

O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos



ISSN 1516-4691

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 64

O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos

Maria Lúcia Saito

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2007

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3867-8750 Fax: (19) 3867-8740
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Alfredo José Barreto Luiz*

Secretária-Executiva: *Heloisa Ferreira Filizola*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membros: *Ladislau Araújo Skorupa, Ariovaldo Luchiani Júnior, Luiz Antônio S. Melo, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica

(2007)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Saito, Maria Lúcia.

O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos / Maria Lúcia Saito. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007.

35 p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, ; 64)

1. Lodo de esgoto - Uso agrícola. 2. Lodo de esgoto - Contaminantes orgânicos. I. Saito, Maria Lúcia. II. Título. III. Série.

CDD 631.869

© Embrapa 2007

Autores

Maria Lúcia Saito

Farmacêutica Bioquímica, Doutora em Química Orgânica, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5 - 13.820-000, Jaguariúna, SP.
E-mail: saito@cnpma.embrapa.br

Apresentação

A atividade agrosilvopastoril foi a maneira que a humanidade encontrou de acelerar os ciclos biogeoquímicos de forma a poder retirar cada vez mais excedentes úteis dos sistemas produtivos envolvendo animais e vegetais.

Podemos afirmar que obtivemos grande sucesso no sentido de aumentar os excedentes, mas agora nos deparamos com duas questões decorrentes da aceleração alcançada: a exaustão dos recursos naturais e a geração concentrada de resíduos pelos grandes aglomerados urbanos. Uma solução parece atender às duas questões levantadas: o uso do lodo de esgoto na agricultura.

A aplicação de lodo de esgoto na agricultura é uma prática utilizada mundialmente, com efeitos benéficos ao nível da produtividade das culturas, da matéria orgânica do solo, da sua capacidade de troca catiônica e de retenção da água. Porém, o lodo de esgoto pode ser portador de altas quantidades de metais pesados e de outros poluentes, que podem causar sérios problemas ambientais.

Enquanto outros trabalhos, que tratam das questões relacionadas aos potenciais riscos na utilização do lodo como insumo agrícola, têm dedicado maior atenção aos metais pesados, este documento faz uma revisão voltada para os contaminantes orgânicos possivelmente presentes no lodo de esgoto.

Como apontado na conclusão do trabalho, ainda existe um longo caminho para a pesquisa sobre esse tema e a Embrapa Meio Ambiente continuará contribuindo na geração e divulgação de conhecimento sobre assunto tão importante.

Cláudio Aparecido Spadotto
Chefe-Geral
Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Introdução	08
Composição do Lodo	12
Principais Classes de Contaminantes Orgânicos Presentes no Lodo de Esgoto	13
Destino e Problemas Potenciais dos Contaminantes	19
Efeito dos Contaminantes Orgânicos em Organismos Aquáticos	28
Conclusão	30
Referências	32

Abreviações

Observação: As siglas das abreviações em inglês foram mantidas no texto, para facilitar a identificação com outros artigos publicados.

AOX – Halogenados orgânicos adsorvíveis

DDT – dicloro difenil tricloroetano

DEHP – Dietil hexil ftalatos

HPLC – Cromatografia líquida de alta performance

LAS – Alquil benzeno sulfonatos lineares

NP – Nonilfenóis

NPE – Nonilfenóis etoxilatos.

PAH – Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

PBDE – Difenil éteres polibromados

PCB – Bifenilas policloradas

PCDD – Dibenzo-p-dioxinas policloradas

PCDD/F - Dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos policlorados

PCDF – Dibenzofuranos policlorados

PVC – Cloreto de polivinila

THM - Trihalometano

O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos

Maria Lúcia Saito

Introdução

O lodo de esgoto é um material resultante dos processos de tratamento primário e secundário do esgoto e altamente complexo quanto à composição. Esses tratamentos são necessários para adequar os efluentes aos padrões de lançamento impostos pela legislação vigente, removendo ou reduzindo as concentrações de substâncias presentes no esgoto que poderiam causar impacto ao ambiente. No entanto, devido ao grande volume, o destino do lodo produzido vem preocupando pesquisadores, órgãos ambientais, legisladores, e as empresas de tratamento do esgoto, em todo o mundo. Estudos realizados na Europa indicam uma projeção preocupante para os próximos anos, com o crescimento da produção de lodo de esgoto, principalmente porque muitos países em desenvolvimento terão aumentadas as capacidades de tratamento de seus esgotos urbanos.

Pela composição rica em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, o lodo de esgoto tem sido fortemente sugerido para a aplicação na agricultura como condicionador e fertilizante do solo. Os benefícios que poderiam ser obtidos com sua aplicação seriam quanto à reciclagem da matéria orgânica e o aporte de nutrientes no solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas e a produtividade agrícola. Entretanto, como o lodo contém elevadas concentrações de contaminantes, essa prática pode resultar em adição direta de patógenos diversos e substâncias químicas não desejadas no solo agriculturável e conseqüentemente na cadeia alimentar. Outro fator de preocupação é a composição variável do lodo nas diferentes regiões e épocas

do ano, dificultando o monitoramento dos contaminantes.

Atualmente, os destinos que se tem dado ao lodo de esgotos, em diversos países, são os aterros, a incineração e aplicação na agricultura. Como a incineração é uma prática muito cara e ambientalmente indesejada, restam as outras opções de descarte.

Os Estados Unidos, Canadá e alguns países da União Européia já vêm incorporando o lodo de esgoto no solo há cerca de vinte anos, e têm desenvolvido algumas normas preventivas contra possíveis problemas com os contaminantes presentes, com ênfase aos metais tóxicos e aos patógenos. Os contaminantes orgânicos não têm recebido a devida atenção dos órgãos reguladores, o que preocupa muitos especialistas e ambientalistas, pois a quantidade de contaminantes orgânicos persistentes e potencialmente tóxicos presentes no lodo de esgoto não é desprezível. Esses contaminantes são oriundos de substâncias que estão presentes na nossa rotina diária, como os derivados de petróleo, medicamentos, materiais de limpeza, etc. Este assunto é de tal importância, que foi objeto de um número especial da revista científica "The science of the total environment" (JONES & ALCOCK, 1996), contendo revisões dos vários aspectos relacionados à aplicação do lodo de esgoto no solo. Isso demonstra que há mais de 10 anos, esse tipo de contaminante já vinha preocupando os órgãos legisladores de vários países onde o lodo estava sendo empregado em solos agriculturáveis e desde então, as publicações científicas existentes nas diversas bases de informações e nas páginas eletrônicas encontradas na internet sobre o assunto vêm aumentando consideravelmente. Essas publicações são de opiniões às vezes conflitantes, existindo desde aquelas que minimizam o problema e recomendam o uso de lodo de esgoto na agricultura para aproveitamento dos nutrientes, até aquelas que condenam esta prática, devido aos riscos do mau uso e de problemas que podem surgir a longo prazo.

Langenkamp & Part (2001) observaram projeções crescentes de uso do lodo de esgoto, e apresentam no ano de sua publicação, os números estimados para 2005, principalmente dos países membros da Comunidade Européia (ver Tabela 1).

Tabela 1. Estimativa para produção de lodo e sua utilização na agricultura na União Européia em 2005 (fonte: Langenkamp & Part, 2001).

