

2

A Disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola

Wagner Bettio e Otávio Antonio de Camargo

Introdução

A crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais tem exigido das autoridades e das empresas públicas e privadas, atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais. Dentre os recursos, os hídricos, que até a geração passada eram considerados fartos, tornaram-se limitantes e comprometidos, em virtude da alta poluição em algumas regiões, necessitando, portanto, de rápida recuperação. Nessas condições, há que se tratem os esgotos urbanos que são hoje os principais poluidores dos mananciais. No entanto, o tratamento dos esgotos, nas Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs, gera um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto, cuja adequada disposição final no ambiente deve ser preocupação já no planejamento das ETEs. Entretanto, diversos projetos de tratamento de esgotos não contemplam o destino final do lodo produzido e com isso anulam-se parcialmente os benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas seguras e factíveis para que esse resíduo não se transforme em novo problema ambiental.

A disposição final adequada do lodo é uma etapa problemática no processo operacional de uma estação de tratamento de esgoto, pois seu planejamento tem sido negligenciado e apresenta um custo que pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento (Luduvic, comunicação pessoal; Andreoli, comunicação pessoal).

As alternativas mais usuais para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reuso industrial (produção de

agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos); conversão em óleo combustível; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração); “landfarming” e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético). Entre as diversas alternativas existentes para a disposição final do lodo de esgoto, aquela para fins agrícola e florestal apresenta-se como uma das mais convenientes, pois, como o lodo é rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, é recomendada a sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante. Entretanto, o lodo de esgoto apresenta em sua composição diversos poluentes como: metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem; atributos que devem ser olhados com muito cuidado.

A disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga. As informações mais conhecidas são as originárias da China. No ocidente sabe-se que na Prússia, a irrigação com efluentes de esgotos era praticada desde 1560. Na Inglaterra, por volta de 1800, foram desenvolvidos muitos projetos para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto, especialmente em razão do combate à epidemia do cólera. A prática de uso do solo como meio de disposição do esgoto ou do lodo tem sido freqüente em muitos países.

No Brasil, não é difundida a experiência de incorporar resíduos de esgoto, lodo e efluente, aos solos, porque ainda são poucas as cidades dotadas de estações de tratamento de esgotos. O Ministério do Meio Ambiente estima que menos de 10% do esgoto urbano produzido são tratados antes de serem lançados nos rios. Os dados da Tabela 1 mostram a situação da coleta de esgoto e lixo no Brasil.

Apesar dessa situação, diversos municípios brasileiros estão coletando e tratando adequadamente os esgotos e, por conseguinte, gerando lodo de esgoto. Algumas cidades como Araraquara, Araras, Araçatuba, Campinas, Caraguatatuba, Franca, Jundiaí, Limeira, Presidente Prudente, Ubatuba, Ribeirão Preto, São José dos Campos e São Paulo, SP; Curitiba, Londrina, Maringá, Paranaíba, PR; Belo Horizonte e Uberlândia, MG; Brasília, DF; Rio de Janeiro, RJ; Goiânia, GO; Recife, PE; Vitória e Cachoeira do Itapemirim, ES e Campo Grande, MS entre outras estão tratando os esgotos e gerando lodo. Alguns desses municípios vêm trabalhando no sentido de dispor o seu lodo gerado na agricultura.

Tabela 1. Situação do saneamento básico no Brasil por faixa etária.

População	Sem esgoto	Sem água encanada	Sem coleta de lixo
0 a 15 anos	45 %	23 %	37 %
> 60 anos	37 %	18 %	30 %

Fundação Getúlio Vargas (2000)

O volume de lodo gerado em muitos municípios é relativamente pequeno e são localizados em regiões agrícolas ou próximo delas, além de não apresentarem os problemas da intensa industrialização. Assim, de certa forma, a disposição do lodo de alguns desses municípios pode ser facilmente equacionada. A situação é bem mais complexa quando se considera a geração de lodo em regiões metropolitanas, como a de São Paulo. Nesses casos, além do volume gerado, deve ser considerada a falta de espaço para aterro sanitário na região e também a distância das áreas agrícolas e florestais. Outro problema que deve ser ponderado é a intensa industrialização dessas regiões que colabora com o aumento na concentração de metais pesados e compostos orgânicos persistentes. Dessa forma, além da necessidade de um adequado monitoramento, há que se trabalhar no sentido de evitar o lançamento de esgotos industriais no sistema.

