



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p592-597>

Quantidade de chuva e lixiviação do herbicida metribuzin através de planta bioindicadora

Antonio C. da Silva Junior¹, Juliana R. G. Queiroz¹ & Dagoberto Martins¹

¹ Departamento de Produção Vegetal/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, SP. E-mail: acsjr_agro@hotmail.com (Autor correspondente); julianaque@gmail.com; dmartins@fcav.unesp.br

Palavras-chave:

mobilidade

dinâmica

Cucumis sativus

textura do solo

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o potencial de lixiviação do herbicida metribuzin com precipitações pluviométricas naturais, em dois solos com texturas contrastantes, argiloso e médio arenoso, em condições de campo, através de planta bioindicadora. Colunas de PVC foram introduzidas nos dois solos. Manteve-se a integridade original do solo durante a coleta das amostras, que ocorreu após o acúmulo das precipitações em um intervalo estipulado ao ambiente entre 30-40, 60-80 e 100-120 mm de chuva. As colunas foram separadas com corte longitudinal para a semeadura da espécie bioindicadora (25 plantas). Após a semeadura avaliações de fitotoxicidade das plantas bioindicadoras foram realizadas aos 5, 7, 10 e 12 dias após a semeadura, através de uma escala de notas de 0 a 100%. A lixiviação do herbicida metribuzin foi dependente da precipitação recebida para os dois tipos de solo estudados. A eficácia da planta bioindicadora dependeu do tipo de solo e da precipitação. A metodologia de utilização de plantas bioindicadoras mostrou-se eficiente para avaliação da mobilidade de herbicida no perfil do solo.

Key words:

mobility

dynamic

Cucumis sativus

soil texture

Rain amount and leaching of the herbicide metribuzin through bioindicator plant

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the potential for leaching of the metribuzin herbicide under natural rain in two soils with contrasting textures, clay and medium sandy soil under field conditions using bioindicator plant. PVC columns were introduced in both soils maintaining the original integrity of the soil during the sampling that occurred after accumulation of precipitation stipulated in the interval in ambient, between 30-40, 60-80 and 100-120 mm of rain. The columns were separated by longitudinal section for the sowing of bioindicator plant (25 plants). After sowing, phytotoxicity evaluations of bioindicator plant were conducted at 5, 7, 10 and 12 days after sowing through a scale from 0 to 100%. The leaching of the herbicide metribuzin was dependent on the precipitation received in the two studied soil types. The effectiveness of the bioindicator plant depends on the type of soil and amount of precipitation. The method using bioindicator plant proved to be efficient for the evaluation of the mobility of herbicide in the soil profile.

INTRODUÇÃO

Entre os herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar, encontra-se o metribuzin, que é aplicado em pré e pós-emergência inicial, sendo do grupo químico das triazinonas, recomendado também para as culturas de batata, café, mandioca, soja e trigo (Rodrigues & Almeida, 2011). O mecanismo de ação do metribuzin consiste na inibição da fotossíntese, através do bloqueio de fluxo de elétrons no fotossistema II entre Q_a e Q_b , ocasionado pela ligação do herbicida ao sítio de ligação da Q_b , na proteína D1 do fotossistema II (Oliveira Júnior, 2001). Já a mobilidade no solo é afetada pelo teor de matéria orgânica do solo, distribuição de tamanho de partículas, porosidade, intensidade de chuvas e pelas taxas de aplicação (EXTOXNET, 1996).

O metribuzin é recomendado principalmente para o controle de plantas daninhas de folha larga (Caetano et al., 1996). É absorvido via foliar e, pelas radículas, se transloca via xilema e se acumula nas folhas, caules e raízes, sendo que nas plantas susceptíveis provoca manchas de clorose nas folhas, seguidas de necrose após a emergência do solo e por fim, a morte. Apresenta alta solubilidade em água (1100 mg L^{-1}) e médio Koc (60 mL g^{-1}); a constante de dissociação (pKa) é 1,0 sendo facilmente lixiviada no solo, não sendo recomendado seu uso em solo arenoso e/ou com baixo nível de matéria orgânica. A pressão de vapor é muito baixa ($1,2 \times 10^{-7} \text{ mm Hg}$ a 20°C), com uma meia-vida de 30 a 60 dias dependendo da textura do solo e das condições climáticas (Rodrigues & Almeida, 2011).

