imazethapyr na cultura da soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.25, p.300-365, 2007.

RICKETTS, H. J.; MORGAN, A. J.; SPURGEON, D. J.; KILLE, P.. Measurement of annetocin gene expression: a new reproductive biomarker in earthworm ecotoxicology. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.57, p.4-10, 2004.

SPRINGETT, J. A.; GRAY, R. A. J.. Effect of repeated low doses of biocides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* in laboratory culture. **Soil Biology Biochemistry**, v.24, p.100-1739, 1992.

VAN GESSEL, M. J.. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. **Weed Science**, v.49, p.703-705, 2001.

VERECKEN, H.. Mobility and leaching of glyphosate: a review. **Pesticide Manage Science**, v.61, p.944-1139, 2005.

WILLIAMS, G. M.; KROES, R.; MUNRO, I. C.. Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup and Its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans, **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.31, p.117-165, 2000.

WHO. World Health Organization. **Health, Environment and Development: Approaches to Drafting Country-level Strategies for Human Well-being under Agenda 21**. Geneva: WHO, 1993.