Características do Lodo de Esgoto

A composição do esgoto varia em função do local de origem, ou seja, se proveniente de uma área tipicamente residencial ou tipicamente industrial, e da época do ano entre outros fatores. A Figura 1 apresenta a composição básica de esgoto domiciliar, encontrada nas estações de tratamento (Melo & Marques, 2000).

Da mesma maneira, o lodo de esgoto apresenta uma composição muito variável, pois depende da origem do esgoto, bem como do processo de tratamento do esgoto e do seu caráter sazonal. Um lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, os demais macro e micronutrientes, além de elementos potencialmente

tóxicos. Na Tabela 2 pode-se observar as variações da composição de lodos de esgoto gerados em Estações de Tratamento de Esgoto. Assim, tanto as respostas agrônômicas, quanto os impactos ambientais, dependerão da composição dos lodos.

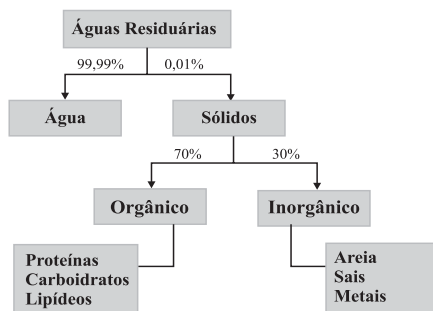


Fig. 1. Composição do esgoto doméstico (Melo & Marques, 2000).

Tabela 2. Características químicas de três lotes dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF), de Barueri (LB) e de Jundiá (LJ), localizadas no Estado de São Paulo, de Curitiba (LC) e de Paranavaí (LP), localizadas no Estado do Paraná.

Atributo	Unidade ⁽²⁾	LB*	LF*	LC**	LP**	LJ***
Umidade	%	71,2	82,7			76,2
Sólidos Voláteis	%	56,8	72,5			69,0
pH		6,4	5,4	5,9	6,1	5,5
Carbono orgânico	g kg ⁻¹	293	382	321	201	226
Nitrogênio total	g kg ⁻¹	42,1	68,2	49,1	22,2	21,2
Fósforo	g kg ⁻¹	26,9	12,9	3,7	0,95	4,5
Potássio	g kg ⁻¹	1,0	1,0	1,5	0,34	0,66
Cálcio	g kg ⁻¹	47,8	24,8	15,9	8,3	6,6
Enxofre	g kg ⁻¹	17,1	15,7			11,1
Sódio	g kg ⁻¹	0,5	0,9			2,4
Magnésio	g kg ⁻¹	4,5	2,2	6,0	3,0	1,3
Arsênio	mg kg ⁻¹	< 1	< 1			Nd
Alumínio	mg kg ⁻¹	23.283	23.317			11.465
Cádmio	mg kg ⁻¹	9,4	2,05	3		9,2
Chumbo	mg kg ⁻¹	348,9	140,5	123	60	136,4
Cobre	mg kg ⁻¹	953,0	240,9	325	114	547
Cromo total	mg kg ⁻¹	1297,2	1230,3	140	53	97,5
Mercúrio	mg kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	1,0	1,8	Nd
Molibdênio	mg kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01			Nd
Níquel	mg kg ⁻¹	605,8	72,4	73	37	25,3
Selênio	mg kg ⁻¹	< 0,01	< 1			
Zinco	mg kg ⁻¹	3372	1198	728	530	839
Boro	mg kg ⁻¹	29,3	19,7			10,1
Manganês	mg kg ⁻¹	418,9	232,5			425
Ferro	mg kg ⁻¹	37.990	24.176			15.728

⁽¹⁾ Determinados de acordo EPA SW-846-3051 (1986), no IAC (Campinas, SP).

