

Remoção de agrotóxicos por escoamento superficial – Princípios e práticas

Marco Aurélio Pessoa-de-Souza^{1*}, Marilda da Conceição Ribeiro e Barros¹, Liliane Mendes Gonçalves¹, Glaucia Machado Mesquita², Helenice Moura Gonçalves³

Resumo

À medida que as demandas alimentares crescem, paralelamente crescem os mercados de insumos, especialmente os agrotóxicos. Devido ao seu uso desenfreado em diferentes escalas, existem especulações acerca dos danos ambientais que podem gerar quando mal manejados. As tecnologias de avaliação de poluição ainda são precárias e, quando existem, são pouco disseminadas. Basicamente, para encontrar agrotóxicos em águas superficiais é necessário que alguma dinâmica de perda seja favorecida. Nas perdas por escoamento superficial (*runoff*), por exemplo, os agrotóxicos se ligam aos colóides do solo, sobretudo os que são facilmente removidos em função da erodibilidade do solo. Outro fator importante a ser considerado é a erosividade da chuva, que influencia no salpicamento do solo. Outros fatores devem ser considerados também, sobretudo os intrínsecos a cada molécula de princípio ativo, pois no complexo solo acontecem reações que não são previstas e que podem ou não ocorrer em função do material de origem, organismos presentes, grau de intemperismo, tipo de relevo e presença ou não de plantas. Mecanismos de cada molécula, quando chegam em ambientes tão complexos como os solos, podem tomar diferentes caminhos e, para o caso dos agrotóxicos que possuam um alto nível de adsorção, o escoamento superficial é muito provável que ocorra, sobretudo após um evento de chuva. Com vistas a identificar e incitar correlações de mecanismos entre princípios ativos e solo, o objetivo deste trabalho foi sistematizar as teorias acerca do comportamento dos agrotóxicos em fenômenos associados ao *runoff* e avançar em propostas de avaliação para efeitos de contaminação de áreas, ocasionados por escoamento superficial. Estudos em diferentes escalas são propostos pela literatura, e dada a grande complexidade do ambiente, são necessários estudos sobre a expectativa do comportamento dos agrotóxicos em solos.

Palavras-chave: Compartimentos ambientais. Fuga de Aplicação. Erosão hídrica.

Pesticides off site by runoff – Principles and practices

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás - Escola de Ciências Agrárias e Biológicas - Departamento de Zootecnia - Av. Universitária, 1.440 - Setor Universitário - Goiânia - GO - CEP 74605-010 - Brasil

*Autor para correspondência: E-mail: pessoa.aurelio@gmail.com

²Faculdade Araguaia - Departamento de Engenharias - Engenharia Agrônômica - Goiânia - Goiás - Brasil.

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Embrapa Cerrados - CPAC), Planaltina - DF - Brasil

Recebido para publicação em 09 de agosto de 2017

Aceito para publicação em 28 de novembro de 2017

Abstract

Food demands and markets for inputs are in continuous growth, especially pesticides. Because of its rampant use in different scales, there are speculations about possible environmental damage when mishandled. The pollution evaluation technologies are still poor and little widespread. Basically, to find pesticides in surface water it is necessary that some fluid dynamics loss is favored. In runoff losses, for example, pesticides bind to soil colloids, especially those which are easily removed due to soil erodibility. However, rainfall erosivity is also a factor which must be evaluated. Intrinsic factors may or not occur depending on the source material, organisms, weathering degree to which soils passed, the relief type and presence or absence of plants. Mechanisms of each molecule arriving in such complex environments can take different paths, and for the case of pesticides that have a high level of adsorption, surface runoff is very likely to occur, especially after an event. In order to identify and encourage correlations between mechanisms of active ingredients - ground, the aim of this study is to compile this information and advance proposals on assessment of surface water pollution caused by runoff. There are forms of assessment that are already depleted by classic literature and, in addition, some mathematical models have emerged and came up with over the years in search of work in evaluating and improving the forecasting tools of contamination of surface water areas.

Keywords: Environmental Fate, Off site, Water erosion.