País	Total lodo (ton)	Produção (kg/pessoa/área)	Disposição na agricultura (ton)	% da utilização
Alemanha	2786	34	1391	50
Áustria	196	24	68	35
Bélgica	160	16	47	29
Dinamarca	200	38	125	63
Espanha	1088	28	589	54
Finlândia	160	31	115	72
França	1172	19	765	65
Grécia	99	9	7	7
Holanda	401	25	110	27
Irlanda	113	31	84	74
Luxemburgo	14	35	9	64
Reino Unido	1583	27	1118	71
Portugal	359	33	108	30

Em alguns países que estimulam o uso agrícola do lodo de esgoto para contornar o problema de sua grande produção, já se observam preocupações com os contaminantes orgânicos e o empenho em conhecer melhor esse material e as conseqüências de sua presença no meio ambiente, particularmente no solo e nos organismos que têm contato direto ou indireto com o lodo aplicado.

A União Européia estimula a prevenção de possíveis danos ao ambiente pelo uso do lodo de esgoto, utilizando os conhecimentos adquiridos ao longo das últimas décadas. Langenkamp & Part, (2001) citam algumas informações sobre as medidas tomadas por alguns países que utilizam o lodo de esgoto como fertilizante agrícola:

◆ Na Dinamarca, desde 1997, o uso do lodo é regulamentado com relação à concentração máxima de alguns metais, das concentrações de fósforo e

nitrogênio e da matéria seca a ser aplicada por hectare e por ano. Além disso, alguns tipos de cultivo como as raízes comestíveis, as fontes de alimentação de gado e vegetais que são consumidos in natura, sofrem restrições para a aplicação. Nesses casos, deve se manter o tempo mínimo de um ano para a colheita. Os locais próximos às fontes de água subterrânea também sofrem restrições.

◆ Na Alemanha existe regulamentação muito parecida com a da Dinamarca, sendo proibido o uso do lodo para cultivo de fruteiras e hortaliças, nas pastagens, nas áreas de conservação da natureza, em florestas e nas regiões próximas às áreas de captação de água. Ademais, são estabelecidos limites para concentrações de halogenados orgânicos (AOX), bifenilas policloradas (PCB) e dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos policlorados (PCDD/F). Esses limites dão apenas um indicativo de contaminação, pois a concentração de AOX não fornece informação real sobre a ausência ou presença de substâncias nocivas, apenas mostra os cuidados tomados para a proteção do solo, para prevenir a entrada de elevadas quantidades de substâncias antropogênicas, algumas das quais podem ser poluentes persistentes.

◆ Na Suécia não existe regulamentação formal para os contaminantes orgânicos no lodo, mas existe uma concordância informal entre os órgãos ambientais, a união dos fazendeiros e as associações de tratamento de água, que seguem as recomendações dos limites estabelecidos para alguns dos poluentes como Bifenilas policloradas (PCBs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), nitrogênio, fósforo e tolueno (LANGENKAMP & PART, 2001).

Nos Estados Unidos, a legislação estabelece procedimentos rigorosos para o uso ou fabricação de diversos poluentes orgânicos. Como consequência desse rigor, essas substâncias são raramente detectadas no lodo, e a maioria não estão previstas na regulamentação do uso do lodo na agricultura (LANGENKAMP & PART, 2001).

Neste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica de alguns problemas relacionados com os contaminantes orgânicos de natureza antropogênica e que vêm preocupando as autoridades e pesquisadores dos países que já têm experiência no gerenciamento e utilização do lodo de esgoto e que têm realizado progressos na regulamentação da prática de incorporar o lodo em solos agriculturáveis.

Composição do Lodo

Em geral, a matéria orgânica contida no lodo de esgoto corresponde a valores entre 40 a 80% da composição total de seu peso seco. A maioria da matéria orgânica é de origem da excreta humana e é uma mistura complexa de gorduras, proteínas, carboidratos, lignina, aminoácidos, açúcares, celulose, material húmico e ácidos graxos, além de muitos microorganismos. Seu aspecto depois de seco se assemelha a terra preta (fig. 1), e seu cheiro, quando úmido, é pronunciado e desagradável.



Fig. 1. Aspecto do lodo de esgoto seco.

Entre os contaminantes químicos, podem ser encontrados metais tóxicos e contaminantes orgânicos provenientes de indústrias e de esgotos domésticos, podendo ser encontrados medicamentos, produtos de limpeza, solventes, poluentes derivados de combustão, pesticidas, etc.

Pesquisas analíticas da composição dos contaminantes orgânicos no lodo de esgoto têm indicado presença de centenas de substâncias orgânicas que são resíduos de origem sintética e seus produtos de decomposição. A identificação para o monitoramento ambiental do destino dessas substâncias de forma rotineira é dificultada por problemas associados à complexidade dessa mistura. A dificuldade analítica, devido ao número de substâncias presentes, muitas vezes em pequenas quantidades, exige técnicas de análise altamente sensíveis para sua detecção. Os procedimentos de extração e fracionamento

para evitar interferência dos diversos contaminantes presentes nessa matriz são trabalhosos, e quando ocorre adsorção das substâncias nos sólidos, podem torná-las menos disponíveis para a extração, dificultando a detecção.

Conforme observação de Rogers (1996), a concentração de contaminantes químicos orgânicos no lodo de esgoto vem aumentando significativamente devido ao aumento da produção dessas substâncias para uso industrial e doméstico. Durante o tratamento do esgoto, como consequência de sua natureza hidrofóbica/lipofílica, muitos contaminantes particionam para o sólido, resultando no aumento da concentração dos poluentes orgânicos na fase sólida do lodo de esgoto, podendo atingir valores várias vezes maiores que no esgoto original.

Principais Classes de Contaminantes Orgânicos Presentes no Lodo de Esgoto (ROGERS, 1996; LANGENKAMP & PART, 2001).

a. Pesticidas organoclorados e bifenilas policloradas (PCB)

Ambas as classes de substâncias, as bifenilas policloradas e os pesticidas organoclorados, são persistentes, hidrofóbicos e se associam fortemente a frações sólidas suspensas de lodo bruto e com sólidos do lodo durante a sedimentação primária, após condicionamento e desumidificação do esgoto.

Os pesticidas clorados foram introduzidos em meados do século 20 e seu efeito no ambiente vem sendo muito estudado e monitorado. As bifenilas policloradas foram introduzidas no comércio em 1929, e as características como estabilidade térmica, baixa reatividade e constante dielétrica alta fizeram com que fossem muito utilizadas como fluido de transformadores, materiais para eletricidade, plastificantes em neopreno, cloreto de polivinila (PVC) e outras borrachas artificiais. Essas As bifenilas policloradas têm sido incorporadas também em tintas de impressoras, ceras polidoras, lacas resistentes ao tempo, lubrificantes de alta temperatura, asfaltos e tintas. As PCBs são reconhecidas agora como substâncias muito presentes e contaminantes altamente persistentes no ambiente. Desde 1970, seu uso tem sido reduzido, mas ainda permanece como principal classe de contaminante orgânico.

Tanto os pesticidas organoclorados como as PCBs são persistentes e hidrofóbicos, associando fortemente com a fração sólida suspensa do esgoto e com o lodo sólido durante a sedimentação primária e após condicionamento e secagem do lodo. Os agrotóxicos clorados que têm sido quantificados nos lodos da Europa, são o lindano (g-HCH), aldrim, endrim e dieldrim. Experimentos de degradação tem apontado para a seguinte ordem de degradabilidade: dieldrim > heptaclor epóxido > aldrim > DDD > DDT > endrim > heptaclor > lindano.

Os organohalogenados podem se formar também na etapa de desinfecção da água potável. Tanto a cloração quanto o tratamento por ozônio pode levar à formação de trihalometanos, e, os derivados de bromo podem ser formados mesmo com a presença de pequena quantidade de bromo na água. Quanto à toxicologia dessas substâncias, não há dados relevantes disponíveis que permitam estabelecer um limite para elas.