Ressalta-se que o trabalho realizado por Lourencetti et al. (2005) no qual os autores avaliaram o potencial de contaminação das águas subterrâneas por agroquímicos, observaram que o metribuzin pode lixiviar, uma vez que, vem sendo utilizado constantemente em algumas das principais culturas do Brasil. Sua grande utilização tem suscitado preocupações quanto à contaminação das águas subterrâneas.

Em estudo realizado na região produtora de cana-de-açúcar da Argentina, verificou-se que o metribuzin foi um

dos herbicidas mais lixiviados; dentre o total das amostras analisadas, 97,3% encontrou-se o metribuzin (Bedmar et al., 2004). Já Rosenbom et al. (2009), sugerem que a longo prazo a lixiviação de agroquímicos, como metribuzin, para as águas subterrâneas tem que ser repensada a fim de proteger o lençol freático deste tipo de lixiviação haja vista que características de longo prazo da sorção e dissipação de metabólicos no ambiente devem ser reestudadas.

Objetivou-se neste estudo avaliar o potencial de lixiviação do herbicida metribuzin em precipitações pluviométricas naturais, em dois tipos de textura de solo, em condições de campo, através de plantas bioindicadoras.

MATERIAL E MÉTODOS

A primeira fase do estudo foi instalada e conduzida em condições de campo, na área experimental da Fazenda do Lageado (Latitude $22^\circ 07' 56''$ e Longitude $74^\circ 66' 84''$ WGr.) e a segunda em casa de vegetação, na FCA/ UNESP, Campus de Botucatu, SP.

Foram conduzidos dois experimentos em campo, um em solo médio arenoso e outro em solo argiloso, classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos, respectivamente (Sérgio et al., 2005). As análises química e granulométrica dos solos foram determinadas em amostras retiradas das camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade dos dois solos estudados (Tabelas 1 e 2).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizados com quatro repetições, com os tratamentos dispostos em um esquema fatorial 3×8 , nos quais os fatores se referem aos 3 índices de precipitação ocorrida no ambiente, antes da coleta das amostra (31, 62 e 114 mm para solo argiloso e 36, 65 e 116 mm para solo médio arenoso) e 8 profundidades avaliadas no perfil do solo (0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm).

A fase de condução de campo iniciou-se com a introdução, no solo, de colunas de PVC com 30 cm de altura e 15 cm de

Tabela 1. Análise química de amostras coletadas nas diferentes profundidades dos dois solos que receberam aplicação dos herbicidas

| Solo | Camada (cm) | pH CaCl_2 | MO g dm^{-3} | P _{resina} mg dm^{-3} | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V (%) |
|------|-------------|--------------------|-----------------------|---|-----|----|----|------|----|-----|-------|
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0-10 | 4,8 | 22 | 11 | 1,6 | 33 | 14 | 46 | 48 | 94 | 51 |
| | 10-20 | 4,7 | 21 | 10 | 1,8 | 29 | 14 | 50 | 44 | 94 | 47 |
| | 20-30 | 4,7 | 25 | 9 | 2,1 | 30 | 15 | 51 | 47 | 98 | 48 |
| 2 | 0-10 | 4,1 | 14 | 17 | 0,9 | 4 | 2 | 39 | 7 | 46 | 15 |
| | 10-20 | 4,1 | 13 | 19 | 0,4 | 4 | 2 | 34 | 7 | 40 | 16 |
| | 20-30 | 4,1 | 12 | 18 | 0,6 | 5 | 3 | 38 | 8 | 46 | 18 |

1 – Solo argiloso (Neossolos Litólicos); 2 – Solo médio arenoso (Latossolo Vermelho-Amarelo)