⁽²⁾ Os valores de concentração são dados com base na matéria seca.

*Bettli (2004) e Fernandes et al. (2004). **Andreoli (1999). ***Análise realizada pelo IAC.

Benefícios do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas tem como principais benefícios, a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). Como os lodos são pobres em potássio, há necessidade de se adicionar esse elemento ao solo na forma de adubos minerais. Pode-se dizer que, normalmente, o lodo de esgoto leva ao solo as quantidades de nutrientes suficientes para as culturas, porém nem sempre de maneira equilibrada e em formas disponíveis para as plantas em curto prazo. Nesse sentido, deve-se conhecer a composição química dos lodos, bem como a dinâmica dos nutrientes após aplicação no solo, de forma a obter os benefícios agrônômicos, evitando os impactos ambientais negativos.

Com respeito à melhoria das condições físicas do solo, o lodo de esgoto, de modo semelhante às outras fontes de matéria orgânica, aumenta a retenção de água em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos e, por determinado tempo, mantém uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície.

Embora em quantidade ainda insuficiente, várias pesquisas conduzidas no país evidenciam que o lodo é um resíduo com potencial de uso agrícola. Para a cultura do milho no cerrado brasileiro, Silva et al. (2000) demonstraram que o lodo de esgoto, gerado pela CAESB em Brasília, DF, apresenta potencial para substituição dos fertilizantes minerais. Melo & Marques (2000) apresentam informações sobre o fornecimento de nutrientes pelo lodo de esgoto para as seguintes culturas: cana-de-açúcar, milho, sorgo e azevém. Existem ainda, informações do aproveitamento do lodo de esgoto para arroz, aveia, trigo, pastagens, feijão, soja, girassol, café e pêssego entre outras culturas (Bettiol & Camargo, 2000). Também em espécies florestais o lodo vem sendo utilizado com sucesso. Gonçalves et al. (2000) apresentam informações sobre o potencial do uso do lodo de esgoto, gerado na ETE de Barueri, SP, para o cultivo de eucalipto.

Poluentes do Lodo de Esgoto

Apesar de todas as vantagens, o lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos tóxicos e agentes patogênicos ao homem. Dessa forma, há necessidade de se conhecerem os efeitos desses poluentes no solo quando utilizados na agricultura. Muitas questões ainda não foram respondidas pela pesquisa científica e esse é um fator ponderável a ser considerado quando de seu uso na agricultura.

Uma questão fundamental é a relacionada com a presença e concentração desses elementos potencialmente tóxicos. O lodo os contém, normalmente, em concentrações superiores às aquelas encontradas nos solos, mesmo considerando lodos de origem domiciliar. Assim, a incorporação de lodos a solos agrícolas deve ser adequadamente planejada e monitorada. Além do zinco, cobre, manganês, ferro, molibdênio e níquel, que são micronutrientes essenciais para as plantas, mas que em altas concentrações podem causar sérios problemas, o cádmio e o chumbo podem também aparecer em quantidades consideráveis, especialmente se os lodos provêm de regiões industrializadas. Neste caso, há que se controlar e monitorar a aplicação porque, em especial, zinco, cobre e níquel, se presentes em teores elevados podem ser fitotóxicos, podendo até ser altamente prejudicial para os animais que se alimentem destas plantas, principalmente no caso do Cádmio. Por isso, em todos os países onde o lodo de esgoto é aplicado na agricultura existem normas estabelecendo, entre outras coisas, as concentrações máximas permitidas de metais pesados no lodo e o teor máximo acumulado no solo. A norma P4230 da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, do estado de São Paulo), estabelece esses limites, os quais são apresentados na Tabela 3. Além desses limites, a norma também estabelece a taxa máxima de aplicação anual de metais em solos agrícolas tratados com lodo e a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo.

Como exemplo, na Tabela 2 são apresentados os dados de metais pesados obtidos de amostras de lodos originários de diversas ETEs. As variações são devidas basicamente à origem do esgoto.

A Disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola

Além de São Paulo, o Estado do Paraná, por meio do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), estabelece critérios para a disposição agrícola do lodo de esgoto. Nesse Estado, os critérios são mais restritivos do que em São Paulo. Entretanto, a partir do final de 2003, o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) vem discutindo a regulamentação ao nível nacional da disposição do lodo de esgoto na agricultura. Também o Estado de São Paulo está realizando a revisão de sua norma. Nos dois casos acredita-se que as normas entrarão em vigor em 2006.

Tabela 3. Concentrações limites de metais pesados no lodo de esgoto aceitáveis para uso agrícola (base seca); taxa de aplicação anual máxima de metais em solos; e carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo.

Metal pesado	Concentração máxima permitida no lodo (mg kg ⁻¹)	Taxa de aplicação anual máxima (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg ha ⁻¹)
Arsênio	75	2,0	41
Cádmio	85	1,9	39
Cobre	4.300	75	1.500
Chumbo	840	15	300
Mercúrio	57	0,85	17
Molibdênio	75	-	-
Níquel	420	21	420
Selênio	100	5,0	100
Zinco	7.500	140	2.800

Fonte: CETESB (1999)

A mobilidade dos metais pesados depende muito da reação do solo, ou seja, se ele é mais ou menos ácido e, de maneira geral, aconselha-se que o pH seja mantido acima de 5,5, para evitar que esses metais, potencialmente tóxicos, sejam absorvidos pelas plantas ou fiquem disponíveis no ambiente em quantidades que apresentem risco. À medida que aumenta o tempo de contato do lodo com o solo, diminui o perigo das plantas absorverem os metais pesados em excesso porque estes são fortemente retidos pelos colóides do solo, embora essa afirmativa nem sempre possa ser generalizada. Berton (2000) discute com detalhes os riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados.

O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento vegetal e para os seres vivos do solo. O uso adequado do lodo deve visar a sua eficiente utilização, com um mínimo de perdas por percolação, volatilização, desnitrificação e arraste superficial. Com a decomposição do lodo adicionado ao solo, o nitrogênio orgânico é convertido em amônio ou nitrato. Os colóides do solo podem reter o amônio, mas o nitrato, poderá ser lixiviado para fora da zona radicular, caso não seja absorvido pelas plantas e a condição hídrica permita, porque a capacidade dos solos em retê-lo é baixa. Por outro lado, em condições redutoras pode ocorrer a desnitrificação, processo pelo qual o nitrogênio na forma de nitrato é transformado em nitrogênio gasoso. Outra questão básica é o balanço do nitrogênio. A matéria orgânica do lodo aplicado ao solo sofre mineralização, liberando nitrogênio na forma amoniacal e nítrica que não é somado ao existente antes da aplicação. Assim, a quantidade de lodo aplicada deve ser tal que a quantidade de nitrato ou amônio presente não exceda àquela que a planta vai consumir, pois o excesso ficaria em forma lixiviável que poderia alcançar e contaminar corpos de água subterrâneos. Talvez esse elemento seja um dos mais importantes para monitoramento nas áreas onde o lodo é utilizado, na medida em que poderá contaminar o lençol freático. No capítulo 5 são discutidos detalhadamente os problemas com nitrato no perfil do solo.

É praticamente nulo o risco que o excesso de fósforo possa apresentar para as plantas porque dificilmente é constatada toxicidade por causa deste elemento e, por outro lado, os nossos solos, além de deficientes em fósforo, o retém com grande energia. Assim, a contaminação das águas subterrâneas por esse elemento é muito difícil. Entretanto, há que se ter precaução, pois o arraste do material sólido superficial por erosão levará consigo fósforo retido que, em certas situações, poderá ser liberado nos corpos de água superficiais para onde o material escoou provocando, muitas vezes, intensa eutrofização.