Introdução

Para a produção de culturas em grande escala em ambientes tropicais é muito comum o uso de agrotóxicos. Nos últimos anos foi registrado no Brasil um avanço nos níveis de consumo de agrotóxicos (CASSAL *et al.*, 2014; RIGOTTO *et al.*, 2014), e este aumento se deve ao nível de confiança depositado nestes produtos, por parte dos técnicos e produtores, para controle de pragas e insetos (ALAVANJA, 2009; RIGOTTO *et al.*, 2014), e pela alta pressão ecológica de insetos, doenças e plantas daninhas nas áreas agricultáveis. Ademais, muitos destes produtos possuem a sua comercialização dependente de "kits" pré-estabelecidos para o pleno desenvolvimento produtivo (AKTAR *et al.*, 2009), advindas da Revolução Verde (OLSZYK *et al.*, 2004), ou seja, para o complexo produtivo é necessário usar a tecnologia da semente e dos produtos defensivos resistentes para a cultura, como é o caso da soja e do milho resistente ao glifosato.

Apesar do uso intensivo destes produtos nos campos de produção, muito pouco é investido nos estudos de mapeamento do comportamento dos agrotóxicos nos solos, águas e organismos (ALAVANJA, 2009). Não existem evidências das rotas metabólicas de degradação da grande maioria de produtos utilizados pela agricultura, bem como as suas implicações ambientais e sanitárias (AKTAR *et al.*, 2009). De forma geral, não existem estudos que apontam este tipo de evidência.

Neste contexto são necessárias tecnolo-

gias para monitoramento de resíduos de agrotóxicos, sobretudo em áreas onde o uso é indiscriminado ou existam compartimentos ambientais que contribuam para a distribuição destes produtos no ambiente.

Algumas especulações existem sobre o uso intermitente de agrotóxicos, mas ainda não existem muitas evidências dessas moléculas e seu comportamento no solo e na água. Pode-se fazer algum tipo de correlação do relevo mais vulnerável com o transporte destas moléculas no meio? Como as variações de erodibilidade e erosividade interferem na saída dos pesticidas dos pontos de aplicação? Quais as implicações ambientais e sanitárias da presença de agrotóxicos em corpos d'água?

Neste contexto são necessárias as tecnologias para monitoramento de resíduos de agrotóxicos, sobretudo em áreas onde o uso é indiscriminado e/ou existam compartimentos ambientais que contribuam para a distribuição destes produtos no ambiente. Muitas culturas atualmente utilizam uma grande quantidade e variedade de agrotóxicos na forma de misturas para reduzir os danos de produtividade.

Os mecanismos químicos, físicos e biológicos dos solos são incontáveis e, devido à complexidade, acabam existindo lacunas para se compreender melhor a dinâmica e o comportamento dos agrotóxicos no solo. Para se estudar estas moléculas no solo são necessárias coletas específicas, ensaios que exigem profissionais

com conhecimento técnico, além de um aporte tecnológico que ofereça dados consistentes.

A adesão de um agrotóxico ao solo pode ser influenciada pelas propriedades da superfície do solo (MAIER *et al.*, 1999) e o tamanho da zona vadosa (FAY; SILVA, 2004; HOLDEN; FIERER, 2005). Transporte por difusão e transporte conectivo estão muito associados à presença ou não de água, o movimento ativo ocorre por diferença de concentrações químicas (MAIER *et al.*, 1999; PAUL; CLARK, 1989), e tudo isso é preconizado pelas forças químicas como as ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas e força de van der Waals (BAIRD, 2002).

As características físicas do meio condicionam os processos de transporte na medida em que fatores como a porosidade, a condutividade hidráulica, a litologia, o teor de umidade, entre outros, determinam o regime de recarga, o tipo de escoamento subterrâneo, a superfície de contato e, assim, a possibilidade de se processarem reações químicas entre a água circulante e as formações envolventes (LEITÃO *et al.*, 2003).

Mediante isso, o objetivo deste trabalho é apresentar em linhas gerais os princípios teóricos do *runoff* (escoamento superficial) na dinâmica e comportamento dos agrotóxicos, bem como as possíveis práticas de levantamento de dados e amostragem para se fazer ensaios de previsão de contaminação em solo.

