

LUIZ CARLOS CEOLATO

**ANÁLISE DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 E OUTRAS NORMAS
INTERNACIONAIS NA SEGURANÇA DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
EM SOLO AGRÍCOLA**

São Paulo

2011

LUIZ CARLOS CEOLATO

**ANÁLISE DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 E OUTRAS NORMAS
INTERNACIONAIS NA SEGURANÇA DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
EM SOLO AGRÍCOLA**

Monografia apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de
Especialista em Engenharia
de Segurança do Trabalho.

São Paulo

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Ceolato, Luiz Carlos

**Análise da resolução CONAMA 375/2006 e outras normas internacionais na segurança da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola / L.C. Ceolato. -- São Paulo, 2011.
58 p.**

Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Segurança do trabalho 2. Lodo de esgoto 3. Saúde pública 4. Fertilizantes orgânicos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Fátima, meu filho Gustavo, ao meus pais Pedro e Ocelia, que sempre me apoiaram na busca de novos conhecimentos e no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela minha saúde, pela vida, e pelo discernimento nos momentos difíceis e pela força nas horas necessárias;

Aos professores e professoras do curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, que mesmo a distância, compartilharam suas experiências profissionais nas aulas em vídeo e nos chats do curso;

Aos funcionários da PECE-USP, pelo auxílio e suporte no decorrer do curso;

Aos colegas do curso de engenharia de segurança do trabalho, pela constante divisão dos conhecimentos e dicas durante o curso;

Às minhas irmãs Célia e Cidinha que sempre me apoiaram e incentivaram na busca de novos conhecimentos;

À minha família, pela compreensão nas noites e finais de semana em que estive ausente, e pelo incentivo na realização deste trabalho.

RESUMO

O saneamento básico necessita ser completamente implantado na maioria das cidades brasileiras para a promoção da saúde pública e a conservação e preservação dos recursos hídricos. Um dos piores indicadores do saneamento básico brasileiro é o baixo índice de tratamento do esgoto doméstico e industrial. O processo de tratamento de esgoto mais utilizado é o processo biológico aeróbio ou anaeróbio, onde ambos tem como subproduto o lodo de esgoto. O lodo de esgoto necessita ser disposto ao meio ambiente de forma segura, pois possui elevado potencial poluidor devido as cargas orgânicas e inorgânicas residuais. Uma forma segura de aplicação do lodo de esgoto é sua reutilização como fertilizante ou corretivo de solo. Os maiores riscos da utilização de lodo de esgoto no solo agrícola são: a contaminação por metais pesados, a contaminação do lençol freático, e a saúde dos trabalhadores das estações de tratamento devido aos microorganismos patogênicos. Por isso, a maioria dos países adotam normas, procedimentos ou legislações que estabelecem regras para o descarte adequado do lodo de esgoto em solo agrícola. Neste trabalho comparou-se a legislação brasileira com outras normas internacionais para verificar se os critérios, padrões e regras definidas no Brasil, estão de acordo com os padrões internacionais, e se a segurança da população e dos trabalhadores dos locais que operam com lodo de esgoto foram preservadas.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, Saúde pública, Segurança do trabalho, Fertilizante orgânico.

ABSTRACT

Sanitation needs to be fully implemented in most Brazilian cities to promote public health and the conservation and preservation of water resources. One of the worst sanitation indicators in Brazil is the low rate of treatment of domestic sewage and industrial effluent. The process of wastewater treatment processes most widely used is aerobic or anaerobic biological process, where both have the by product called biosolids. Biosolids needs to be disposed to the environment safely, because it has high pollution potential due to charges and inorganic waste organic. A safe application of biosolids is reused as fertilizer or soil corrective. The highest risks of using biosolids in agricultural soil are: the heavy metal contamination, groundwater contamination, and health of workers of the wastewater treatment plants due to pathogenic microorganisms. Therefore, most countries adopt rules, procedures or laws that establish rules for the proper disposal biosolids in agricultural soil. In this work compared to other Brazilian legislation with international standards to compare the criteria, standards and procedures laid down in Brazil, are in line with international standards and that the health of the population and the safety of workers that manage biosolids were preserved.

