

XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Análise do Risco de Lixiviação de Poluentes Orgânicos de Lodos de Esgotos em Cultivos de Milho

LOURIVAL COSTA PARAÍBA⁽¹⁾ & SÔNIA CLÁUDIA NASCIMENTO DE QUEIROZ⁽²⁾

RESUMO - Por hipótese, o uso de lodos de esgotos como fertilizantes agrícolas pode contaminar solos e águas subterrâneas com poluentes orgânicos. O objetivo desse trabalho foi analisar o risco de lixiviação de trinta e oito poluentes orgânicos de lodos de esgotos. Para tanto, foi assumido um cultivo de milho em um solo Latossolo vermelho distrófico, característico de solos de regiões produtoras de milho, no qual foi aplicada uma dose de lodo de esgotos como fertilizante agrícola. A lixiviação dos poluentes foi simulada utilizando-se o modelo CMLS94 e os dados climáticos de mil anos independentes e igualmente prováveis gerados pelo simulador de clima WGEN, a partir de uma seqüência de quatorze anos consecutivos observados e registrados pela Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC. A análise de risco indicou que os poluentes benzidina > n-nitrosodina-propilamina > fenol > 2,4-dinitrofenol > isoforano > nitrobenzeno > p-cresol > o-cresol > m-cresol > 2-clorofenol, nessa ordem, devem ser monitorados prioritariamente em águas subterrâneas de regiões de solos similares a Latossolo vermelho distrófico nos quais foram aplicados doses de lodo.

Palavras-Chave: (simulação; CMLS; WGEN)

Introdução

O tratamento de esgotos por estações de tratamentos tem por objetivo remover organismos patogênicos e parte significativa da matéria sólida contida nos esgotos. O lodo resultante do tratamento de esgotos pode conter poluentes orgânicos de diversas naturezas tais como detergentes, inseticidas e metais pesados [1,2]. Segundo Tsutiya [2], os lodos produzidos pelas estações de tratamentos de esgotos das cidades de Barueri e de Suzano, ambas no Estado de São Paulo, Brasil, contêm poluentes orgânicos de importância ambiental.

O lodo é um material de composição predominantemente orgânica que, sob estrito controle de qualidade, pode ser usado para melhorar a qualidade de solos agrícolas [3]. O conhecimento público do conteúdo de substâncias orgânicas em lodos de esgotos permite avaliar o risco de contaminação alimentar e ambiental por poluentes orgânicos decorrente da utilização de lodos como fertilizantes agrícolas. Por

exemplo, pode-se estimar o risco de contaminação de solos e águas subterrâneas por um determinado poluente orgânico persistente contido em um lodo que venha a ser usado como adubo em cultivos de milho.

O objetivo desse trabalho foi analisar o risco de lixiviação de trinta e oito poluentes orgânicos presentes em lodos de esgotos e identificar quais desses poluentes devem ser monitorados em amostras de águas subterrâneas de regiões de solos Latossolo vermelho distrófico nas quais foram utilizados lodos como fertilizante de cultivos agrícolas. Para tanto, foi assumido um cultivo de milho em um solo Latossolo vermelho distrófico, característico de solos de regiões brasileiras produtoras de milho, no qual foi aplicada como fertilizante uma dose de lodo contendo concentrações significativas dos trinta e oito poluentes orgânicos selecionados por Tsutiya [2].

O simulador CMLS94 de Nofziger e Hornsby [4] foi utilizado para estimar o risco de contaminação das águas subterrâneas pelos poluentes selecionados. Mil anos de dados climáticos igualmente prováveis e independentes foram gerados pelo simulador de clima WGEN [5]. O WGEN foi embutido e adaptado no CMLS94 por Nofziger e Hornsby [4] para simular dados climáticos para o CMLS94 produzir distribuições de probabilidade de lixiviação, entre outros recursos [4,5].

Os dados climáticos gerados, para cada ano pelo WGEN, foram utilizados pelo CMLS94 para simular a lixiviação de cada poluente e produzir o risco potencial de lixiviação em termos de percentuais ou probabilidades.