Comportamento intrínseco dos agrotóxicos associados ao *runoff*

O escoamento de agrotóxicos pode ser um processo direto de contaminação de águas superficiais (WAUCHOPE *et al.*, 1994). Miranda *et al.*, 2008 já alertam para a contaminação de mananciais do Pantanal por piretroides, implicação do transporte a longas distâncias e de relevo que favorece o escoamento superficial. Ainda Wauchope *et al.*, 1994, afirmam que o processo do *runoff* é mais proeminente em situações nas quais a intensidade de chuva é muito maior do que a capacidade do solo em absorver água. Com a diminuição da taxa de infiltração, estabelece-se uma condição de encharcamento do solo, dessa forma, inicia-se a produção de poças de água na superfície, que acumulam energia para então liberar na forma de fluxo de massa superficial (GUERRA *et al.*, 1999).

Na dinâmica de formação do escoamento superficial, o processo de poluição começa com

os agrotóxicos acompanhando o fluxo de massa, e isso é em consonância com algumas características físico-químicas do princípio ativo de cada produto. A elucidação destas características é um tema exaurido pela literatura (FAY; SILVA, 2004; DEVLIN *et al.*, 2008; IUPAC, 1995; WAUCHOPE *et al.*, 2002), entretanto ainda existem lacunas para se compreender sobre o comportamento dos agrotóxicos em solos tropicais.

O fluxo formado sobre a superfície captura os agrotóxicos solúveis ou adsorvidos nos sólidos transportáveis (WAUCHOPE *et al.*, 1994). Além do *runoff*, as águas superficiais podem ser poluídas por aerossóis de produtos advindos por deriva, devido as tecnologias de aplicação comumente empregadas. Uma outra forma de contaminação de águas superficiais é através da lixiviação de produtos (WAUCHOPE *et al.*, 1994), que por proximidade dos leitos de água, combinados a uma topografia favorável e condições intrínsecas do solo, podem chegar aos mananciais e gerar uma fonte de poluição pontual.

A lixiviação e o escoamento superficial, em linhas gerais, obedecem a um conjunto de fatores que podem ou não ser controlados, como: a tecnologia de aplicação, se trata de como, quando, quanto e de que forma é feita a aplicação; a persistência e mobilidade dos pesticidas, diz respeito aos comportamentos sortivos de cada princípio ativo, aqui é estabelecida uma relação de persistência e mobilidade; a topografia e o tipo de solo, didaticamente solos arenosos tendem a lixiviar mais, e solos argilosos a favorecer o escoamento superficial, sempre levando em consideração as características de relevo; o clima e o tempo, relacionados a fatores não controláveis, como intensidade de chuva, período de seca, intensidade de irradiação solar, umidade relativa, ventos, entre outros fatores climáticos; por fim e talvez o fator mais difícil, a tomada de decisão de técnicos e produtores, pautada na forma como os utilitários das tecnologias empregam nas áreas e o nível de confiança que é dada aos produtos químicos como única alternativa para controle de insetos e pragas.

O comportamento dos pesticidas no solo passa por diferentes combinações que interagem com os compartimentos do solo e tomam caminhos diversos e complexos. No estudo da dinâmica dos agrotóxicos no solo é necessário o máximo de informações sobre fatores que podem interferir nas combinações, e de como podem afetar diretamente ou até mesmo indiretamente a eficiência e permanência dos produtos. A taxa de

permanência no solo é inversamente proporcional à taxa de ocorrência dos processos de transporte (SPADOTTO, 2002). Dessa forma, quanto menor os níveis de adsorção de um ingrediente ativo no solo, maiores serão os efeitos eco toxicológicos, bem como a capacidade de biodegradação pelos microrganismos, em contrapartida, aumentam as possibilidades dos produtos descenderem mais profundamente no perfil do solo e se tornarem indisponíveis para degradação direta.

Quando se fala em transporte de produtos, três fenômenos são importantes: volatilização, lixiviação e escoamento superficial. Sobre escoamento superficial, os fenômenos de adsorção e solubilidade são os mais relevantes. O grau em que os compostos químicos adsorverão na superfície dos coloides já é um fator preditivo da sua biodisponibilidade. Quanto mais hidrofílicos mais solúveis serão os ingredientes ativos, de certa forma isso facilita o transporte por *runoff*, o grau de solubilidade está associado também com o pKa do produto, que indica o valor de pH em que as moléculas se encontram 50% associadas e 50% dissociadas a um próton H_3O^+ .

