Simulação Numérica de Agrotóxicos com o Modelo PRZM-2

Henry Xavier Corseuil - Ph.D. em Engenharia Ambiental pela The University of Michigan (EUA). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.
Vagner Jorden - Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária - Universidade Federal de Santa Catarina.
Masato Kobiyama -Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná. Pesquisador do CNPq no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.
Endereço - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-Uiversidade Federal de Santa Catarina, C.P. 476, Fone (048) 231-9597, Trindade, CEP: 88070-910, Florianópolis, SC.

Resumo

O presente trabalho utilizou o modelo matemático Pesticide Root Zone Model (PRZM-2) na análise da lixiviação do agrotóxico Paration-Metílico (Folidol) em solos com culturas de tomate. A região escolhida para simulação é parte da Bacia do Rio Cubatão próxima a Florianópolis,SC. O período de simulação foi de 1986-1994. Nas simulações enfocou-se a influência das biomassas microbianas metabolizadoras do contaminante presentes nas camadas de solo, a degradação global baseada na cinética de primeira ordem e lixiviação sem transformações físico-químicas ou biológicas. Verificou-se que o modelo PRZM-2 pode servir como uma excelente ferramenta para práticas de aplicações de agrotóxicos e também para se avaliar o potencial de riscos ambientais causados pela contaminação das águas subterrâneas.

Palavras Chave: PRZM-2, Agrotóxico, Lixiviação, Simulação Numérica, Biomassa Microbiana, Bacia do Rio Cubatão.

Introdução

Na agricultura recente, desde meados do século XX, nota-se o uso crescente de agrotóxicos, incluindo um amplo arsenal de organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretróides, etc. Num complexo sistema de interrelações no meio ambiente, os agrotóxicos passam a ser um dos insumos de maior importância. Ao desconsiderar as conseqüências ambientais associadas ao seu uso indiscriminado e irresponsável, os efeitos dessas práticas contaminam o solo, águas superficiais e subterrâneas integrando-se às redes hidrográficas e regiões marinhas litorâneas, em alguns casos.

As poucas pesquisas avaliando a contaminação do solo e do lençol freático por agrotóxicos no Brasil ocorre em função da complexidade das metodologias específicas e equipamentos sofisticados nacessários na quantificação destes compostos. Pesquisas envolvendo modelos matemáticos possibilitam a minimização de ensaios experimentais, pois permitem avaliar o grau de contaminação das áreas propostas através de simulações de diferentes cenários.

Trabalho apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - CABES - Salvador - Bahia - 17-21 Setembro de 1995.

Recentemente vários modelos numéricos foram desenvolvidos para simular o transporte de agrotóxicos e água no solo. Dentre eles pode-se destacar: CMLS (Nofziger & Hornsby, 1986), MOUSE (Steenhuis et al., 1987), GLEAMS (Knisel et al., 1989), LEACHMP (Wagenet & Hutson, 1987), PRZM (Carsel et al, 1984) e PRZM-2 (Mullins et al, 1993).

Utilizando o modelo PRZM-2, este trabalho analisou os mecanismos da lixiviação do agrotóxico Paration-Metílico no solo, e avaliou o seu grau de contaminação. Dentre tais mecanismos foram priorizados a biomassa microbiana do solo e seus efeitos na zona da raiz e na região não saturada do solo no cálculo das concentrações do agrotóxico.

Aplicou-se o PRZM-2 na Bacia do Rio Cubatão que é o cinturão verde e o principal manancial abastecedor da Grande Florianópolis, onde ocorrem aplicações massivas de agrotóxicos na horticultura e onde vive uma população de aproximadamente 500.000 pessoas.

Teoria do modelo PRZM-2

O modelo matemático "Pesticide Root Zone Model-2 (PRZM-2)", (Mullins et al., 1993), é um modelo dinâmico, que simula o movimento da água e agrotóxicos, acima e abaixo da zona da raiz, e no lençol freático. Os principais mecanismos envolvidos no processo de contaminação do solo e águas subterrâneas simulados pelo modelo são a degradação química e biológica a volatilização a evapotranspiração, a absorção pela planta a erosão e o escoamento superficial.