Material e Métodos

O simulador CMLS94 é um modelo de transporte unidimensional de solutos que usa o princípio do fluxo por pistão para simular o movimento vertical de um composto orgânico (pesticidas e substâncias orgânicas) na solução do solo no horizonte radicular da planta. Nesse modelo, a zona de raiz é subdividida em camadas de solo na qual o soluto se desloca verticalmente, como consequência do balanço hídrico, e se dissipa, em cada camada, como resultado da sorção e da degradação da substância no solo.

O WGEN é um gerador de clima que permite simular valores diários de precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, e radiação solar com as mesmas

⁽¹⁾ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente. Rodovia Campinas Mogi-Mirim, SP 340, Km 127,5, Tanquinho Velho, CP. 69; CEP 13820-000, Tel. 19-3311-2667; Fax. 19-3311-2740; Jaguariúna, São Paulo, Brasil. e-mail: lourival@cnpma.embrapa.br;

⁽²⁾ Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente. Rodovia Campinas Mogi-Mirim, SP 340, Km 127,5, Tanquinho Velho, CP. 69; CEP 13820-000, Tel. 19-3311-2687; Fax. 19-3311-2740; Jaguariúna, São Paulo, Brasil. e-mail: sonia@cnpma.embrapa.br;

Apoio financeiro: Embrapa Meio Ambiente MP3 03.06.5.10.00.01/02 e Fapesp Projeto. 2007/04427-8.

características estatísticas de valores diários históricos de um determinado período e localidade. Tais dados são usados pelo CMLS94 para estimar a evapotranspiração diária de plantas no balanço do conteúdo de água em cada camada do solo.

O WGEN PAR é um acessório do WGEN que permite gerar, a partir de dados históricos, parâmetros climáticos necessários para o WGEN produzir dados climáticos independentes e igualmente prováveis de uma localidade ou região. Os parâmetros gerados pelo WGEN PAR são úteis para o CMLS94 simular a probabilidade de uma substância ultrapassar uma determinada profundidade do solo em um intervalo de tempo previamente estabelecido.

Dados diários de precipitação e temperatura do ar de quatorze anos consecutivos da região de Campinas, coletados pela Estação Experimental do IAC, foram utilizados pelo WGEN PAR para gerar os parâmetros necessários para o WGEN produzir uma seqüência de mil anos independentes e igualmente prováveis aos anos do período de 1993 a 2007.

Os dados de solo, clima e cultivo utilizados pelo CMLS94 para simular a lixiviação dos poluentes foram obtidos pelos projetos "*Avaliação da translocação de alguns contaminantes orgânicos presentes no lodo de esgoto, para o produto agrícola, visando à segurança do alimento: milho*" - Embrapa MP3 03.06.5.10.00.01/02 e "*Bioconcentração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAS) em grãos de milho cultivados em solos com lodo de esgoto*" - Fapesp 2007/04427-8 - ambos desenvolvidos pela equipe da Embrapa Meio Ambiente.

Esse trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, em uma área de Latossolo vermelho distrófico, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Nesta tabela são apresentadas por camadas de 0,20 cm, da superfície (0,0 cm) até 120 cm, as características do solo necessárias para o CMLS94 simular a lixiviação dos poluentes. Na Tabela 1, CO é a fração volumétrica de carbono orgânico, DS é a densidade total, CC, PM e PS são as frações volumétricas de água na capacidade de campo, no ponto de murcha e no ponto de saturação, respectivamente.

A lixiviação simulada do poluente pelo CMLS94 foi considerada significativa quando o poluente ultrapassou a zona de raiz das plantas de milho - supostamente localizada entre 0,0 e 0,60 m do perfil do solo - cento e vinte dias após a aplicação do lodo como fertilizante. Para cada poluente foi calculado o risco de lixiviação pelo percentual de passagem pelos 0,60 cm após os cento e vinte dias. Os poluentes que apresentaram os maiores riscos de lixiviação foram classificados como poluentes prioritários para monitoramento em águas subterrâneas.