Um outro fundamento comportamental dos agrotóxicos diz respeito à capacidade de adsorção dos produtos aos coloides do solo, ou seja, o coeficiente de partição do carbono orgânico no solo (K_{oc}) serve como indicador do provável destino, dessa forma prediz muito de que forma é transportado no solo (FAY; SILVA, 2004; PEREIRA *et al.*, 2011; WAUCHOPE *et al.*, 2002). Se o compartimento ambiental for algum tipo de sedimento ou dispersão, os produtos podem ser conduzidos até os mananciais e bioacumular, incorporando-se, dessa forma, na cadeia alimentar, podendo atingir o ser humano de forma direta.

Todas as sorções do solo são caracterizadas pela constante de partição K, e convencionalmente é subscrito a letra “d” para medir a dispersão, e que medida em laboratório (WAUCHOPE *et al.*, 2002). A fração do carbono orgânico também é calculado por meio de coeficiente “oc”, em função do K (WAUCHOPE *et al.*, 2002). Universalmente, o K_{oc} é usado para se calcular a mobilidade dos agrotóxicos (FAY; SILVA, 2004; SIIMES; KAMARI, 2003; WAUCHOPE *et al.*, 2002; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011; OLIVEIRA; REGITANO, 2009; PEREIRA *et al.*, 2011), entretanto alguns pesquisadores propõem novas modelagens matemáticas (WAUCHOPE *et al.*, 2002), ou simplesmente apresentam o mesmo modelo com dados de constante variados.

Luijendijk *et al.*, 2003, testaram os efeitos

da aplicação de glifosato e os níveis de perdas por *runoff* e, no estudo, confirmaram que em superfícies seladas as perdas são maiores do que em superfícies mais porosas, pois seu nível de adsorção diminui, o que favorece seu escoamento. Além disso, uma outra consideração que estes autores fazem é que, para existir de fato um escoamento superficial considerável, a taxa de aplicação deve ser superior à infiltração no solo. Entretanto, para que seja verdade esta afirmação, deve-se considerar uma aplicação muito superior àquela recomendada pelos fabricantes.

Queiroz *et al.*, (2011), fizeram um trabalho comparativo entre lixiviação e perdas superficiais de glifosato em solo agrícola, e comprovaram que as maiores perdas ocorrem através da lixiviação, sobretudo com chuvas erosivas logo após a aplicação do produto. Mesmo preferencialmente o fluxo de massa ser vertical, o fato de ocorrerem chuvas torrenciais ocasionou algum tipo de entupimento dos macroporos do solo, facilitando, assim, alguma atividade, mesmo que baixa, de escoamento superficial.

O que é importante analisar é que nenhum fenômeno é concatenado, ou uma verdade absoluta, sobretudo quando se trata do comportamento de agrotóxicos no solo. Normalmente, produtos que adsorvem mais têm uma correlação com a taxa de perdas de solo para que favoreça o *runoff*, entretanto alguns experimentos evidenciam exceções que são bem validadas.

A maior limitação das avaliações de processos de transporte de agrotóxicos no solo é a dificuldade de análise. Muitos produtos não são encontrados na forma como são aplicados, mas sim na forma de metabólitos secundários (FAY; SILVA, 2004) e até mesmo terciários, o que impede uma identificação precisa, a exemplo disso, o glifosato sofre degradação biológica no solo, e uma das formas de metabólito secundário é através da produção de AMPA (ARAÚJO *et al.*, 2003) que é difícil, moroso e caro para ser qualificado ou mesmo quantificado.

Fatores naturais potencializadores das propriedades dos agrotóxicos

Além dos inúmeros processos complexos que ocorrem naturalmente nas moléculas dos produtos químicos quando chegam num ambiente tão complexo como o solo, os processos se tornam incomensuráveis. As mudanças que podem ocorrer são as alterações típicas de estrutura molecular, influenciando até mesmo nas propriedades das

substâncias, bem como nas suas características em condições ambientais variadas. As condições de clima, relevo e todo o desdobramento de paisagem e as práticas de manejo afetam o destino dos agrotóxicos no meio.