As técnicas de modelação utilizadas representam séries temporais e espaciais de massa dos compostos químicos. Tais séries, são capazes de refletir as variações de precipitação, evapotranspiração, práticas agrícolas, manejo do solo e aplicações temporais do agrotóxico. O modelo utilizado baseia-se na resolução das equações de balanço de massa utilizadas nas zonas superficiais e subsuperficiais, identificando os fatores de transporte e transformações do agrotóxico. As equações abaixo descrevem tais mecanismos envolvidos tanto na fase liquída quanto sólida ou gasosa e são ilustrados esquematicamente na Figura 1.

$$\frac{A\,\Delta z\,\partial(C_w\,\theta)}{\partial t} = J_D - J_V - J_{DW} - J_U - J_{QR} + J_{APP} + J_{FOF} \pm J_{TRN} \quad \text{.....(fase líquida)}$$

$$\frac{A\,\Delta z\,\partial(C_s\,\rho_s)}{\partial t} = -J_{DS} - J_{ER} \quad \text{(fase sólida)}$$

$$\frac{A\,\Delta z\,\partial(C_g\,a)}{\partial t} = J_{GD} - J_{DG} \quad \text{(fase gasosa)}$$

Onde;

- A = área da sessão transversal da coluna de solo (cm^2)
- Δz = profundidade do compartimento (m)
- C_w = concentração dissolvida do pesticida (g/cm^2)
- C_s = concentração sorvida do pesticida (g/g)
- C_g = concentração gasosa do pesticida (g/cm^3)
- θ = conteúdo volumétrico de água no solo (cm^3/cm^3)

-a = conteúdo volumétrico de ar no solo (cm^3/cm^3)
-ρ_s = densidade global do solo (g/cm^3)
-t = tempo (dia)
-J_D = dispersão e difusão da fase dissolvida (g/dia)
-J_V = advecção da fase dissolvida (g/dia)
-J_{GD} = dispersão e difusão na fase gasosa (g/dia)
-J_{DW} = fluxo de massa por transf. da fase dissolvida (g/dia)
-J_{DG} = fluxo de massa por transf. da fase gasosa (g/dia)
-J_U = fluxo de massa por absorção da planta da fase dissolvida. (g/dia)
-J_{QR} = fluxo de massa pela remoção em escoamento superficial (g/dia)
-J_{APP} = fluxo de massa pela aplicação do pesticida (g/dia)
-J_{FOF} = fluxo de massa pela lavagem das plantas (g/dia)
-J_{DS} = fluxo de massa por transf. da fase sorvida (g/dia)
-J_{ER} = fluxo de massa removido por erosão (g/dia)
-J_{TRN} = fluxo de massa pela transformação em subprodutos (g/dia).

Características da região em estudo

A região em estudo compreende parte da bacia hidrográfica do rio Cubatão, onde situa-se o principal manancial abastecedor da microregião da Grande Florianópolis. Sua área total é de 738 Km^2, dos quais 342 Km^2 pertencem ao Parque Estadual da Serra do Tabuleiro.

Nesta região, pratica-se culturas intensivas de hortigranjeiros. Destaca-se entretanto, o cultivo de tomate, que abrange uma área de aproximadamente 618 ha (Secretaria da Agricultura e do Abastecimento - SC / ICEPA). O tipo de solo da região é mesotrópico úmido, argilo-arenoso, medianamente profundo e bem drenado. O relevo é caracterizado pela presença de serras e vales, geoformas que se correspondem com seu substrato cristalino. Trata-se de uma região climática subtropical, com temperatura média anual de 19,7°C.