Tabela 2. Análise granulométrica de dois solos coletados em diferentes profundidades, que receberam aplicação dos herbicidas

| Granulometria (g kg^{-1}) | Solo 1 - Profundidade (cm) | | | Solo 2 - Profundidade (cm) | | |
|--------------------------------------|----------------------------|----------|----------|----------------------------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 0-10 | 10-20 | 20-30 |
| Argila | 436 | 449 | 460 | 193 | 189 | 186 |
| Silte | 163 | 163 | 152 | 37 | 36 | 35 |
| Areia Grossa | 100 | 100 | 100 | 315 | 693 | 303 |
| Areia Fina | 301 | 288 | 288 | 455 | 482 | 477 |
| Areia Total | 401 | 388 | 388 | 770 | 775 | 780 |
| Textura do Solo | Argilosa | Argilosa | Argilosa | Média | Média | Média |

1 – Solo argiloso (Neossolos Litólicos); 2 – Solo médio arenoso (Latossolo Vermelho-Amarelo)

diâmetro até o nível da sua superfície. Após a aplicação do herbicida (02/12/2012) fez-se o monitoramento da precipitação diária nas áreas, durante a condução do experimento e se constatou uma precipitação acumulada de 31 mm na área experimental de solo argiloso, além de um acúmulo de 36 mm na área experimental de solo com textura média arenosa; já aos 4 dias após a aplicação (DAA); a precipitação acumulada de 62 mm no solo argiloso e 66 mm no solo médio arenoso foi alcançada aos 11 DAA e por último a precipitação acumulada de 114 mm no solo argiloso e 116 mm no solo médio arenoso foi finalizada aos 16 DAA, sendo todas dentro dos intervalos pré-estabelecidos: 30-40, 60-80 e 100-120 mm de chuva.

As coletas foram realizadas de forma cuidadosa escavando-se ao redor da coluna mantendo-se, porém, a integridade original do solo. A borda inferior das colunas foi amparada para reter o solo com telas finas após a coleta; já na casa de vegetação as colunas foram separadas em duas metades com um corte longitudinal através de um fio de metal colocando-se uma chapa galvanizada para realizar a separação das duas partes realizando-se imediatamente a semeadura da espécie bioindicadora, pepino (*Cucumis sativus* L.) de maneira que pudessem emergir 25 plantas ao longo dos 30 cm das colunas, a que se denomina de segunda fase do estudo.

A dose da metribuzim foi utilizada de acordo com a recomendação técnica para cada tipo de solo: (i) para o solo argiloso utilizaram-se 4,0 L ha⁻¹ do p.c. (1.920 g i.a. ha⁻¹); (ii) para o solo médio arenoso foram usados 3,0 L ha⁻¹ do p.c. (1.440 g i.a. ha⁻¹). O herbicida foi aplicado no topo das colunas (na superfície do solo) mantendo-se 50 cm entre a borda superior da coluna e a barra de aplicação, com deslocamento a uma velocidade de 1 m s⁻¹. Utilizou-se um pulverizador costal pressurizado por CO₂, munido de pontas de jato plano Teejet XR 11002VS, a uma pressão de trabalho de 2 kgf cm⁻², o que proporcionou um volume de calda 200 L ha⁻¹.

As avaliações de fitotoxicidade nas plantas bioindicadoras semeadas nas colunas foram realizadas aos 5, 7, 10 e 12 dias após a semeadura (DAS). Adotou-se, como critério de avaliação de fitotoxicidade das plantas, a escala de notas de 0 a 100% (SBCPD, 1995), em que o 0 corresponde a nenhuma injúria e 100% à morte das plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste “F” e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa estatístico SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011) sendo que os dados foram transformados segundo a equação: $y = \arcsen(x/100)$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, na Tabela 3, aos 5 dias após a semeadura (DAS) uma precipitação de 31 mm cujo herbicida metribuzin foi carregado até a camada de 6-9 cm de profundidade visto que as plantas de pepino apresentaram fitointoxicação até esta profundidade; na avaliação realizada aos 7 DAS, a lixiviação do metribuzin alcançou a profundidade de 9-12 cm, sob um acúmulo de precipitação de 31 e 114 mm; entretanto, sob uma precipitação de 62 mm o herbicida se manteve restrito até a camada de 3-6 cm no solo argiloso.