Os vários processos que ocorrem pelo *runoff* são bem sedimentados por vários autores (QUEIROZ *et al.*, 2011; SANCHES *et al.*, 2003). Na análise destes fenômenos, conhecer a condutividade hidráulica, a topografia sob o aspecto da paisagem, a erodibilidade (GUERRA *et al.*, 1999), a intensidade de chuva, temperatura, pH (DEVLIN *et al.*, 2008), textura e estrutura (FAY; SILVA, 2004; IUPAC, 1995), teor de matéria orgânica (PRATA; LAVORENTI, 2000) são primordiais nos estudos de comportamento dos agrotóxicos no solo (DEVLIN *et al.*, 2008; IUPAC, 1995).

A condutividade hidráulica de um solo argiloso é completamente diferente de um solo arenoso, e isso prediz muito da probabilidade de ocorrência de contaminação de lençóis subterrâneos e/ou de águas de superfície. Para se saber, por exemplo, até que ponto o agrotóxico pode percorrer, o estudo da paisagem se torna indispensável. Fitofisionomias como as Veredas, típicas do Bioma Cerrado, são geralmente encontradas em áreas a jusante da paisagem, e pela forma como estão dispostas no relevo, tornam-se suscetíveis à contaminação, e por sua vez, consideravelmente frágeis sob o ponto de vista ambiental. A matéria orgânica se mostra importante devido à relação que ela pode estabelecer com os agrotóxicos. Existe uma prioridade de afinidade entre as moléculas de agrotóxicos e a matéria orgânica, em geral se trata de grupos pequenos, com cadeia carbônica curta, podendo ser tanto bem humificados, ou mesmo polimerizados não estáveis (PRATA; LAVORENTI, 2000). Em geral, estes mecanismos ocorrem por meio de ligações de hidrogênio. Devido à força de ligação, os agrotóxicos formam resíduos ligados, tanto com a matéria orgânica, quanto com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (PRATA; LAVORENTI, 2000). Os mesmos autores comentam que o resíduo ligado, na verdade, se trata, segundo a IUPAC, de interações entre as espécies químicas originadas da transformação ou não de agrotóxicos com substâncias húmicas do solo, sendo estes resíduos não passíveis de extração por métodos que não alterem significativamente a natureza da molécula.

Por esse motivo, conhecer o nível da matéria orgânica se torna primordial no estudo do comportamento dos agrotóxicos no solo. Em

tese, em solos brasileiros como chernossolos e organossolos, a probabilidade de os agrotóxicos formarem resíduo ligado é muito maior quando comparado a um latossolo (PRATA; LAVORENTI, 2000; PEREIRA *et al.*, 2011) no Cerrado goiano, por exemplo.

Oliveira e Regitano (2009) comentam sobre o manejo de sistemas conservacionistas do solo, e como o plantio direto e o preparo com arado de aiveca, podem reduzir consideravelmente as perdas de solos, quando comparados aos sistemas convencionais. Em oposição, outros estudos demonstram que a manutenção de resíduos na superfície do solo tem indicado que nem sempre isso acontece, em especial para áreas antigas de plantio direto (CASTRO *et al.*, 2006; SILVA; MARIA, 2011).

O efeito do pH pode influenciar outros processos que não estão relacionados diretamente na fase de dinâmica dos pesticidas (caso ela ocorra) (OLIVEIRA; REGITANO, 2009), como alterar cargas do solo, alteraras constantes ácidas das moléculas de agrotóxico, criar ambientes favoráveis ou não para a degradação, forçar a dessorção em partículas sedimentadas, entre outros (FAY; SILVA, 2004; WAUCHOPE *et al.*, 2002; DEVLIN *et al.*, 2008).

Alguns trabalhos apontam a relação do *runoff* com as intensidades de chuva (QUEIROZ *et al.*, 2011), e como os eventos de chuva seguidos de uma aplicação influenciam completamente na dinâmica dos agrotóxicos no solo. A condutividade hidráulica está associada ao grau de armazenamento e comportamento de umidade no solo (CRAIG, 2011). Teoricamente, e não levando em consideração as particularidades de cada molécula, os agrotóxicos têm um favorecimento maior em sofrer lixiviação do que escoamento superficial, uma vez que é uma dinâmica muito maior de fluxo de massa. Além disso, a passagem lenta pelos poros faz um papel de dispersão dos produtos pelo solo, estimulando moléculas com tendência a adsorção em óxidos e hidróxidos, ligarem-se de forma pouco reversível nos coloides.