Condições propostas nas simulações

Os dados meteorológicos diários no período de 1986 a 1994 necessários às simulações fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EMPASC) foram: precipitação (cm/dia); evaporação (cm/dia); temperatura do ar (°C); velocidade do vento (cm/s); radiação solar (Langley).

Em geral na área proposta são utilizados vários agrotóxicos. Entretanto, este estudo enfocou apenas o uso do inseticida e acaricida fitossanitário organofosforado Paration-Metílico (Folidol). Este agrotóxico pode afetar o sistema nervoso central, causar câncer em seres humanos em concentrações de 0,005 mg/kg (Howard, 1990) e também é altamente tóxico para animais silvestres e peixes. Assumiu-se que no período simulado fumigou-se nove vezes ao ano, em anos definidos de acordo com as simulações propostas e com uma concentração de 0,50 kg/ha por fumigação, nos seguintes dias: 10/04, 19/04, 28/04, 06/05, 15/05, 24/05, 03/06, 12/06, 21/06.

O compartimento total de solo utilizado possui 400 cm de profundidade. Este compartimento foi dividido em duas camadas: a 1ª camada está compreendida entre 0 e

30 cm de profundidade representando a zona da raíz e a 2ª camada entre 30 e 400 cm. As características de cada camada são apresentadas Tabela 1.

Características	1ª camada	2ª camada
Profundidade de cada horizonte	30.0	370.0
Densidade volumétrica global	1.00	1.50
Quantidade de água em cada horizonte (cm^3/cm^3)	0.350	0.350
Quantidade média de carbono da população	0.5	0.45
Carbono mineralizado (mg/g)	0.5	0.45
Conc. da pop. de microorganismos co-metabolizadores (mg/g)	0.0001	0.00001
Conc. da população de microorganismos sensitivos (mg/g)	0.05	0.0035
Conc. da população de microorganismos não-sensitivos (mg/g)	0.05	0.0035
Capacidade de campo (cm^3/cm^3)	0.350	0.350
Ponto de murcha (cm^3/cm^3)	0.100	0.100
Carbono orgânico (%)	0.05	0.030
Temperatura inicial superficial de cada horizonte (°C)	24.1	20.9
Quantidade de areia em cada horizonte (%)	10.0	15.0
Quantidade de argila em cada compartimento (%)	50.0	45.0

Tabela 1. Características específicas das camadas.

Para avaliar as influências da biomassa microbiana do solo na simulação da lixiviação do agrotóxico, foram propostos os seguintes casos:

Caso 1: Simulação sem degração com 9 aplicações no primeiro ano. Período: 1986-1994.

Caso 2: Simulação com degradação global de primeira ordem ($K=0,22\ dia^{-1}$) com 9 aplicações no primeiro ano.

Caso 3: Simulação com degradação biológica baseado na cinética de Monod. Biomassa inicial nas camadas 1 e 2 : $X_{01}=1.0x10^{-6}$ mg/g e $X_{02}= 1.0x10^{-7}$ mg/g. Período: 1986-1994 com 9 aplicações no primeiro ano.

Caso 4: Simulação com degradação biológica baseado na cinética de Monod. Biomassa inicial nas camadas 1 e 2 : $X_{01}=1.0x10^{-4}$ mg/g e $X_{02}= 1.0x10^{-5}$ mg/g. Período: 1986-1994 com 9 aplicações no primeiro ano.

Os casos relacionados acima, foram propostos para avaliar diferentes cenários que podem causar comportamentos distintos na lixiviação dos agrotóxicos. A flexibilidade do modelo permite simular taxas de degradação global que envolvem todos os fenômenos de transformação em um único parâmetro, bem como possibilita a simulação do efeito de diferentes concentrações iniciais de microorganismos metabolizantes dos agrotóxicos.

Resultados das simulações

Para análise numérica, foram executados ao todo 4 casos. Nestes casos, procurou-se avaliar: a influência de microoganismos metabolizadores do agrotóxico presentes nas camadas de solo e estimar o tempo decorrido para lixiviação do contaminante até o lençol freático sem nenhum efeito de transformação.