Observa-se, aos 10 DAS, que o metribuzin se manteve ainda, sob uma precipitação de 31 mm, na camada de 9-12 cm de profundidade e sob um acúmulo maior de precipitação (62 mm), sua lixiviação atingiu a profundidade de 12-15 cm; já sob uma precipitação de 114 mm o herbicida foi registrado até na profundidade de 15-20 cm de acordo com a fitotoxicidade encontrada nas plantas de pepino.

Evidenciou-se, na avaliação realizada aos 12 DAS (Tabela 4) uma grande capacidade de mobilidade do herbicida metribuzin nas condições em que o estudo foi conduzido pois, sob uma precipitação de 31 e 62 mm, suas moléculas chegaram até a uma profundidade de 15 cm do solo e, quando submetido a uma precipitação maior (114 mm) estas foram lixiviadas até 20 cm de profundidade. Tal fato evidencia que o metribuzin é facilmente lixiviado, mesmo em um solo argiloso como o ora testado.

Em seu trabalho, Oliveira et al. (1999), observaram que a lixiviação do metribuzin foi afetada pela condição inicial de umidade do solo e pela lâmina de chuva artificial, uma vez que, ao trabalhar com o mesmo tipo de solo ora testado e plantas de pepino como planta bioindicadora, verificaram que o metribuzin atingiu a profundidade de 45 cm sob

Tabela 3. Porcentagem de fitotoxicidade em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) após a aplicação do herbicida metribuzin em solo de textura argilosa, em diferentes níveis de precipitação acumulada

| Perfil solo (cm) | Precipitação acumulada | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | 5 DAS | | | 7 DAS | | |
| | 31 mm | 62 mm | 114 mm | 31 mm | 62 mm | 114 mm |
| 0-3 | 10,0 (0,31) Aa | 5,0 (0,19) Ab | 0,0 (0,00) Ab | 27,5 (0,54) Aa | 15,2 (0,39) Aa | 22,5 (0,49) Aa |
| 3-6 | 11,2 (0,32) Aa | 0,0 (0,00) Bb | 0,0 (0,00) Ab | 22,5 (0,48) Aa | 5,5 (0,16) Bb | 16,2 (0,40) Aa |
| 6-9 | 2,5 (0,11) Ba | 0,0 (0,00) Bb | 0,0 (0,00) Ab | 8,5 (0,29) Bb | 0,0 (0,00) Bc | 23,7 (0,48) Aa |
| 9-12 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 1,7 (0,06) Cb | 0,0 (0,00) Bb | 22,5 (0,48) Aa |
| 12-15 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba |
| 15-20 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba |
| 20-25 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba |
| 25-30 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba |
| F Precipitação (C) | | 31,014** | | | 28,102** | |
| F Profundidade (P) | | 20,475** | | | 55,965** | |
| F (C) X (P) | | 10,520** | | | 7,991** | |
| C.V. (%) | | 125,8 | | | 55,0 | |
| d.m.s. (C) | | 0,08 | | | 0,14 | |
| d.m.s. (P) | | 0,11 | | | 0,19 | |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); Dados foram transformados em “y = arco seno (raiz (x / 100))”

Tabela 4. Porcentagem de fitotoxicidade em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) após a aplicação do herbicida metribuzin em solo de textura argilosa em diferentes precipitações acumuladas