Um outro fator pouco considerado é o aspecto da paisagem. Muito da dinâmica geoquímica dos metais no solo, tem uma relação, também, com aspectos de relevo, declividade de rampa, rugosidade dos taludes, correlacionando com o material de origem. Para efeitos pedogênicos, o comportamento do ferro em solos que apresentam qualquer grau de intemperismo, tem uma relação direta com a conformação do relevo. Nos estudos

gerais de comportamento de agrotóxicos, esse fator é muito pouco ou quase nunca considerado.

Técnicas de campo para avaliação de perdas de agrotóxicos por *runoff*

Em geral, os trabalhos de avaliação e monitoramento de áreas poluídas por agrotóxicos são muito complexos. Os mecanismos associados à migração de contaminantes via superfície e subsolo se dividem em dois grandes processos: os chamados físicos e o bio-físico-químicos.

Os processos físicos são pertinentes à lixiviação. Os processos bio-físico-químicos são muito mais complexos, pois apresentam a interface dos três meios possíveis no solo, e as interações de sorção compõem a movimentação que as moléculas podem sofrer.

Baseado nessa prerrogativa, alguns trabalhos de campo são realizados para se prever os efeitos de *runoff* associado a perdas de solos, uma vez que a tendência de alguns agrotóxicos é adsorverem fortemente nos colóides do solo. Uma forma consagrada de monitoramento é através da criação de parcelas (IUPAC, 1995) em diferentes escalas e que respeitam algumas particularidades do que se pretende avaliar.

Existem três tipos básicos de monitoramento para escoamento superficial associado a perdas de solos: parcelas macro, meso e micro espacializadas. Entre eles se destacam a parcela macro, onde são levados em consideração, de forma geral, o clima e o relevo e, geralmente realizadas em uma área grande de uma microbacia; a meso espacializada, tem o foco voltado na influência das estruturas do solo, na capacidade de campo, e ocupa uma pequena parcela da microbacia, ou seja, uma pequena ramificação de microbacia; por fim, a micro parcela tem o enfoque na textura, na química e sua dinâmica e a microbiota do solo (IUPAC, 1995).

Cada tipo de parcela oferece vantagens e desvantagens, quanto menores, menos efeito têm a capacidade de evidências, todavia, se torna mais reproduzível em instituições e empresas que não possuem espaço para pesquisas, ou seja, se aumenta muito os efeitos sobre os erros estatísticos, além das chuvas necessariamente serem simuladas, resultando em um modelo mais teórico do que prático. Parcelas grandes são inviáveis de

manipular e de justificar o uso, uma vez que os resultados chegam a demorar décadas, porém os efeitos sobre os erros estatísticos são muito menores, dada maior confiabilidade dos dados (IUPAC, 1995).

Evidentemente, as parcelas usadas para monitoramento para escoamento superficial associado a perdas de solos não têm objetivos fechados, mas cada uma oferece um enfoque diferenciado sobre o que se planeja estudar (IUPAC, 1995). A interpolarização dos dados de cada tipo de parcela, oferece valores muito próximos da permanência do pesticida nas áreas amostradas. Novamente, é importante lembrar que, para cada molécula, as interações com o meio variam e alguns princípios ativos não respeitam as regras gerais que são estabelecidas em laboratório, por exemplo, o glifosato, o glufosinato, o paraquat e diquat são substâncias que fogem à regra da relação inversa de solubilidade (DEVLIN *et al.*, 2008), uma vez que podem adsorver em matéria orgânica e ainda possuir boa afinidade com os óxidos de ferro e alumínio (PRATA; LAVORENTI, 2000).

Atualmente já se iniciam alguns trabalhos a partir de biossensores bioquímicos e/ou eletroquímicos (amperométricos, potenciométricos, condutométricos e impedanciométrica) que, por meio de variações de cinética química e parâmetros como a concentração de enzimas, pH e temperatura, já se consegue inferir alguns dados preventivos de poluição podendo, pela intensidade com o qual os parâmetros são apresentados, caracterizar contaminação do solo (SOARES, 2011).