Por sua vez, as PCBs, são consideradas irritantes para pele e olhos de animais e de humanos, podendo levar a cloracne. Podem causar ainda, neurotoxicidade, hepatotoxicidade, aumento de pressão sanguínea e interferir na reprodução de animais. As alterações imunológicas são as que representam a principal das muitas conseqüências em animais de laboratórios, tendo sido observadas também em seres humanos. Existe alguma evidência de atividade carcinogênica em humanos.

b. Ácidos clorofenoxialcanóicos

Ácidos clorofenoxialcanóicos têm sido largamente empregados como herbicidas seletivos desde 1940. Podem ser degradados por microorganismos, durante o tratamento do esgoto, e apresentam hidrossolubilidade maior que alguns agrotóxicos e as PCBs.

c. Organofosforados

Este grupo de contaminantes é rapidamente degradado durante o processo de tratamento do esgoto e não é detectado na maioria dos lodos de esgoto. Sua presença pode ocorrer se houver lançamentos maiores como os resultantes de atividades industriais ou acidente durante o uso.

d. Nitrosaminas e nitroaromáticos

Essas substâncias voláteis foram detectadas no lodo utilizando método colorimétrico, e são consideradas carcinogênicas e podem causar danos ao DNA. As dimetil nitrosaminas são usadas para controlar nematóides, como inibidoras da nitrificação no solo, como plastificante para polímeros de acrilonitrilas e em baterias com alta energia. Nitroaromáticos como nitrotoluenos têm sido utilizados largamente na manufatura de materiais corantes e produtos com uretanos, sendo que o 2,4-dinitrotolueno foi detectado ao nível de 0,1 mL/L (peso úmido) em lodo de esgoto (ROGERS, 1996).

e. Óleos minerais

O inventário de concentração de óleo no lodo de esgoto do Reino Unido usando espectroscopia de infravermelho mostra que cerca de 78 % de óleo mineral estava associado com o lodo e muito pouco foi biodegradado durante o tratamento. A concentração média foi de 620 mg/L (peso úmido). Esses óleos provavelmente são originados de descarga industrial, enxurradas provenientes de rodovias e descarte irregular de veículos motorizados em garagens e residências.

f. Alquilfenóis

Os alquilfenóis polietoxilatos não-íonicos são usados amplamente como detergentes, e seu produto de degradação em lodo de esgoto digerido anaerobicamente é o 4-nonilfenol. Após a digestão anaeróbica, sua concentração chega a 0,45 – 2,5 g/kg de peso seco devido à diminuição do caráter hidrofílico original da molécula, e esse produto resultante é altamente tóxico a organismos aquáticos.

As informações toxicológicas se concentram na substância 4-nonilfenol, produto de decomposição do etoxilato respectivo. O efeito toxicológico provável e mais importante a ser apontado é a possibilidade de interferir na reprodução, por se ligar ao receptor do estrogênio e progesterona, observado em testes *in vitro*; porém, os experimentos em animais têm produzido resultados conflitantes.

g. Lipídeos

Altas concentrações de lipídeos e hidrocarbonetos de petróleo no lodo de

esgoto podem inibir o crescimento de plantas. Têm sido detectados por HPLC níveis entre 38 e 330 mg/kg de fosfolípidios totais, incluindo fosfatidil colina, fosfatidil etanolamina, fosfatidil inositol e fosfatidil serina no lodo de esgoto.

h. Monômero de acrilamida

A poliacrilamida orgânica é usada como coagulante durante o tratamento do esgoto. Grande quantidade de polieletrólitos é utilizada para separar o lodo da parte aquosa, e o lodo resultante desse tratamento contém cerca de 1% de matéria seca em polieletrólitos, geralmente poliacrilamidas. O monômero da acrilamida está presente em quantidades variadas na matriz polimérica (0,05 – 5% de monômero). Durante o tratamento do esgoto, o monômero da acrilamida tende a permanecer na solução aquosa após a coagulação do polieletrólito na matéria particulada, devido à sua alta solubilidade. O conteúdo de monômero de polieletrólito tem sido reduzido recentemente devido à preocupação com o tratamento da água para consumo. Os possíveis efeitos da lixiviação de resíduos do monômero da acrilamida do lodo de esgoto aplicado na agricultura também deve ser considerado.

i. Ésteres de Ftalatos

Ésteres de ácido ftálico são produzidos para uso na manufatura de plásticos. Os ácidos benzeno dicarboxílicos, ftálicos e tereftálicos são esterificados com uma variedade de álcoois para produzir diésteres. Esses diésteres são incorporados nos plásticos como plastificantes, que são manufaturados em quantidades muito elevadas (cerca de $0,6 \times 10^6$ toneladas/ano). Essas substâncias são encontradas no lodo de esgoto ao nível de 12 – 1250 mg/kg de peso seco. Os mais freqüentes são o bis-(2-etilhexil) ftalato e o di-n-octilftalato, que não são degradados durante o processo de digestão do lodo.

j. Substâncias contendo estanho

Desde sua primeira aplicação prática na odontologia em 1925, as substâncias contendo estanho tiveram sua aplicação diversificada e se tornou uma classe muito importante dentre os organometálicos utilizados na indústria e agricultura. A maioria dessas substâncias é utilizada como estabilizantes em polímeros de PVC, óleos de transformadores, acetato de celulose, polietilenos, polipropilenos, parafinas, peróxido de hidrogênio e poliamidas. A atividade catalítica de di-organoestanho é explorada na manufatura das espumas de poliuretanos, resinas epóxi e borracha de silicone. Além dessas aplica-

ções são utilizados como agente anti-chamas em fábricas de plásticos e madeiras. Entretanto, do ponto de vista da contaminação ambiental, o que mais chama a atenção é seu efeito biocida, devido a sua toxicidade a mariscos, mesmo em concentrações baixas. Sua produção anual mundial é estimada em 30.000 toneladas, mas não foram encontrados dados sobre a concentração no lodo de esgoto.

l. Surfactantes e resíduos relacionados

Os sulfonatos de alquilbenzeno lineares são largamente utilizados como surfactantes e sua produção mundial está estimada em $1,1 \times 10^6$ toneladas (dado de 1982), correspondendo a cerca de 28% dos surfactantes manufaturados.

No lodo digerido da Suíça foram encontradas concentrações aproximadas de 12 g/kg de sulfonato de alquilbenzeno linear (ROGERS, 1996). Apesar de sua baixa toxicidade a organismos aquáticos quando comparado com nonilfenol, essas substâncias são as que ocorrem em maiores concentrações no lodo de esgoto.

Outros resíduos derivados de detergentes encontrados no lodo incluem produtos para higiene pessoal e condicionadores de cabelo baseados em composto catiônico. Este último tem sido encontrado em níveis particularmente altos, cerca de 3,3 g/kg no lodo de esgoto (ROGERS, 1996; LANGENKAMP & PART, 2001).

m. Clorobenzenos

Os clorobenzenos, em particular os dicloro e triclorobenzenos, são largamente utilizados na indústria e em produtos domésticos, como os removedores de tinta, solventes para limpeza de máquinas, pesticidas, fabricação de medicamentos, desodorante de banheiro, etc. Existem poucos dados disponíveis sobre a ocorrência de clorobenzenos no lodo de esgoto, mas alguns registros citam concentrações entre 0,01 a 40 mg/Kg (ROGERS, 1996).

n. Dibenzodioxinas e dibenzofuranos policlorados (PCDD/F)

Dibenzodioxinas e dibenzofuranos policlorados são com freqüência chamados de dioxinas, de forma simplificada. No entanto são grupos distintos com cerca de 210 substâncias diferentes que têm propriedades químicas simila-

res. As dioxinas têm merecido atenção especial devido à sua toxicidade, persistência e propriedades de bioacumulação. O grupo mais importante de dioxinas são os 2,3,7,8-congêneros, dos quais 12 têm sido identificados como particularmente tóxicos. As principais fontes de geração são a produção industrial de substâncias como clorofenóis, PCBs e clorân timer, a incineração de lixo e emissões por veículos motorizados. As dioxinas são geralmente pouco voláteis, com alto coeficiente de partição octanol – água e baixa solubilidade em água. Como consequência dessas propriedades, são adsorvidas fortemente nos sólidos orgânicos, o que dificulta sua extração para análise, e têm sido detectadas em concentrações muito baixas (níveis de traço) nas diversas amostras de lodo de esgoto.