A decomposição do lodo de esgoto pode provocar a elevação da condutividade elétrica da solução do solo acima dos níveis aceitáveis para as plantas, em especial em regiões de baixa pluviosidade. Nas regiões de alta pluviosidade, os perigos são momentâneos, apenas enquanto as chuvas não

arrastem os sais para fora da zona radicular. Dentre os sais provenientes da decomposição do lodo, os de sódio podem causar problemas, pois este elemento pode substituir o cálcio e o magnésio do complexo de troca, dispersando a argila, destruindo os agregados e a estrutura dos solos e reduzindo a permeabilidade e a infiltração da água.

Os lodos de esgoto contêm patógenos humanos como coliformes fecais, salmonela, vírus e helmintos, que são passíveis de serem reduzidos com tratamentos adequados. Entretanto, é muito importante o monitoramento da população desses organismos, tanto no lodo a ser utilizado na agricultura, como no solo onde ele foi aplicado. Soccol & Paulino (2000) discutem amplamente os riscos de contaminação do agroecossistema com parasitos em função do uso agrícola do lodo de esgoto. A norma P4230, da CETESB, que estabelece os critérios de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas, classifica o lodo de esgoto quando à presença de patógenos, em Classe A e B. O lodo classe A é aquele que atende os seguintes critérios: densidade de coliformes fecais inferior a 10^3 NMP g^{-1} de sólidos totais e densidade de *Salmonella* sp. inferior a 3 NMP $4 g^{-1}$ de sólidos totais. O lodo é considerado classe B quando a densidade de coliformes fecais for inferior a 2×10^6 NMP g^{-1} de sólidos totais. No caso do estado do Paraná, a norma do IAP estabelece limites para ovos de helmintos ($< 1 g^{-1}$) que são mais resistentes e de grande importância para a saúde pública brasileira. Esse procedimento é premente para as condições nacionais, pois a nossa população apresenta sérios problemas com relação a esses patógenos.

Outro grupo de contaminantes que merece atenção é o dos compostos orgânicos persistentes. Até o momento no Brasil, nenhuma norma estabelece limites para esses compostos. Além disso, são extremamente escassos os trabalhos com esses contaminantes no Brasil, existindo praticamente apenas uma análise apresentada por Tsutiya (2001).

Considerações Finais

O lodo de esgoto para ser utilizado na agricultura deve apresentar características adequadas e atender dentro de todos os critérios estabelecidos

nas normas. Além disso, um profissional habilitado (Engenheiro Agrônomo ou Engenheiro Florestal) deve ser o responsável técnico pelo seu uso e pelo rastreamento dos lotes aplicados. Além disso, há necessidade de se monitorarem os solos em relação ao nitrato, metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos humanos entre outras características. Outro aspecto importante é a transferência de informações para a sociedade, que deve ser feita de forma ampla e com transparência.

A literatura internacional sobre o assunto é relativamente abundante, de maneira especial nos EUA e nos países da Europa Ocidental. A literatura nacional dispõe de algumas importantes contribuições, mas ainda aquém das necessidades para fornecer bases seguras à normatização, manejo, fiscalização e controle da aplicação dos lodos urbanos na agricultura. Dessa forma, é indispensável o envolvimento dos órgãos de pesquisa e ensino nos estudos sobre os efeitos do lodo de esgoto nos solos tropicais, bem como os seus impactos no ambiente. Esses estudos devem ser executados preferencialmente em condições de campo e por equipes multidisciplinares.

Referências

ANDREOLI, C.V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. 1999. 278p. Tese (Doutorado) - UFPR, Londrina.

BERTON, R. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.259-268.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, v.30, n.1, p.16-22. 2004.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 32p. (Manual Técnico – P4230).

FERNANDES, S.A.P.; BETTIOL, W.; CERRI, C.C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil-atmosphere interface, on soil $\delta^{13}\text{C}$ and on total soil carbon and nitrogen. **Geoderma**. v. 125. p. 49-57. 2005.

GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II. Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.179-196.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

SILVA, J. E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido: a experiência de Brasília. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.143-152.

SOCCOL, V.T.; PAULINO, R.C. Riscos de contaminação do agroecossistema com parasitos pelo uso do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.245-259.

TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, A.P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001, cap.4, p.89-131.