| Perfil solo (cm) | Precipitação acumulada | | | | | |
|--------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | 10 DAS | | | 12 DAS | | |
| | 31 mm | 62 mm | 114 mm | 31 mm | 62 mm | 114 mm |
| 0-3 | 86,7 (1,21) Aa | 91,2,0 (1,27) Aa | 65,0 (0,94) Ab | 100,0 (1,57) Aa | 100,0 (1,57) Aa | 90,7 (1,31) Aa |
| 3-6 | 80,0 (1,11) Aa | 82,5 (1,14) Aa | 77,5 (1,08) Aa | 100,0 (1,57) Aa | 100,0 (1,57) Aa | 90,5 (1,31) Aa |
| 6-9 | 32,5 (0,60) Bb | 74,0 (1,03) Aa | 81,2 (1,13) Aa | 98,7 (1,51) Aab | 90,7 (1,21) Ab | 99,7 (1,54) Aa |
| 9-12 | 6,2 (0,21) Cb | 45,0 (0,73) Ba | 63,7 (0,93) Aa | 73,2 (1,06) Bb | 69,5 (1,00) Bb | 94,2 (1,41) Aa |
| 12-15 | 0,0 (0,00) Cb | 8,7 (0,15) Cb | 40,0 (0,67) Ba | 7,5 (0,24) Cb | 13,7 (0,21) Cb | 60,7 (0,89) Ba |
| 15-20 | 0,0 (0,00) Cb | 0,0 (0,00) Cb | 15,0 (0,28) Ca | 0,0 (0,00) Cb | 0,0 (0,00) Cb | 22,5 (0,43) Ca |
| 20-25 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Da |
| 25-30 | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Da |
| F Precipitação (C) | | 25,606** | | 8,811** | | |
| F Profundidade (P) | | 160,223** | | 228,438** | | |
| F (C) X (P) | | 8,915** | | 6,223** | | |
| C.V. (%) | | 25,7 | | 20,4 | | |
| d.m.s. (C) | | 0,22 | | 0,26 | | |
| d.m.s. (P) | | 0,29 | | 0,34 | | |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); Dados foram transformados em "y = arco seno (raiz (x / 100))"

uma simulação de 90 mm de chuva, o que não corrobora os resultados ora registrados. Ressalta-se que a condição artificial da aplicação da chuva pelos pesquisadores pode ter influenciado esses resultados.

De acordo com as avaliações de fitotoxicidade realizadas nas plantas de pepino, pode-se constatar, nas Tabelas 3 e 4, que sob uma precipitação normal em solo argiloso o herbicida metribuzin está suscetível a ser carregado para águas subterrâneas principalmente se o acúmulo da precipitação ocorrer logo após a aplicação do herbicida. Referidos resultados são confirmados no estudo realizado por Lagat et al. (2011) que, investigando a lixiviação de metribuzin em colunas contendo solos tropicais cultivados com cana-de-açúcar, no Quênia, concluíram que o metribuzin é fracamente adsorvido no solo, o que permitiu a lixiviação de 90% da quantidade aplicada devido aos efeitos de vários fatores físico-químicos e das condições climáticas em solos tropicais, sendo que os resíduos restantes de 10% metribuzin que permaneceram no solo colocaram em risco a poluição dos aquíferos. Em outro trabalho realizado na Noruega, evidenciou-se que, de maneira geral, o metribuzin apresenta

maior mobilidade nos horizontes mais profundos do solo e é mais retardado na camada superficial em razão do seu maior teor de matéria orgânica. Ao analisar esses resultados da camada superficial do solo, constatou-se que o risco de transferência deste herbicida para as águas subterrâneas em solos aluviais se torna real (Pot et al., 2011).

Analisando os resultados do solo de textura média arenosa verificou-se, aos 5 DAS sob uma precipitação de 36 mm, que o herbicida metribuzin atingiu a camada de 3-6 cm e, sob uma precipitação de 65 mm, o herbicida alcançou a camada de 6-9 cm; já quanto à precipitação de 116 mm, não se observou qualquer sintoma de fitotoxicidade nas plantas de pepino em nenhuma das profundidades avaliadas, sugerindo que o herbicida metribuzin lixiviou a profundidades maiores que 30 cm (Tabela 5).

Na avaliação realizada aos 7 DAS, nota-se que a precipitação de 36 mm proporcionou um incremento na profundidade em que se observou o herbicida metribuzin, pois atingiu 6-9 cm; para 65 mm não houve alteração na profundidade em que se verificou o metribuzin e com 116 mm continuou não sendo registrados sintomas de fitotoxicidade nas plantas de