Existem cerca de 75 substâncias da classe das PCDD e 135 da classe dos PCDF, que diferem entre si pelo grau de cloração ou das posições dos átomos de cloro. Dentre elas, uma das mais estudadas do ponto de vista toxicológico e que está sendo considerada como aquela que representa essa classe de substâncias é a 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD). A exposição a essa substância pode causar inúmeros problemas à saúde, como a cloracne, porfiria, efeito hepatotóxico e sintomas neurológicos. Além disso, têm sido descritos na literatura, problemas como a diabete, imunotoxicidade e efeitos na reprodução e no desenvolvimento de fetos, sendo que esses dois últimos foram observados mesmo em dosagem baixa. A TCDD mostrou genotoxicidade e atividade citotóxica. Em pessoas expostas à substância por motivos ocupacionais, foram observados aumento na incidência de tumores e maior mortalidade, sendo afetado principalmente o trato respiratório.

o. Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)

Com exceção do naftaleno que é produzido como agente anti-mofo e para as sínteses de alguns produtos como ésteres de ftalato e corantes, os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, não são produzidos intencionalmente. No geral, essas substâncias são formadas pelos vários processos de combustão e encontradas no ambiente em misturas complexas de composição variada. Muitas dessas substâncias ficam suspensas na atmosfera, sendo transportadas pela água da chuva para os córregos e esgotos. Durante o processo de tratamento do esgoto, elas sofrem partição, indo para a fase sólida, devido à sua baixa hidrossolubilidade e alto coeficiente de partição octanol – água.

A substância geralmente escolhida para fins analíticos e monitoramento da presença como indicadora dessa classe é o benzo(a)pireno.

A toxicidade oral aguda dos PAHs em geral é de baixa a moderada. Efeitos hematológicos adversos são observados em administração mais prolongada, em animais de laboratórios. Efeitos na pele como irritação e sensibilização, na reprodução e no desenvolvimento de fetos e efeito imunossupressivo foram também observados. Misturas dessas substâncias provocaram tumores no trato respiratório ou na pele, após inalação ou aplicação dérmica, respectivamente. A Organização Mundial da Saúde verificou que 26 dos 33 PAHs de que constam de sua monografia, são carcinogênicos ou suspeitos de carcinogênese (LANGENKAMP & PART, 2001).

p. Produtos farmacêuticos

A descarga de produtos farmacêuticos pelas fontes produtoras deve ser mínima quando comparado ao descarte de outras indústrias, principalmente devido aos cuidados dispensados no manuseio desses produtos de custo maior. Entretanto, outras fontes devem ser consideradas, como as substâncias originadas de metabólitos presentes na urina ou os descartes de produtos indesejados com data de validade vencida. Essa forma de descarte é aceita, uma vez que estarão presentes em baixos níveis no lodo. Entretanto, apesar dos produtos farmacêuticos receberem testes clínicos e farmacológicos, o comportamento dessas substâncias no ambiente e informações sobre a ecotoxicologia não são disponíveis. Imagina-se que grande parte das substâncias sofram transformações microbiológicas durante o processo de tratamento do esgoto. Porém, a extensão dessas transformações e a significância da degradação para produzir metabólitos quimicamente diferentes ainda não foram investigadas.

Destino e Problemas Potenciais dos Contaminantes

Uma vez aplicados no solo, esses contaminantes orgânicos do lodo podem ter destinos diversos, de acordo com suas características físico-químicas: volatilização para a atmosfera, lixiviação para águas subterrâneas, degradação química e biológica (processo lento), absorção pelas plantas e bioacumulação em organismos que se alimentam de materiais ou de outros organismos contaminados.

Recentemente muitos resultados de pesquisa sobre o tema têm sido publica-

dos, expressando o grau da importância do problema, tanto da produção como da aplicação no solo.

Smith (2000) apresenta uma tabela com um resumo das principais características dos grupos de substâncias orgânicas presentes no lodo de esgoto (Tabela 2):

Tabela 2. Resumo das principais características dos grupos de substâncias orgânicas presentes em lodo de esgoto.

Grupo de substâncias	Propriedades Físico-químicas	Concentração no lodo (seco)	Degradação	Absorção pelas plantas	Transferência a animais
PAHs	Lipofílico e volátil	1-10 mg/kg	Semanas a 10 anos, fortemente adsorvido no solo.	Absorção pelas folhas, retenção na raiz.	Possível, rapidamente metabolizado, não acumula.
DEHP	Lipofílico, não volátil.	Alta, 1 - 100 mg/kg.	Rápida, meia vida = < 50 dias	Retenção pela raiz, não transloca	Geralmente muito limitada.
LAS	Anfifílico (detergentes)	50 - 15000 mg/kg	rápida	mínima	Mínima
APPCBs	Lipofílico	100-3000 mg/KG	Muito persistente, meia vida de vários anos, fortemente adsorvido	Absorção pelas folhas, mínimo pelas raízes não transloca	Mínima
PCDD/F	Complexo, muito lipofílico, semi volátil	Baixa, < g/kg	Muito persistente, vários anos, fortemente adsorvido no solo	Absorção pelas folhas, mínimo pelas raízes não transloca	Possivelmente em leites e tecidos, por ingestão. Meia vida longa.
Agrotóxicos clorados	Solubilidade variada, alguns voláteis	Poucos mg/kg	Lenta, meia vida > 1 ano, perda por volatilização	Retenção por raiz, absorção foliar	Por ingestão, persistente nos tecidos.
Monocíclicos aromáticos	Hidrossolúvel e volátil	< 1-10 mg/kg	rápida	Baixa persistência	Rapidamente metabolizado
Clorobenzenos	Variado, hidrossolúvel, lipofílico ou volátil	< 0,1 - 50 mL/kg	Variado. Pode volatilizar ou ser persistentes	Absorção por folhas ou raízes, pode ser metalizada	importante para substâncias Persistentes
AOX	Hidrossolúvel e volátil	< 5 mg/kg	Geralmente rápida volatilização	Absorção foliar, possivelmente transloca	Baixa
Alquilaminas aromáticas	Hidrossolúvel e volátil	< 1 mg/kg	lenta	Possível absorção	baixa
Fenóis	Variada, lipofílica, hidrossolúvel ou volátil	< 5 mg/kg	Rápida	Possível por raiz ou folha	

Fonte: Smith (2000).