A Tabela 2 apresenta as características dos poluentes necessárias para o CMLS94 simular a

lixiviação no perfil de solo. A lixiviação provável, simulada pelo CMLS94, de cada um dos trinta e oito poluentes, está apresentada na Tabela 2.

Resultados

Embora o CMLS94 tenha sido descrito primeiramente como uma ferramenta educacional e de gerenciamento para ilustrar o movimento de solutos no solo, ele foi testado em diversos tipos de solos e de climas e aprovado favoravelmente para simular o transporte no solo de inúmeras substâncias químicas orgânicas [6,7].

A Tabela 2 apresenta o resultado do risco percentual de lixiviação abaixo dos 0,60 cm após 120 dias dos poluentes no solo da Tabela 1. A análise de risco indicou que os poluentes benzidina > n-nitrosodi-n-propilamina > fenol > 2,4-dinitrofenol > isoforano > nitrobenzeno > p-cresol > o-cresol > m-cresol > 2-clorofenol, nessa ordem, devem ser monitorados prioritariamente em águas subterrâneas de regiões de solos similares a Latossolo vermelho distrófico nos quais foram aplicados doses de lodo.

Por hipótese, foi suposto que os poluentes de risco para água subterrânea são aqueles que ultrapassam a zona radicular das plantas de milho em um determinado tempo após a aplicação do lodo de esgoto. O simulador CMLS94 incorpora o WGEN permitindo a avaliação do risco de lixiviação de poluentes utilizando séries sintéticas de valores climáticos independentes e igualmente prováveis.

Os resultados obtidos neste trabalho estão em conformidade com o estudo de Wilson et al. (1996) [8]. Nesse estudo foram utilizadas técnicas de seleção para indicar quais poluentes contidos em lodos têm potencial de lixiviação para águas subterrâneas. A metodologia utilizada neste trabalho se mostrou eficiente na indicação do potencial do risco de contaminação de águas subterrâneas por poluentes orgânicos presentes em lodos, constituindo-se, assim, em uma valiosa ferramenta para utilização em gerenciamento ambiental.

Conclusões

Foi simulado o risco de lixiviação em Latossolo vermelho distrófico de trinta e nove poluentes orgânicos de lodo de esgotos. A análise de risco indicou que os poluentes benzidina, n-nitrosodi-n-propilamina, fenol, 2,4-dinitrofenol, isoforano, nitrobenzeno, p-cresol, o-cresol, m-cresol, e 2-clorofenol devem ser prioritariamente monitorados em águas subterrâneas de solos do tipo Latossolo vermelho distrófico.

Agradecimentos

Ao Macro Programa 3 da Embrapa (MP3 - 03065100001/03065100002) e ao projeto FAPESP 07/04427-8.

REFERÊNCIAS

- [1] SOBRINHO, P. A. 2001. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W.

- J. & MARQUES, M. O. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, p.7-40.
- [2] TSUTIYA, M. T. 2001. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J. & MARQUES, M. O. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, p.89-131.
- [3] BETTIOL, W. & SANTOS, I. 2001. Efeito do lodo de esgoto em fitopatógenos veiculados pelo solo. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 30 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 24).
- [4] NOFZIGER, D. L. & HORNSBY, A. G. 1994. CMLS-94: Chemical Movement in Layered Soils. Gainesville: University of Florida, Department of Agronomy, 1994. 76p.
- [5] RICHARDSON, C. W. & WRIGHT, D. A. 1984. WGEN: a model for generating daily weather variables. Washington: USDA, Agricultural Research Service, 83p.
- [6] MACUR, R. E.; GABER, H. M.; WRAITH, J. M.; INSKEEP, W.P. 2000. Predicting solute transport using mapping-unit data: Model simulations versus observed data at four field sites. *Journal of Environmental Quality*. 29(6):1939-1946.
- [7] BONOMI, T., RIPARBELLI, C., CLERICI, E. 2002. Prediction of potential groundwater contamination by herbicides: Integrated use of a leaching model and GIS in the north Italy. *IAHS-AISH Publication*. 273:55-62.
- [8] WILSON, S. C.; DUARTE-DAVIDSON, R. & JONES, K. C. 1996. Screening the environmental fate of organic contaminants in sewage sludges applied to agricultural soils: 1. The potential for downward movement to groundwaters. *The Science of the Total Environment*, 185:45-57.