Tabela 5. Porcentagem de fitotoxicidade em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) após a aplicação do herbicida metribuzin em solo de textura média arenosa, sob diferentes níveis de precipitação acumulada

| Perfil solo (cm) | Precipitação acumulada | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | 5 DAS | | | 7 DAS | | |
| | 36 mm | 65 mm | 116 mm | 36 mm | 65 mm | 116 mm |
| 0-3 | 7,5 (0,27) Aa | 1,2 (0,05) Ab | 0,0 (0,00) Ab | 23,7 (0,49) Aa | 5,7 (0,23) Ab | 0,0 (0,00) Ac |
| 3-6 | 3,7 (0,17) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 21,2 (0,42) Aa | 0,0 (0,00) Bb | 0,0 (0,00) Ab |
| 6-9 | 0,0 (0,00) Ba | 1,2 (0,05) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,7 (0,04) Ba | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa |
| 9-12 | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa |
| 12-15 | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa |
| 15-20 | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa |
| 20-25 | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa |
| 25-30 | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Ba | 0,0 (0,00) Aa |
| F Precipitação (C) | | 9,567** | | 24,846** | | |
| F Profundidade (P) | | 9,761** | | 19,988** | | |
| F (C) X (P) | | 5,998** | | 10,176** | | |
| C.V. (%) | | 186,3 | | 143,3 | | |
| d.m.s. (C) | | 0,08 | | 0,12 | | |
| d.m.s. (P) | | 0,10 | | 0,15 | | |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); Dados foram transformados em "y = arco seno (raiz (x / 100))"

Tabela 6. Porcentagem de fitotoxicidade em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) após a aplicação do herbicida metribuzin em solo de textura média arenosa, em diferentes precipitações acumuladas

| Perfil solo (cm) | Precipitação acumulada | | | | | |
|--------------------|------------------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|
| | 10 DAS | | | 12 DAS | | |
| | 36 mm | 65 mm | 116 mm | 36 mm | 65 mm | 116 mm |
| 0-3 | 83,7 (1,21) Aa | 83,7 (1,16) Aa | 0,0 (0,00) Ab | 100,0 (1,57) Aa | 95,2 (1,38) Aa | 0,0 (0,00) Ab |
| 3-6 | 75,0 (1,05) Aa | 77,5 (1,08) Aa | 0,0 (0,00) Ab | 97,2 (1,46) Aa | 89,7 (1,26) Aa | 0,0 (0,00) Ab |
| 6-9 | 54,5 (0,83) Ba | 67,0 (0,96) Ba | 0,0 (0,00) Ab | 75,0 (1,06) Ba | 90,0 (1,26) Aa | 0,0 (0,00) Ab |
| 9-12 | 16,2 (0,40) Cb | 58,7 (0,87) Ba | 0,0 (0,00) Ac | 41,2 (0,69) Ca | 62,5 (0,91) Ba | 0,0 (0,00) Ab |
| 12-15 | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa | 7,5 (0,19) Da | 5,0 (0,16) Cab | 0,0 (0,00) Ab |
| 15-20 | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa |
| 20-25 | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa |
| 25-30 | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa | 0,0 (0,00) Da | 0,0 (0,00) Ca | 0,0 (0,00) Aa |
| F Precipitação (C) | | 390,479** | | | 353,317** | |
| F Profundidade (P) | | 239,730** | | | 192,606** | |
| F (C) X (P) | | 64,458** | | | 50,114** | |
| C.V. (%) | | 25,0 | | | 26,0 | |
| d.m.s. (C) | | 0,13 | | | 0,18 | |
| d.m.s. (P) | | 0,17 | | | 0,23 | |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); Dados foram transformados em "y = arco seno (raiz (x / 100))"

pepino indicando a ocorrência de uma intensa lixiviação nesta condição (Tabela 5).