Com o intuito de avaliar a adequação do solo para a disposição do lixo e do lodo de esgoto produzidos na Nova Zelândia e Austrália, Cameron et al. (1997) analisaram diversos aspectos relacionados à contaminação e ao aproveitamento dos nutrientes. Na avaliação desses pesquisadores, o solo cultivável não é um local apropriado para a disposição final desses resíduos devido à composição dos contaminantes químicos e biológicos presentes nesses materiais. Porém, do ponto de vista do aproveitamento de nutrientes como nitratos e fosfatos, a utilização poderia ser interessante. Para isso, será necessário melhor conhecimento das características desses resíduos, tanto dos

contaminantes quanto dos nutrientes, que permita calcular a taxa e frequência de aplicação, com a elaboração de instruções apropriadas para minimizar os problemas e maximizar os benefícios. Para isso, há necessidade de melhor conhecimento dos fatores que afetam a taxa de liberação dos nutrientes e das substâncias químicas, ter melhor compreensão dos processos físico-químicos e biológicos que determinam o destino dos diversos componentes do lodo, e medir o impacto da aplicação no solo, água, ar e, ainda, desenvolver modelos melhores tanto para avaliar o destino, como para melhor descrever o processo envolvido e fazer previsões dos impactos ambientais. Esses conhecimentos são essenciais para determinar a prática mais adequada para aplicação no solo e requer um conhecimento interdisciplinar dos processos que ocorrem no sistema solo – planta – água – atmosfera.

Litz (2000), considerando os dados existentes sobre 44 poluentes orgânicos de maior relevância detectados no lodo de esgoto na Alemanha, procurou desenvolver conceitos padronizados de avaliação com relação a ecotoxicidade, toxicidade a humanos e prejuízos ao solo. No entanto, concluiu que os dados existentes são insuficientes para a maioria das substâncias, para as quais não há possibilidade de decisão. Para avaliar o comportamento de algumas substâncias no solo, o autor utilizou os alquil benzeno sulfonatos (LAS) como substâncias-referência em testes de laboratório, por terem propriedades químicas mais conhecidas. Nesse experimento, verificou que 90 % sofreu decomposição no período de 22 a 122 dias, e em alguns casos, traços das substâncias se moveram para uma profundidade maior ou igual a 50 cm, sendo classificadas como substâncias com mobilidade média. Quanto à possibilidade de transferência para plantas, observou que somente traços dessas substâncias foram encontrados nas folhas de uma gramínea (*Lolium perenne*) usada para teste. Este autor apresenta uma tabela de classificação de alguns grupos de substâncias de relevância (Tabela 3).

Lee & Peart (2002) apresentam os resultados das avaliações sobre as substâncias poluentes que podem apresentar efeito endócrino nos seres vivos existentes no lodo de esgoto Canadense. A análise de 35 amostras de lodo de várias localidades revelou elevada concentração de nonilfenol, octil fenol e nonilfenol etoxilato provenientes de detergentes, substâncias essas que têm influência na reprodução de organismos, por apresentarem considerável estrogenicidade. Substâncias como bisfenol A, triclosan e hexaclorofeno provenientes de produtos de higiene pessoal, também foram detectados em níveis significativos. Os autores citam que particularmente o triclosan deve ser cuidadosamente monitorado por formar dioxinas cloradas quando exposto à luz solar ou se for incinerado. Esses acúmulos são explicados pela baixa

taxa de decomposição e adição contínua dessas substâncias, no esgoto. Segundo esses autores, essas informações devem dar subsídios para avaliar o benefício econômico da incorporação do lodo no solo de áreas agrícolas, quando comparado ao risco da introdução de substâncias tóxicas presentes nesse material.

Tabela 3. Algumas propriedades dos principais grupos de substâncias presentes no lodo de esgoto.

SUBSTÂNCIA	TOXICIDADE	ECOTOXICIDADE	SOLUBILIDADE EM ÁGUA	PERSISTÊNCIA	CONCENTRAÇÃO NO LODO
PCDD/F	Alta, carcinogênica	Aquática - Alta Terrestre - Alta Bioacumulação - Alta	Baixa	Alta	Baixa
AOX					Alta, considerado como indicador
PCB	Média, causa tumor, é imunotóxica	Aquática - Alta Terrestre - Alta Bioacumulação - Alta	Baixa	Alta	Baixa e em declínio
PAH	Carcinogênica, mutagênica, teratogênica	Aquática - Alta Terrestre - Alta Bioacumulação - Alta	Baixa	Alta	Alta
LAS	Média	Aquática - Alta Terrestre - média Bioacumulação - Alta	Alta, aumenta mobilidade de outros poluentes	Média	Alta
Nonilfenol	Média, provável efeito estrogênico	Aquática - Alta Terrestre - média Bioacumulação - Alta	Alta	Média	alta
Óxido de tributil estanho	Alta	Aquática - Alta Bioacumulação - Alta Efeito Endócrino	Média	Alta	Alta
DEHP	Baixa, provável efeito estrogênico	Aquática: média/ baixa Terrestre - baixa Bioacumulação - alta Efeito endócrino	Baixa	Média	Alta

Fonte: Litz (2000).

Baran & Oleszczuk (2003) avaliaram a aplicação do lodo de esgoto como uma opção para a solução do problema da degradação progressiva do solo de muitos países, pelas vantagens econômicas que essa técnica proporciona. Na Polônia, por exemplo, a produção de lodo de esgoto chega a cerca de 3 milhões de toneladas por ano. Esse material contém em média 5712 mg/kg de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), sendo que os PAHs de 4 anéis na molécula correspondem a 60% do total. No experimento foram aplicados 5 diferentes doses de lodo, variando de 30 ton/Ha a 600 ton/Ha, sendo que 70% desse lodo era de origem residencial e 30% de origem industrial. As avaliações foram efetuadas por 18 meses em profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Os resultados mostram que a aplicação do lodo resultou no aumento da quantidade de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no solo, e houve mudança na composição do grupo de substâncias, aumentando as formas mutagênicas e carcinogênicas. Os PAHs se ligam fortemente na matéria orgânica do solo diminuindo sua decomposição e aumentando sua durabilidade no ambiente. Com o tempo, o material orgânico se decompõe gradualmente e os PAHs também começam a se decompor. Observou-se também aumento das concentrações de PAHs nas camadas inferiores do solo (20 – 40 cm) e gradual decréscimo na camada superior.

Dreher (2003) apresenta um trabalho de pesquisa conduzido pelo Instituto Estadual para Proteção Ambiental de Baden-Württemberg, Alemanha, para avaliar a acumulação de contaminantes como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), bifenilas policloradas (PCBs), dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF) no solo, como consequência de muitos anos de aplicação de lodo de esgoto. O resultado demonstra que elevadas concentrações de compostos organoestanosos e PAHs estavam presentes em 3 dos 11 campos de culturas e 2 localidades experimentais do estudo. Em um dos campos foram encontradas também elevadas concentrações de dioxinas. Essa primeira comprovação analítica da acumulação de compostos orgânicos no solo agriculturável como resultado da aplicação do lodo de esgoto, também revela a alta persistência dessas substâncias que permaneceram durante o período de 14 anos. As substâncias investigadas analiticamente foram: PAH, PCBs, pesticidas clorados, dioxinas e furanos, octil nonilfenol, misturas de policíclicos, ftalatos, PBDE (difenil éteres polibromados), organoestanosos, sulfonato de alquilbenzeno lineares, bisfenóis A, produtos farmacêuticos e metais pesados.

Krogman (2000) chama a atenção para a importância do monitoramento desses contaminantes orgânicos do lodo de esgoto aplicados no solo, por serem substâncias que não podem ser evitadas, pois têm sua origem nos

muitos processos normais necessários à vida moderna (Tabela 4). A relevância dessas substâncias como contaminantes depende de algumas características como a sua concentração no lodo, a persistência no ambiente, a facilidade de entrar na cadeia alimentar e a toxicidade a organismos. Mesmo nos Estados Unidos, esse tipo de contaminante ainda não está regulamentado por órgãos federais, mas espera-se mudanças com relação a algumas substâncias, como a dioxina, os furanos, os PCBs e outras substâncias consideradas tóxicas. Por enquanto o que existe são recomendações para evitar o seu consumo direto pelo gado.