A Figura 2 mostra o resultado da simulação do caso 1, onde é representada a lixiviação do Paration-Metílico sem o efeito de nenhum processo fisico-químico ou

biológico de transformação. O período simulado foi de 1986 a 1994 onde foram feitas aplicações de 0,5 quilos de agrotóxico por hectare no ano de 1986. Os resultados indicaram que após 8 anos o contaminante lixiviado atinge o lençol freático a uma concentração de 0,4 mg por quilo de solo.

A Figura 3 apresenta a simulação do caso 2, onde utilizou-se uma degradação global de primeira ordem para o Paration-Metílico igual a 0,22 dia^{-1}(Nash, 1980). Nestas condições o agrotóxico em 4 meses foi completamente degradado na zona da raiz, não atingindo nem mesmo a camada não saturada do solo.

Nos casos 3 e 4 em vez da utilização do decaimento de primeira ordem que engloba todos os fenômenos de transformação, simulou-se o efeito da biomassa na degradação do pesticida.No caso 3, o compartimento total foi dividido em 2 camadas de solo: A 1ª e a 2ª camada possuem uma concentração de $1.0x10^{-6}$ e $1.0x10^{-7}$ mg/g de microorganismos metabolizadores do agrotóxico respectivamente, e sujeito a 9 aplicações de 0,50 kg/ha apenas no ano de 1986. A perfil das concentrações representado por uma distribuição vertical não homogênia, indica uma variação da concentração do agrotóxico ao longo do compartimento total analisado devido a lixiviação sofrida ocorrendo uma redução do pico de concentrações com o tempo. Verificou-se que a quantidade de agrotóxico no compartimento total analisado variou de 3,375 a 0,407 kg/ha para os anos de 1986 a 1994. Constatou-se que ao final do ano de 1994 o agrotóxico aplicado atinge a profundidade do lençol freático (400 cm) com uma concentração de 0,06947 mg/kg (Figura 4).

A Figura 5 representa a simulação do caso 4. O que diferencia os casos 3 e 4 são o número de aplicações efetuadas e a biomassa inicial. No caso 4 foram realizados 9 aplicações ao ano durante 5 anos, sendo a biomassa inicial duas ordens de grandeza maior. Os resultados mostram que com aplicações contínuas ocorre um acúmulo de pesticida no solo mesmo com uma biomassa inicial maior nas camadas do solo.

Conclusão

Este trabalho avaliou o modelo matemático PRZM-2 na análise da lixiviação do agrotóxico Paration-Metílico (Folidol) em solos com culturas de tomate na região da Grande Florianópolis. Nas simulações enfocou-se a influência da biomassa microbiana presente no solo, a degradação global baseada em cinética de primeira ordem e a lixiviação sem transformação. O modelo permitiu que se estimasse o tempo decorrido para a lixiviação do agrotóxico Paration-Metílico atingir a profundidade do lençol freático avaliando-se assim o risco de contaminação existente na área estudada.

Verificou-se que o modelo matemático PRZM-2 pode servir como uma excelente ferramenta para práticas de aplicação de agrotóxicos e também para se avaliar o potencial de riscos ambientais causados pela contaminação de aquíferos. A complexidade do modelo permite que se avalie o efeito da aplicação continuada de agrotóxicos uma vez que o modelo possue uma subrotina de biodegradação onde é levado em consideração o crescimento bacteriano. Este recurso é importante porque muitas aplicações excessivas de agrotóxicos ocorrem por causa do fenômeno de degradação acelerada. Nesta situação, o composto químico perde seu potencial de atuação pela ação dos microorganismos adaptados presentes no solo e o agricultor tende a utilizar dosagens superiores as recomendas pelos fabricantes.

Trabalho apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - CABES - Salvador - Bahia - 17-21 Setembro de 1995.