Verifica-se, na avaliação dos 10 DAS, que o herbicida metribuzin atingiu camadas mais profundas, de 9-12 cm do perfil do solo arenoso, sob as precipitações de 36 e 65 mm observando-se, aos 12 DAS, a presença do herbicida na camada de 12-15 cm. Ressalta-se que na precipitação acumulada de 116 mm nas duas avaliações finais aos 10 e 12 DAS, novamente sintoma algum de fitotoxicidade foi verificado nas plantas de pepino evidenciando que a quantidade de herbicida existente na camada de 0-30 cm não foi suficiente para determinar injúrias visuais às plantas de pepino, o que indicou a ocorrência de uma lixiviação intensa do herbicida (Tabela 6). Segundo Stenrød et al. (2008) a dissipação de pesticidas em condições de campo é regida pela degradação, sorção e pelos processos transporte, os quais têm uma variabilidade intrínseca, além de variar amplamente em toda a área agrícola, o que dificulta a interpretação dos resultados da área de estudo, mesmo que as principais perdas sejam conhecidas; assim, fatores como textura do solo, quantidade da matéria orgânica e sua origem, temperatura e a intensidade da chuva recebida, podem ter atuado nesses resultados ora obtidos.

Tais resultados ressaltam que o potencial de lixiviação do metribuzin é extremamente preocupante visto que os resultados das menores precipitações (36 e 65 mm) já comprovam a capacidade de mobilidade do herbicida em um solo de textura média e questionam a capacidade lixiviação do metribuzin em precipitações iguais ou acima de 116 mm. O metribuzin se liga muito pouco ao solo; assim, pela existência desta variabilidade de adsorção herbicida e biodisponibilidade no campo, tem levado a diferentes estudos com o objetivo de identificação de solos que são mais vulneráveis à lixiviação do herbicida e mostrar que há diferenças na ligação de metribuzin em diferentes solos (Shaner et al., 2008).

A baixa capacidade de adsorção no solo foi diagnosticada por Kodešová et al. (2011) ao estimar os coeficientes de adsorção de agroquímicos em solos da República Checa os pesquisadores verificaram que o metribuzin apresentava alta solubilidade e baixa capacidade adsorção, o que permitiu ter um alto potencial de lixiviação e atingir camadas mais

profundas e posteriormente as águas subterrâneas. Em seu trabalho, Maqueda et al. (2008) mostraram que o metribuzin era identificado em águas subterrâneas e, por ter grande mobilidade, também permitia um controle excelente de plantas daninhas em um solo arenoso na camada 0-12 cm de profundidade.

Os resultados das Tabelas 5 e 6 indicam que o herbicida metribuzin apresentou uma intensa lixiviação quando recebeu uma precipitação acumulada de 116 mm a ponto de ultrapassar os 30 cm de profundidade do perfil do solo estudado; o que torna preocupante é o fato desta quantidade de chuva ser normal e comum no verão brasileiro pois este herbicida demonstrou ter potencial para contaminação do lençol freático.

Estudos como os de Majumdar & Singh (2007) corroboram os resultados ora encontrados, pois observaram que o herbicida metribuzin foi muito pouco adsorvido ao solo; portanto, lixiviou-se facilmente a ponto de não ser diagnosticado pela planta bioindicadora devido à sua distribuição em todo o perfil do solo. Esses pesquisadores relataram ainda o efeito da adubação orgânica e de cinzas na mobilidade do metribuzin em colunas de solo franco arenoso pois quando submetido à aplicação de esterco e cinzas, encontrou-se aumento da capacidade de retenção do metribuzin entre 55 a 88% nas camadas coletadas do solo, sendo que o metribuzin recuperado em coluna de solo natural teve uma distribuição uniforme em todo o perfil do solo, permitido pela livre mobilidade do herbicida, seja sob irrigação ou condições de chuva em que quantidades significativas do herbicida foram lixiviadas para fora dos 30 cm do comprimento das colunas ora trabalhadas.

CONCLUSÕES

1. A lixiviação do herbicida metribuzin foi dependente da precipitação pluvial recebida nos dois tipos de solo estudados.
2. A eficácia da planta bioindicadora em mostrar sintomas de fitotoxicidade depende da textura do solo e da precipitação pluvial.
3. A metodologia de utilização de plantas bioindicadoras mostrou-se eficiente para avaliação da mobilidade de herbicida no perfil do solo.