Tabela 4. Principais grupos de substâncias contaminantes presentes no lodo de esgoto e sua origem.

<i>Contaminantes</i>	Origem
PCBs	Plastificantes, fluidos de resfriamento para capacitores elétricos e transformadores, tintas, fluidos para transferência de calor em máquinas.
Ftalatos	Plastificantes na produção de PVC, adesivos, resinas, lubrificantes.
PAHs	Combustão incompleta de materiais orgânicos (ex.: derivados de petróleo).
Dioxinas e furanos	Contaminantes em pesticidas e PCBs, indústria de couro, madeira tratada, clareador de papel, combustão de gasolina, incineradores municipais, incêndio florestal.
Surfactantes	Detergentes
Ácidos extraíveis	Fungicidas, inseticidas, preservativos de madeiras.
Nitrosaminas	Produção de substâncias químicas (pesticidas, pneus de borracha, curtimento de couro)
Hidrocarbonetos clorados e pesticidas	Produção de pesticidas para agricultura.
Substâncias voláteis	Solventes orgânicos, desinfetantes domésticos.

Fonte: Krogman (2000).

O órgão nacional americano para regulamentação da agricultura orgânica (*National Organic Standards Board – NOSB*) tem recomendado não utilizar o lodo de esgoto para a produção de alimentos orgânicos. Hettenback et al. (1998), representando o Grupo de trabalho ambiental, “*Environmental Working Group – EWG*” sediado em Washington, EUA, após análise das informações disponíveis sobre o tema, questiona se pode considerar segura ou conveniente a utilização do lodo de esgoto em qualquer sistema de produção de alimentos. Pelo inventário, 341 diferentes tipos de substâncias foram transferidos para a estação de tratamento de esgotos entre 1990 e 1995, além de 15 mil toneladas de metais pesados tóxicos e mais de 28 mil toneladas de substâncias carcinogênicas, além dos pesticidas utilizados na cultura. No único dado que os autores encontraram, datados de 1988, sobre 208 estações de tratamentos de esgoto, consta que mais de 100 substâncias orgânicas sintéticas (sem considerar os pesticidas) foram encontradas em lodo de esgoto nos EUA, incluindo ftalatos, toluenos e clorobenzenos. Em média, as amostras continham quase nove contaminantes orgânicos sintéticos. Dioxinas foram encontradas no lodo de 179 dos 208 sistemas avaliados. Além disso, foram identificados 42 agrotóxicos diferentes, pelo menos um em cada uma das amostras, e na média, dois por amostra. Nenhuma dessas substâncias é regulamentada no lodo. Quanto aos metais pesados que são regulamentados nesse material, foram detectados freqüentemente em altas concentrações.

Após um levantamento prévio do problema, o Centro para Uso Sustentável da Terra e Manejo de Contaminantes (“*Centre for Sustainable Land Use and Management of Contaminants, Carbon and Nitrogen*”) da Dinamarca, verificou que muito pouco se conhece sobre o impacto de substâncias químicas antropogênicas encontradas em quantidade elevada no lodo Dinamarquês, como os alquilbenzeno-sulfonatos lineares, os nonilfenóis, plastificantes (ftalatos), os produtos oriundos de combustão (PAH), e os antibióticos, no ecossistema agrícola. Observou também que não existem metodologias para avaliação do destino e o efeito dessas substâncias no ecossistema. Com essa constatação, propõe vários projetos no seu programa de pesquisa ambiental para avaliar a viabilidade da aplicação do lodo de esgoto e outros resíduos orgânicos no solo. Os projetos propostos contemplam assuntos como o bioprocessamento de lixo orgânico e os contaminantes orgânicos, efeito na fertilidade do solo, biodegradação e transporte de contaminantes orgânicos no sistema solo/lixo (ou lodo), metabolismo de contaminantes orgânicos pelas plantas, efeito de contaminantes orgânicos no ecossistema solo, avaliação de risco no solo agrícola, experimentação no campo, ocorrência e propriedades ambientais de antibióticos no descarte orgânico, efeito do uso no solo e a

aplicação de descarte orgânico no fluxo de carbono e nitrogênio. Maiores informações podem ser consultadas no endereço citado na bibliografia, como “Centre for Sustainable Land Use and Management of Contaminants, Carbon and Nitrogen” The Danish Environmental Research Programme.

Matscheko et al. (2002) avaliaram a bioacumulação de algumas substâncias contaminantes presentes no lodo de esgoto, como difenil éteres polibromados (PBCE), dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos (PCDF) e bifenilas policloradas (PCB) em minhocas, em área onde foram aplicadas de 1 a 3 toneladas de lodo por hectare por ano. A conclusão foi que nessa quantidade aplicada, não houve aumento significativo nos índices de equivalência toxicológica (“international toxic equivalents”), que é de 0,6 a 1,5 pg/g de matéria seca para as dioxinas e dibenzofuranos; e que ocorrem bioacumulações diferenciadas entre as substâncias, sendo que as PCBs são os que foram encontradas em maior quantidade. Nas fazendas de administração privada, onde maiores quantidades de lodo haviam sido empregadas no passado, a quantidade encontrada foi maior, demonstrando ser cumulativo.

Suzuki et al. (1977) comprovaram em seu experimento com o pesticida aroclor 1242 e 1254, substância do grupo das policlorobifenilas (PCB), que essa classe de substância pode ser translocada para plantas através da absorção pelas raízes, e foram detectadas nas diferentes partes das plantas. Mais recentemente, Chekol et al. (2004), estudando a capacidade de fitoremediação de algumas espécies de plantas mono e dicotiledôneas em solo contaminado com PCB (aroclor 1248), verificaram que as plantas por eles avaliadas eram muito eficientes na fitorremediação e que entre as espécies a eficiência não é significativamente diferente. Após 4 meses de cultivo, o resíduo de aroclor medido no solo foi menor que 33% da quantidade inicial nas áreas plantadas, em contraste com 82% da substância encontrada na área controle, sem as plantas. Estes autores atribuem essa diminuição à biodegradação das substâncias, promovida pelos microorganismos na região da rizosfera.

Alguns autores se posicionam favoravelmente ao uso do lodo de esgoto no solo agriculturável, como Smith (2000), que questiona com base em levantamentos de literatura, a necessidade de controle dos contaminantes orgânicos como elemento potencialmente tóxico, para uso do lodo na agricultura. O autor tece considerações sobre as principais classes de substâncias (Tabela 3) com potencial de causar danos à saúde e ao meio ambiente, das quais 42 foram detectadas regularmente na Alemanha. O autor compara a legislação Americana à Européia, que é mais restritiva e conclui que as propriedades

físico-químicas dos compostos orgânicos e as interações com o solo constituem uma barreira para transferência para a cadeia alimentar, diminuindo o efeito potencial dos contaminantes do lodo. Outro fator que em sua opinião pesa a favor da utilização do lodo na agricultura, é a legislação mais restritiva para controlar o descarte de substâncias tóxicas no, o esgoto que tem reduzido a concentração dos componentes potencialmente tóxicos no lodo. Ainda segundo seu entendimento, os resíduos de detergentes e agentes plastificantes presentes em grande concentração no lodo se decompõem rapidamente com pouco risco ao meio ambiente, quando comparados com os pesticidas. Quanto às substâncias hormonais presentes, o risco seria comparativamente menor que o do esterco de gado utilizado. Como vários países da Europa têm adotado limites numéricos para os contaminantes orgânicos do lodo para uso agrícola, o autor aponta para a redução de oportunidades de uso do lodo de esgoto e por fim, diz que as investigações científicas sobre contaminantes orgânicos não têm identificado a significância do efeito tóxico ou ecotóxico do lodo, quando aplicado no solo.