Estudos experimentais estão sendo iniciados na UFSC para avaliar os efeitos dos agrotóxicos na Bacia do Cubatão com recursos da FINEP projeto PADCT/CAMB, de modo que se possa calibrar o modelo com dados reais.

Agradecimentos:Este este projeto foi financiado com recursos do CNPq e do Departamento de Apoio a Pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina (DAP-UFSC).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carsel, R.F.; Smith, C.N.; Mulkey, L.A.; Dean J.D.; Jowise P. (1984) **User's Manual for the Pesticide Root Zone Model (PRZM): Release 1.** Athens: U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Res. Lab., 219p. (EPA-600/3-84-109).

Hoard, P.H. (1990) **Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals**. v. I, II, III. Lewis Publishers Inc. Chelsen, MI.

Knisel,W. G.; Leonard, R.A.;Davis, F.M. (1987) **GLEAMS User Manual.** Tifton: Southeast watershed Research Laboratory, 25p.

Mullins, J.A.; Carsel, R.F.; Scarbrough, J.E.; Ivery, A.M. (1993) **PRZM-2: A Model for Predeicting Pestice in the Crop Root and Unsaturated Soil Zones. User's Manual for Release 2.** Athens: U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Res. Lab., (EPA-30605-2770).

Nash, R.G. (1980); Dissipation Rate of Pesticide from Soils. Chapter 17. IN CREAMS: A **Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Manegement Systems**. W.G. Kinsel, ed. USDA Conservation Research Report No. 26, 643 p.

Nofziger, D.L.; Hornsby, A.G. (1986) A microcomputer-based management tool for chemical movemt in soil. **Apll. Agr. Res.**, v.1, p.50-56.

Pennel, K.D; Hornsby, A.G.; Jessup, R.E.; RAO, P.S.C. Evaluation of five simulation models for predicting aldicarb and bromide behavior under fiel conditions. **Water Resour. Res**., v.26, p.2679-2693, 1990.

Pinheiro, S.; Nasr, N.Y.; Luz, D. (1993) **A Agricultura Ecológica e a Máfia dos Agrotóxicos no Brasil**. Porto Alegre: Editora Saraiva, 338p.

Steenhuis, T.S.; Pacenka, S.; Porter, K.S. (1987) MOUSE: A management model for evaluating groundwater contamination from diffuse suface sources aided by computer graphics. **Appl. Agr. Res.**, v.2, p.277-289.

Wagenet, R.J.; Hutson, J.L. (1987) **LEACHMP: A Finite-Difference Model for Simulating Water, Salt and Pesticide Movement in the Plant Root Zone, Continuum 2.** Ithaca: New York State Resources Institute - Cornell University