LITERATURA CITADA

- Bedmar, F.; Costa, J. L.; Suero, E.; Gimenez, D. Transport of atrazine and metribuzin in three soils of the humid pampas of Argentina. *Weed Technology*, v.18, p.1-8, 2004. <http://dx.doi.org/10.1614/WT-02-056>
- Caetano, L. C. S.; Silva, J. F.; Cardoso, A. A.; Sediya, T. Efeito do modo de aplicação do metribuzin e de sua combinação com trifluralin sobre a cultura do guar *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. *Revista Ceres*, v.43, p.245-253, 1996.
- EXTOXNET – Extension Toxicology Network. Metribuzin (Sencor) pesticide information profiles. 1996. <<http://extoxnet.orst.edu/pips/metribuzin.htm>>. 12 Fev. 2013.
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011.
- Kodešová, R.; Kočárek, M.; Kodeš, V.; Drábek, O.; Kozák, J.; Hejtmánková, K. Pesticide adsorption in relation to soil properties and soil type distribution in regional scale. *Journal of Hazardous Materials*, v.186, p.540-550, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.040>
- Lagat, S. C.; Lalah, J. O.; Kowenje, C. O.; Getenga, Z. M. Metribuzin mobility in soil column as affected by environmental and physico-chemical parameters in Mumias sugarcane zone, Kenya. *Journal of Agricultural and Biological Science*, v.6, p.27-33, 2011.
- Lourencetti, C.; Spadotto, C. A.; Silva, M. M. S.; Ribeiro, M. L. Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: Comparação entre métodos de previsão de lixiviação. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.15, p.1-14, 2005.
- Majumdar, K.; Singh, N. Effect of soil amendments on sorption and mobility of metribuzin in soils. *Chemosphere*, v.66, p.630-637, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.07.095>
- Maqueda, C.; Villaverde, J.; Sopeña, F.; Undabeytia, T.; Morillo, E. Novel System for reducing leaching of the herbicide metribuzin using clay-gel-based formulations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.56, p.11941-11946, 2008. <http://dx.doi.org/10.1021/jf802364t>
- Oliveira, M. F.; Silva, A. A.; Ferreira, F. A.; Ruiz, H. A. Lixiviação de flumioxazin e metribuzin em dois solos em condições de laboratório. *Planta Daninha*, v.17, p.207-215, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581999000200005>
- Oliveira Júnior, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: Oliveira Júnior, R. S.; Constantin, J. (coord.). *Plantas daninhas e seu manejo*. Guaíba: Agropecuária, 2001. p.209-260.
- Pot, V.; Benoit, P.; Menn, M. le; Eklo, O. M.; Sveistrup, T.; Kværner, J. Metribuzin transport in undisturbed soil cores under controlled water potential conditions: experiments and modelling to evaluate the risk of leaching in a sandy loam soil profile. *Pest Management Science*, v.67, p.397-407, 2011. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.2077>
- Rodrigues, B. N.; Almeida, F. S. Guia de herbicidas. 6.ed. Londrina: IAPAR, 2011. 697p.
- Rosenbom, A. E.; Kjær, J.; Henriksen, T.; Ullum, M. Ability of the macro model to predict long-term leaching of metribuzin and diketometribuzin. *Environmental Science & Technology*, v.43, p.3221-3226, 2009. <http://dx.doi.org/10.1021/es802752x>
- SBCPD - Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. Procedimentos para instalação avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995. 42p.
- Sérgio, C.; Zacarias, X. B.; Lincoln, G. C.; Fernanda, L. R.; Armindo, A. A. J. Levantamento físico conservacionista do Ribeirão Lavapés, Botucatu, SP. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v.22, p.170-184, 2005.
- Shaner, D. L.; Farahani, H. J.; Buchleiter, G. W. Predicting and mapping herbicide-soil partition coefficients for EPTC, metribuzin, and metolachlor on three Colorado fields. *Weed Science*, v.56, p.133-139, 2008. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-07-125.1>
- Stenrød, M.; Perceval, J.; Benoit, P.; Almvik, M.; Bolli, R. I.; Eklo, O. M.; Sveistrup, T. E.; Kværner, J. Cold climatic conditions: Effects on bioavailability and leaching of the mobile pesticide metribuzin in a silt loam soil in Norway. *Cold Regions Science and Technology*, v.53, p.4-15, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2007.06.007>