Tabela 1. Características do perfil de Latossolo vermelho distrófico utilizadas pelo CMLS94.

Profundidade (cm)	CO (g kg ⁻¹)	DS (kg dm ⁻³)	CC (m ³ m ⁻³)	PM (kg kg ⁻¹)	PS (m ³ m ⁻³)
0 – 10	16,0	1,25	0,31	0,15	0,54
10 – 20	14,0	1,25	0,28	0,14	0,53
20 – 30	13,0	1,24	0,30	0,13	0,52
30 – 40	12,0	1,20	0,29	0,18	0,57
40 – 50	12,0	1,18	0,30	0,11	0,58
50 – 60	11,0	1,23	0,32	0,11	0,51
60 – 70	11,0	1,21	0,32	0,21	0,57
70 – 80	10,0	1,18	0,31	0,13	0,56
80 – 100	10,0	1,22	0,29	0,20	0,51
100 – 120	9,0	1,18	0,32	0,21	0,56

CO = carbono orgânico; DS = densidade do solo; CC = conteúdo volumétrico de água para capacidade de campo; PM = conteúdo gravimétrico para o ponto de murcha permanente; PS = ponto de saturação.

Tabela 2. Poluentes orgânicos, coeficiente de sorção, meia vida no solo e risco de lixiviação.

Poluente	CAS	K_{oc} (l k ⁻¹)	Meia-vida (dias)	% risco
1,2,4-triclorobenzeno	120-82-1	885	180	0
1,2-diclorobenzeno	95-50-1	437	180	0
1,2-difenilhidrazina	122-66-7	243	180	0,2
1,3-diclorobenzeno	541-73-1	492	180	0
1,4-diclorobenzeno	106-46-7	442	180	0
2,4-dinitrofenol	51-28-5	53	263	30,2
2-clorofenol	95-57-8	94	30	16,2
3,3-diclorobenzidina	91-94-1	481	180	0
acenafteno	83-32-9	785	102	0
acenaftileno	208-96-8	804	60	0
antraceno	120-12-7	1481	460	0
benzidina	92-87-5	36	8	39,8
benzo(a)antraceno	56-55-3	7108	680	0
benzo(a)pireno	50-32-8	11070	530	0
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	7280	610	0
benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	20144	650	0
benzo(k)fluoranteno	207-08-9	10808	542	0
criseno	218-01-9	7546	993	0
dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	23256	940	0
fenantreno	85-01-8	1499	200	0
fenol	108-95-2	41	10	33,8
fluoranteno	206-44-0	3225	440	0
fluoreno	86-73-7	1072	60	0
hexaclorobenzeno	118-74-1	6857	2089	0
hexaclorobutadieno	87-68-3	2199	180	0
hexaclorociclopentadieno	77-47-4	3001	28	0
hexacloroetano	67-72-1	1022	180	0
indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	21905	730	0
isoforano	78-59-1	55	28	30,5
m-cresol	108-39-4	75	30	22,4
naftaleno	91-20-3	374	75	0
nitrobenzeno	98-95-3	66	28	27,7
n-nitrosodifenilamina	86-30-6	305	34	0,1
n-nitrosodi-n-propilamina	621-64-7	37	180	38,7
o-cresol	95-48-7	74	30	22,6
p-cresol	106-44-5	73	30	24,0
pentaclorofenol	87-86-5	1852	178	0
pireno	129-00-0	2478	1898	0