Marx et al. (1995) recomendam a aplicação do lodo de esgoto em florestas e áreas degradadas, com base nos seus experimentos onde avaliaram a lixiviação de nitrato ou metais tóxicos para águas subterrâneas, e não fazem referência a contaminantes orgânicos.

Alguns documentos encontrados na Internet, como o da "Health care internet center", ou de Montague (1997) e ainda de Andonegi (2004), apontam problemas mesmo na aplicação em florestas, como a dificuldade no acesso para a aplicação, contaminação de mamíferos silvestres, insetos e aves, e chamam a atenção para a possibilidade de acarretar desequilíbrio, alterando as características da camada superficial do solo, facilitando a lixiviação com a possibilidade de contaminar águas subterrâneas das florestas mais antigas.

Em um extenso trabalho de revisão, Düring e Gäth (2002) fazem considerações sobre os benefícios agrônômicos e os riscos da utilização de um material rico em nutrientes e também em contaminantes. Suas considerações finais são de que a acumulação de contaminantes persistentes no solo agriculturável deve ser prevenida com introdução menor ou igual à velocidade da eliminação, e esse balanço não deve levar em consideração apenas o poluente, mas deve incluir os efeitos do melhoramento na sua composição do solo, que por sua vez determina a densidade de carga. Na União Européia está prevista a implantação de uma legislação que permite aplicar na agricultura

apenas os lodos que receberem um tratamento avançado. O monitoramento deve considerar não só a qualidade do lodo, mas também a capacidade do solo em interagir com os nutrientes e poluentes introduzidos. Segundo este autor, os métodos analíticos também devem ser otimizados e padronizados, havendo a necessidade de desenvolver também bioensaios para avaliar a toxicidade de substâncias com potencial endócrino, sem esquecer dos “novos” contaminantes que constantemente são acrescentados à lista dos poluentes.

Ainda são poucas as substâncias potencialmente tóxicas das quais se conhecem todos os aspectos relacionados com a segurança ambiental (KESTER et al., 2004). Segundo estes autores, há necessidade de se desenvolver modelos nos quais as substâncias com propriedades estruturais semelhantes e conhecidas sejam agrupadas para a avaliação. Além disso, deverão ser identificadas as prioridades para determinar necessidades adicionais de pesquisa. Avaliações devem permitir prever impactos potenciais baseados no destino esperado no solo, uma vez que as substâncias sejam depositadas. Mesmo para os grupos de contaminantes prioritários, principalmente dioxinas e PCBs, as informações existentes sobre a degradabilidade e persistência após a aplicação do lodo são insuficientes.

Com base nos resultados analíticos da composição de lodo de algumas localidades do Estado de S.Paulo e nas propriedades físico-químicas das principais substâncias encontradas, Paraíba & Saito (2005) apresentam um trabalho de modelagem da distribuição ambiental de vinte e nove poluentes orgânicos, indicando os compartimentos ambientais preferenciais desses poluentes e sugerindo que o benz(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluranteno, benzo(k)fluoranteno e dibenz(a,h)antraceno devem ser os principais poluentes a serem monitorados, pelo potencial toxicológico.

Efeito dos Contaminantes Orgânicos em Organismos Aquáticos

Alguns artigos, embora não estejam relacionados diretamente com a agricultura, foram selecionados para esta publicação por mostrarem a extensão de problemas que os contaminantes do lodo podem provocar, por exemplo, em organismos aquáticos, e a transferência dos contaminantes de um organismo a outros.

Avaliando a presença, a persistência e a biodisponibilidade de contaminantes orgânicos nos sedimentos de um porto Canadense contaminado com lodo de esgoto, Hellou et al. (1999), utilizando como metodologia a medida da bioconcentração de alguns poluentes considerados prioritários numa espécie de peixe, encontrou níveis de concentrações entre as faixas consideradas de baixa a média. No entanto, estes autores chamam a atenção para a baixa presença de organismos vivos nesse porto como consequência do efeito cumulativo desses contaminantes. Nesse experimento foram avaliadas dioxinas, furanos, alguns agrotóxicos, bifenilas policloradas (PCBs) e hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs). Verificaram também que os organismos que vivem nas proximidades do porto também podem ser expostos a um gradiente de concentração, uma vez que os contaminantes podem ser transportados. Os autores sugerem a metodologia para desenvolver programas de monitoramento de contaminantes nos portos marinhos que sofrem o efeito da baixa qualidade da água, devido à descarga contínua de contaminantes orgânicos.

Efeitos de diversas substâncias químicas de uso corrente, sobre reprodução e fecundidade, principalmente em animais aquáticos, têm sido estudados. Rolland (2000), em sua revisão sobre o assunto, conclui que concentrações muito baixas (parte por bilhão) de substâncias químicas presentes em alguns ambientes aquáticos podem afetar a fecundidade ou sobrevivência das larvas de algumas espécies de animais ali presentes.

O trabalho de Heilprin et al. (2002) demonstra a possibilidade de transferência de substâncias entre os organismos. Eles estudaram a possibilidade de larvas de insetos serem a causa de contaminação de peixes marinhos que vivem próximos a área de descarga de esgoto, por contaminantes organoclorados, incluindo PCB e DDT. Os peixes apresentaram esses contaminantes no seu aparelho digestivo, e as larvas de insetos parecem representar a preferência alimentar desses peixes. As análises de tecidos das larvas dos insetos revelaram a presença dessas substâncias.

Quanto à presença de produtos farmacêuticos no lodo de esgoto, Miranda & Zemelman (2001), avaliaram algumas de suas consequências. Analisando bactérias isoladas de peixes capturados em locais próximos ao lançamento de esgoto urbano, verificaram que existia uma alta frequência de bactérias resistentes aos antibióticos ampicilina, estreptomicina, tetraciclina e nitrofurantoina. As bactérias isoladas pertenciam principalmente a Vibrionaceae e Enterobacteriaceae. Esses resultados sugerem que os peixes comerciais Chilenos que residem em águas próximas a lançamentos de esgo-

to urbano, podem ser responsáveis em transmitir bactérias resistentes a antibióticos, pondo em risco a saúde de consumidores desses peixes. Woloszynek et al. (2000) também encontraram bactérias resistentes a ampicilina, em lago de tratamento primário de esgoto.

Conclusão

É compreensível que as empresas de tratamento de esgoto estejam preocupadas com o destino do lodo de esgoto, em função do crescimento contínuo da população, e pelo aumento da quantidade de esgoto tratado, gerando cada vez mais lodo. Pela composição do lodo de esgoto, rica em nutrientes necessários ao cultivo de plantas, a utilização na agricultura torna-se tentadora. Tanto que, em alguns países, essa prática já vem sendo aplicada há mais de 20 anos. No entanto, estamos cada vez mais cientes de que os recursos naturais são esgotáveis e a preocupação com o meio ambiente também vem crescendo, em todos os aspectos. Países onde o lodo de esgoto já vem sendo utilizado há mais tempo na agricultura, também vêm se preocupando cada vez mais com a complexidade de substâncias antropogênicas que estão sendo inseridas no solo, juntamente com os nutrientes, e, por meio de pesquisas em laboratórios e em campo, vêm verificando que muitos cuidados devem ser tomados, antes da decisão de dispor lodo de esgoto no solo. Os aspectos que devem ser avaliados e compreendidos são principalmente com relação à toxicidade e à concentração das substâncias no lodo, à dose aplicada, solubilidade e potencial para transporte, estrutura química e força das ligações químicas, persistência e destino das substâncias no ambiente, absorção pelas plantas, e possibilidade de monitoramento na matriz de interesse.