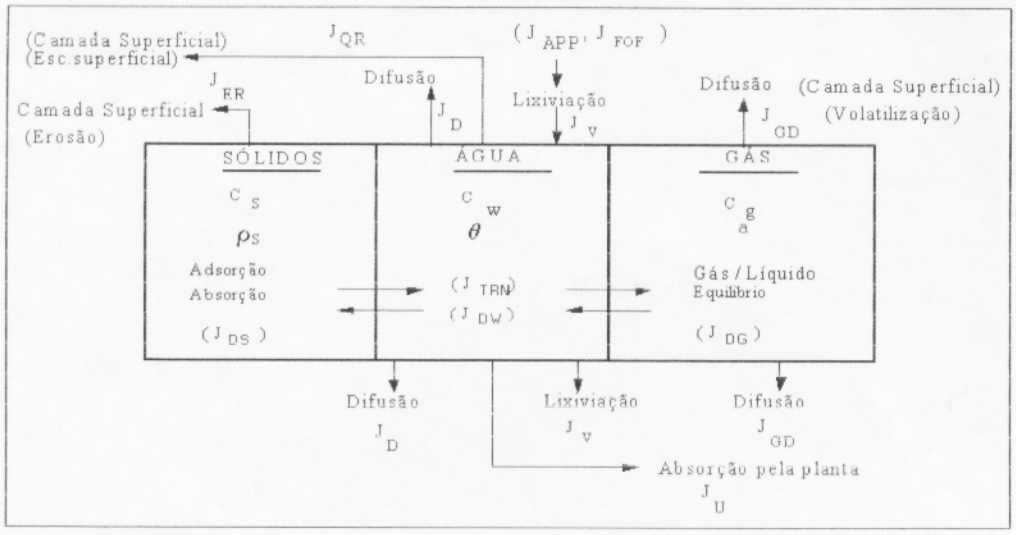

Figura 1. Sistema esquemático de um composto químico na camada de solo e as hipóteses assumidas pelo PRZM-2.

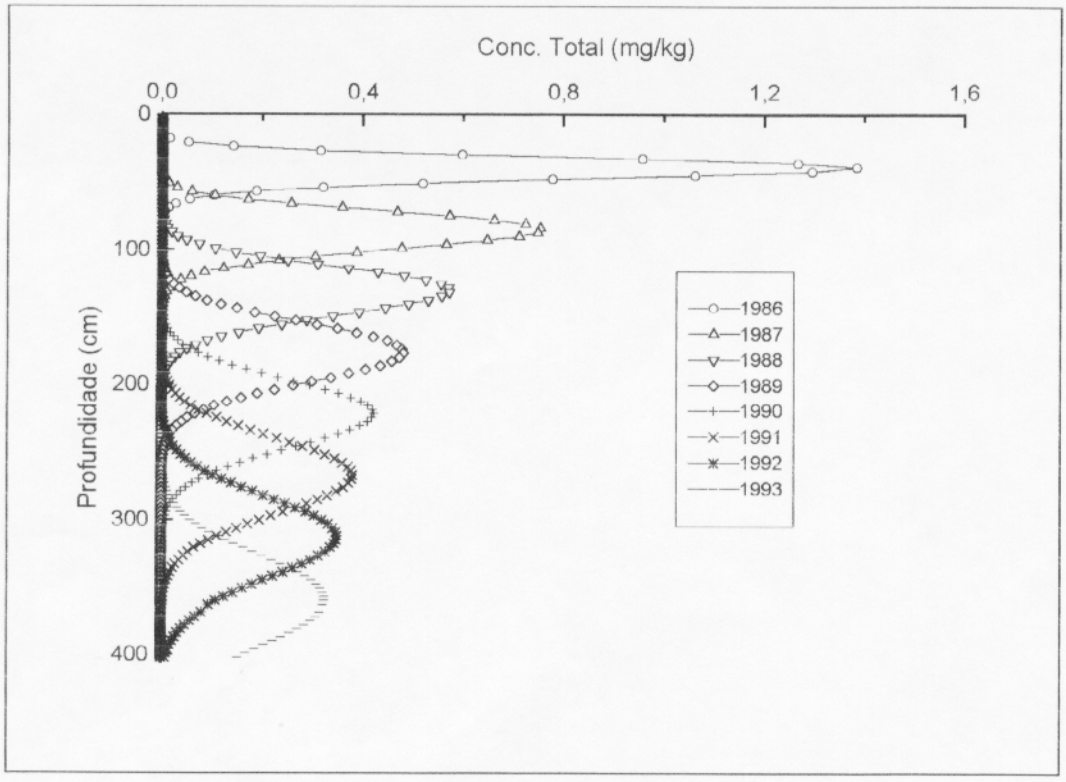

Figura 2. Representa o reultado da simulação do caso 1.