Conclusão

A adsorção em partículas é o processo mais importante no *runoff* de agrotóxicos em solos;

É necessário melhorar as técnicas de detecção de agrotóxicos no solo e torná-las acessíveis;

A dinâmica de paisagem tem grande importância em estudos de comportamento, e no campo da geotecnia os dados são escassos;

Faltam estudos que interpolem dados de parcela de proporções micro, meso e macro, para inferir sobre a movimentação de cada princípio ativo no solo.

Referências

- AKTAR, M. W. *et al.* Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 2, n.1, p. 1-12, mar, 2009.
- ALAVANJA, M. C. R. Pesticides use and exposure extensive worldwide. **Reviews on Environmental Health**, v. 24, n. 4, p. 303 – 309, oct-dec., 2009
- ARAÚJO, A. S. F. *et al.* Biodegradação de glifosato em dois solos brasileiros. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, n.1, p.157-164, 2003.
- BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. 2nd ed. United States of America (USA): Bookman, 2002.
- CASSAL, V. B. *et al.* Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET**, v. 18; n. 1; p. 437-445, abr, 2014.
- CASTRO, L. G. *et al.* Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.1, p. 339-352, 2006.
- CRAIG, R. F. **Mecânica dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- FAY, E. F.; SILVA, C. M. M. S. **Comportamento e Destino de Agrotóxicos no Ambiente Solo-Água** In: Agrotóxico e Ambiente. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- GUERRA, A. J. T. *et al.* (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- HOLDEN, P. A.; FIERER, N. Microbial process in the vadose zone. **Vadose Zone Journal**, v. 4, n.1, p. 1-21, 2005.
- INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY - IUPAC. Pesticides report 34. Pesticide runoff: Methods and interpretation of field studies (technical report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 67, n. 1, p. 2089-2108, 1995.
- LEITÃO, T. E. *et al.* **Poluição de águas subterrâneas: principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação**. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 6, Cabo Verde, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 10 a 13 de Nov. de 2003.
- LUIJENDIJK, C. D. *et al.* Measures to reduce glyphosate runoff from hard surface. **Plant Research International B.V.**, Note 269, 44p, Wageningen, October 2003.
- MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. **Environmental microbiology**. Canada: Harcourt Science and Technology Company, 1999.
- MIRANDA, K. *et al.* Pesticides residues in river sediments from the Pantanal wetland, Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 43, n. 1, p. 717-722, 2008.
- OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. In: Oliveira Júnior, R. S.; Constantim, J. Inoue, M.H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompix, 2011.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; REGITANO, J. B. **Dinâmica de pesticidas no solo**. In: Vander de Freitas Melo e Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni (Ed.). **Viçosa: SBSCS**, V 2009.
- OLSZYK, D. M. *et al.* Assessing the risks to non-target terrestrial plants from herbicides. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 60, n. 4, p. 221-242, 2004.
- PAUL, E. A; CLARK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. United States of America (USA): United Kingdom, 1989.
- PEREIRA, E. M.; CHANG, H. K.; SOTO, M. A. A. Estimativa de alguns parâmetros de transporte de contaminantes para solos brasileiros. **Geociências**, UNESP, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 383-398, 2011.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 17-22, 2000.
- QUEIROZ, G. M. P. *et al.* Transporte de glifosato pelo escoamento superficial e por lixiviação em um solo agrícola. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 190-105, 2011.
- RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P.; ROCHA, M. M. Uso de agrotóxicos no Brasil e problemas para a saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, n. 30, v. 7, p. 1-3, jul, 2014.
- SANCHES, S. M. *et al.* Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, Curitiba, v.13, n. 53-58, 2003.
- SILVA, R. K.; MARIA, I. C. Erosão em sistema de plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p. 554-561, 2011.
- SOARES, J. C. **Biossensores eletroquímicos fabricados a partir da imobilização da uréase em filmes de polipirrol**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Escola de Engenharia de São Paulo, São Carlos, 127p., 2011.
- SPADOTTO, C. A. **Abordagem interdisciplinar na avaliação ambiental de agrotóxicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- WAUCHOPE, R. D. *et al.* Pesticides in surface and groundwater. Council for Agricultural Science and technology – CAST, **Issue Paper**, n. 2, 8 p., abril, 1994.
- WAUCHOPE, R. D. *et al.* Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability - Review. **Pest Management Science**, v. 58, n. 1, p. 419-445, 2002.