Ao lado dessas preocupações, ainda existe a possibilidade de reações entre as substâncias presentes, formando novos compostos, e a composição do lodo pode apresentar variações entre os lotes produzidos.

Pelos procedimentos de triagem puramente químicos, existe uma grande dificuldade em avaliar a significância do efeito dos contaminantes orgânicos presentes no lodo de esgoto, para o meio ambiente e para os organismos, principalmente pela presença de misturas complexas com potencial para efeitos biológicos sinérgicos. Frente à essa dificuldade, técnicas de bioensaios usando espécies sensíveis como o tomateiro têm sido sugeridas como uma forma barata e prática de avaliar o potencial fitotóxico dos resídu-

os em solo com aplicação de lodo de esgoto. Em ambientes aquáticos, bioensaios têm sido realizados utilizando diversas espécies de peixes. Não há protocolos padrão para procedimento de tais triagens e há necessidade de relacionar tais ensaios com análise de resíduos químicos.

Conclui-se que a compreensão sobre a significância de grupos de contaminantes no solo e no ambiente e seu potencial de impacto em longo prazo ainda é insuficiente, dando margem a tantas opiniões conflitantes sobre o mesmo assunto. Todas essas informações têm sugerido a necessidade de maiores investigações científicas para subsidiar o estabelecimento de procedimentos seguros para a incorporação dessa prática na agricultura.

Referências

ANDONEGI, G. Effect of applying sewage sludge on forestry land. Disponível em: <http://www.basqueresearch.com/berrria_irakurri.asp?Gelaxka=11&Berri_Kod=435&hizk=lwww.neiker.net>. Acesso em 21 nov. 2005.

BARAN, S.; OLESZCZUK, P. Changes in the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in light soil fertilized with sewage sludge. **Journal of Environmental Science and Health Part A – Toxic / Hazardous Substances & Environmental Engineering**, v.A38, n.5, p.793-805, 2003.

CAMERON, K.C.; DI, H.J. ; MC LAREN, R.G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.995-1035, 1997.

CENTRE FOR SUSTAINABLE LAND USE AND MANAGEMENT OF CONTAMINANTS, CARBON AND NITROGEN- The Danish Environmental Research Programme. Disponível em: <<http://www.risoe.dk./landuse>>. Acesso em: 06 dez. 2004.

CHEKOL, T.; VOUGH, L.R.; CHANEY, R.L. Phytoremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils: the rhizosphere effect. **Environment International**, v.30, n.6, p.799-804, 2004.

DREHER, P. **Contaminants in arable soils in Baden-Wurtemberg fertilized with sewage sludge – concise report**. Baden-Wurtemberg: Landesanstalt fur Umweltschutz (State Institute for Environmental Protection), 2003, v.16, 15p.

DÜRING, R.A ; GÄTH, S. Utilization of municipal organic wastes in agriculture: where do we stand, where will we go? **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.165, p.544-556, 2002.

HEALTH CARE INTERNET CENTER. Disponível em: <http://www.anarac.com/fertilizersewage_sludge.htm>. Acesso em: 19 maio 2006.

HEILPRIN, D.J.; PHILLIPS, C.R.; BASMADJIAN, E. Fly larvae in wastewater discharges: a potential source of food and organohalogen contaminants for some southern California fishes. **Environmental Biology of Fishes**, v.65, n.3,

p.349-357, 2002.

HELLOU, J.; MACKAY, D.; BANOUB, J. Levels, persistence and bioavailability of organic contaminants present in marine harbor sediments impacted by raw sewage. **Chemosphere**, v.38, n.2, p.457-473, 1999.

HETTENBACK, T.; COHEN, B. WILES, R. COOK, K. **Dumping sewage sludge on organic farms? Why USDA should just say no.** Washington: USDA-Environmental Working Group, 1998. 9p.

JONES, K.; ALCOCK, R. (Ed.). Organic contaminants in sewage sludges. **The Science of the Total Environment**, v.185, n.1-3, 1996, 216p.

KESTER, G.B.; BROBST, R.B.; CARPENTER, A.; CHANEY, R.L.; RUBIN, A.B.; SCHOOF, R.A.; TAYLOR, D. Risk characterization, assessment, and management of organic pollutants in beneficially used residual products [abstract]. In: SUSTAINABLE LAND APPLICATION CONFERENCE, 2004, Buena Vista, Florida. **Abstracts...** Orlando, 2004. p.39.

KROGMANN, U. **Land application of sewage sludge (biosolids) #7:** Organic contaminants. Rutgers Cooperative Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station, 2000. Disponível em: <<http://www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs957.pdf>>. 4p. Acesso em: 19 maio 2004.

LANGENKAMP, H.; PART, P. **Organic contaminants in sewage sludge for agricultural use.** UNEG Center for Environmental Measurements, Environmental Inventories and Product Safety, 2001. Disponível em: <<http://www.umeg.de>>. Acesso em: 18 maio 2004.

LEE, H. B.; PEART, T. E. Organic contaminants in Canadian municipal sewage sludge. Part I. Toxic or endocrine-disrupting phenolic compounds. **Water Quality Research Journal of Canada**, v.37, n.4, p.681-696, 2002.

LITZ, N. Assessment of organic constituents in sewage sludge. **Water Science and Technology**, v.42, n.9, p.187-193, 2000.

MARX, D.H.; BERRY, C.R.; KORMANIK, P.P. **Application of municipal sewage sludge to forest and degraded land:** agricultural utilization of urban and industrial by-products. Madison: American Society of Agronomy, 1995. (American Society of Agronomy. Special Publication, 58).

MATSCHEKO, N.; TYSKLIND, M.; BERGEK, S.; ANDERSSON, R.; SELLSTROM, U.; DE WIT, C. Application of sewage sludge to arable land-soil concentrations of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls, and their accumulation in earthworms. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.21, n.12, p.2515-2525, 2002.

MIRANDA, C.D.; ZEMELMAN, R. Antibiotic resistant bacteria in fish from the concepcion bay, Chile. **Marine Pollution Bulletin**, v.42, n.11, p.1096-1102, 2001.

MONTAGUE, P. US: dangerous reuse of sewage sludge. Disponível em: <<http://www.greenleft.org.au/back/1997/292/292p12.htm>> . Acesso em: 21 nov. 2005.

PARAÍBA, L.C.; SAITO, M.L. Distribuição ambiental de poluentes orgânicos encontrados em lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p 853-860, 2005.

ROGERS, H. R. Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludge's. **The Science of the Total Environment**, v.185, n.1-3, p.3-26, 1996.

ROLLAND, R.M. Ecoepidemiology of the effects of pollution on reproduction and survival of early life stages in teleosts. **Fish and Fisheries**, v.1, n.1, p.41-72, 2000.

SMITH, S.R. Are controls on organic contaminants necessary to protect the environment when sewage sludge is used in agriculture? **Progress in Environmental Science**, v.2, n.2, p.129-146, 2000.

SUZUKI, M.; AIZAWA, N.; OKANO, G.; TAKAHASHI, T. Translocation of polychlorobiphenyls in soil into plants: a study by a method of culture of soybean sprouts. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.5, p.343-352, 1977.

WOLOSZYNEK, J.; CHAMPINE, J.; HOFFRAGE, J.; MILLER, J.; BLUMA, M. Ampicillin resistant bacteria isolated from a meat packing plant sewage lagoon. **SAAS Bulletin of Biochemistry and Biotechnology**, v.13, p.9-15, 2000.

Embrapa

Meio Ambiente

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