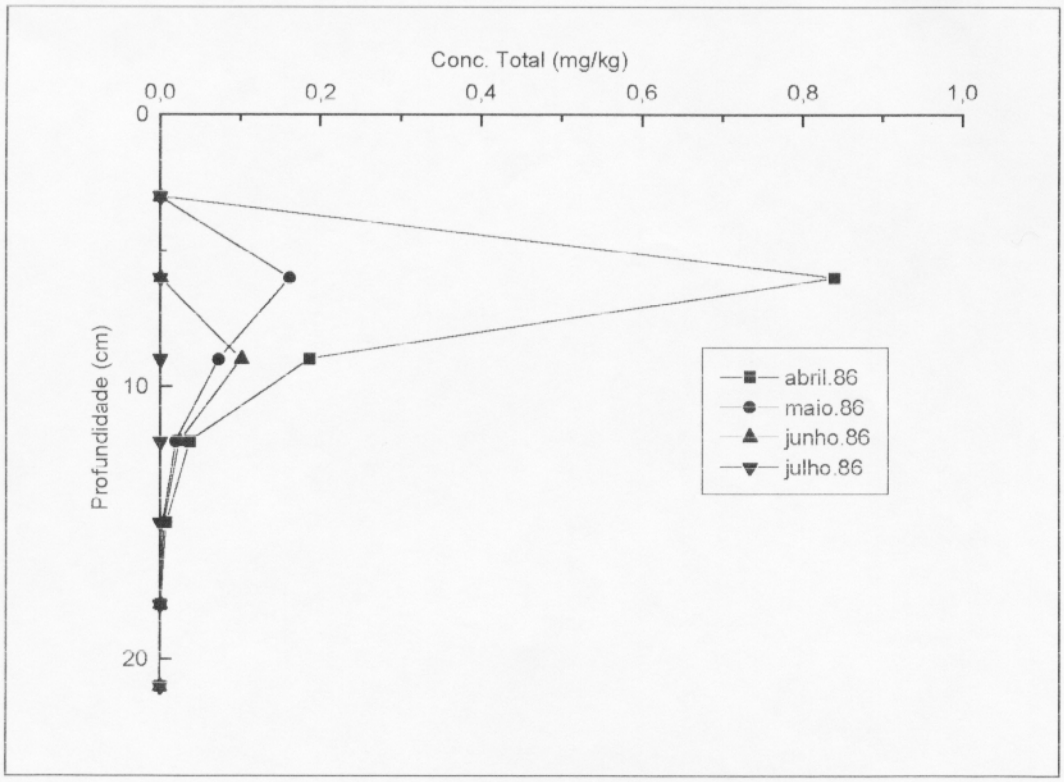

Figura 3. Resultado da simulação do caso 2.

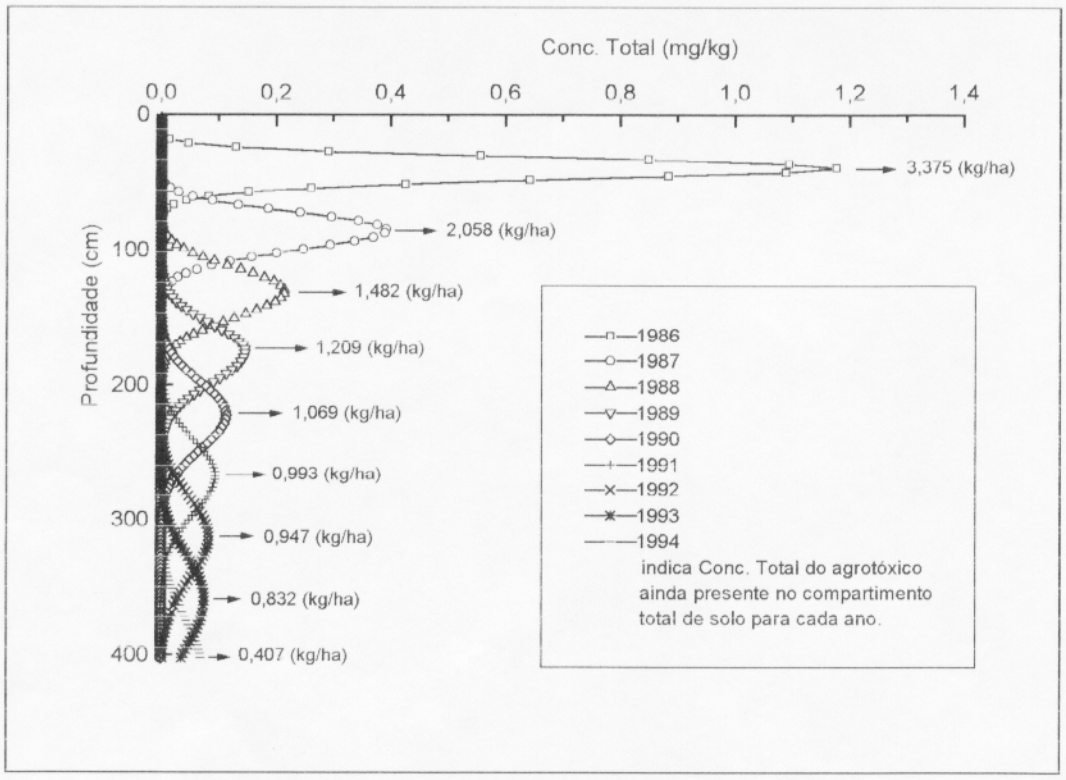

Figura 4. Representa o resultado da simulação do caso 3.

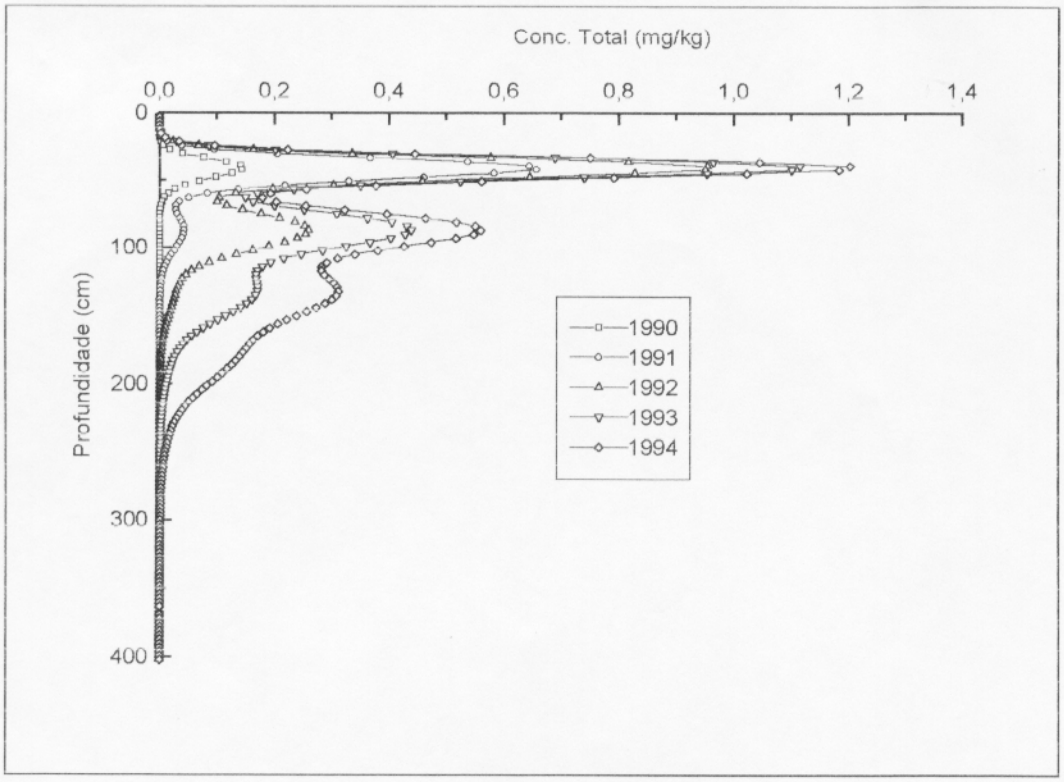

Figura 5. Representa o resultado da simulação do caso 4.