Keywords: Biosolids, Public Health, Occupational safety, organic fertilizer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de Estação de Tratamento de Esgoto.....	3
Figura 2 – Foto de aplicação de lodo de esgoto líquido.....	4
Figura 3 – Foto lodo de esgoto líquido recém aplicado.....	5
Figura 4 – Foto lodo de esgoto líquido percolando no solo.....	6
Figura 5 – Foto lodo de esgoto seco no solo.....	7
Figura 6 – Trado de coleta de solo.....	18
Figura 7 – Solo coletado.....	18
Figura 8 – Perfil de solo na cidade de Jaguariúna.....	19
Figura 9 – Profundidade do solo.....	20
Figura 10 – Poço de monitoramento do nível do lençol freático.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades gerais da matéria orgânica no solo e seus efeitos associados no solo.....	11
Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes nas folhas da <i>Brachiaria decumbens</i>	12
Tabela 3 – Frequência de monitoramento do lodo.....	25
Tabela 4 – Frequência de monitoramento do lodo de esgoto.....	26
Tabela 5 – Comparação dos valores de concentração máxima de poluentes entre a norma brasileira, da comunidade européia e norteamericana (mg.kg ⁻¹)....	27
Tabela 6 – Teores máximos de metais pesados admitidos no lodo a ser utilizado na agricultura, segundo a legislação de diversos países (mg.kg ⁻¹ de matéria seca).....	27
Tabela 7 – Comparação dos valores da carga acumulada máxima de poluentes inorgânicos entre a norma brasileira, da comunidade européia e norteamericana (kg/ha).....	31
Tabela 8 – Comparação dos valores da carga máxima de poluentes inorgânicos entre a norma brasileira, da comunidade européia e norteamericana (kg/ha/ano).....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Legislação para aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola.....	8
2.2 Macro e micronutrientes em solos tratados com lodo de esgoto.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Seção I – Das disposições preliminares.....	22
4.2 Seção II – Da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado.....	24
4.3 Seção III – Requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura.....	26
4.4 Seção IV – Das culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado.....	28
4.5 Seção V – Das restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação.....	29
4.6 Seção VI – Do projeto agrônômico e das condições de uso.....	30
4.7 Seção VII – Da aplicação.....	30
4.8 Seção VIII – Do carregamento, transporte e estocagem.....	32
4.9 Seção IX – Do monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado.....	33
4.10 Seção X – Das responsabilidades.....	34
4.11 Seção XI – Das disposições finais.....	34
5. CONCLUSÕES.....	35
6. REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Devido ao perigo em potencial que o acúmulo de metais pesados, decorrentes da aplicação de lodo de esgoto ao solo apresenta para as plantas, organismos do solo, seres humanos e animais, vários países colocaram limites à aplicação de lodo de esgoto (LE) no solo agrícola (BERTON, 2000). Apesar do risco de contaminação, a aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola é uma forma adequada na reciclagem de nutrientes ao meio ambiente, pois o LE devolve parte dos nutrientes e micronutrientes consumidos no desenvolvimento da cultura.

Atualmente, os autores se dividem em duas filosofias com relação ao acúmulo de metais e outras substâncias perigosas no solo. A primeira, de sentido conservacionista, é denominada “impacto zero” (“zero Impact”) ou também pode ser chamada de “balanço de metais”, e sugere que as quantidades a serem adicionadas ao solo, devem apenas repor as pequenas quantidades perdidas resultantes da remoção pelas culturas, erosão do solo e lixiviação. Essa filosofia é decorrente do fato de que em vários países industrializados da Europa, como a Holanda, Suécia e Dinamarca, o balanço entre as quantidades de metais que entram no solo como resultado da atividade humana (deposição atmosférica, contaminação no adubo e outros) é maior que as que saem pela remoção das culturas, erosão do solo e lixiviação, ou seja, o resultado do balanço é positivo (BERTON, 2000).

O maior risco à sociedade e ao meio ambiente, devido às atividades antrópicas é a poluição. Como exemplo de poluição podemos citar o efeito deletério sobre os organismos que vivem num ambiente aquático. A morte de peixes constitui o efeito biológico mais visível da poluição dos cursos d’água (BRANCO, 1978). Entretanto, além disso, ocorre destruição em massa de outros organismos, cuja ausência passa despercebida.

Considerando os recursos hídricos como exemplo, a etapa inicial de controle de poluição das águas visa, principalmente, o tratamento da fase líquida do esgoto *in natura* gerado nas cidades e municípios e com isso proteger os recursos hídricos e a saúde da população (BARBOSA, 2002). Porém, o tratamento da fase líquida do esgoto gera um resíduo sólido conhecido por lodo biológico, biossólido ou lodo de esgoto. O lodo é formado, principalmente, pela massa de bactérias, protozoários e fungos são os responsáveis pela degradação da matéria orgânica existente no esgoto. Esse lodo possui um alto potencial poluidor e deve ser disposto de forma

ambientalmente correta. Normalmente, alguma solução provisória, não adequadamente controlada de disposição do lodo de esgoto, acaba sendo adotada. Dentre elas destacam-se: disposição em aterro sanitário ou aterramento do lodo em área próxima a estação de tratamento de esgoto (ETE), acúmulo em lagoas de lodo, disposição em áreas agrícolas de maneira aleatória.

Com o decorrer do tempo de operação das ETEs e com aumento da geração de lodo, soluções de longo prazo e mais adequadas a esse tipo de resíduo passam a receber maior atenção dos técnicos e das autoridades envolvidas com o controle do ambiente (SOBRINHO, 2000).

A figura 1 mostra o esquema típico do processo de tratamento de esgoto doméstico. O tratamento é composto por tanques onde as bactérias e outros microorganismos fazem a oxidação/redução da matéria orgânica presente no esgoto doméstico. Esses tanques são chamados de reatores biológicos. No caso de tratamento aeróbio é necessário possuir sistema de oxigenação da massa líquida. O sistema de aeração possui duas funções básicas: fornecer oxigênio aos microorganismos e promover a mistura completa do líquido dentro do tanque. A mistura do tanque é necessária para colocar os microorganismos em contato com a matéria orgânica que será oxidada.

Outro componente fundamental no processo de tratamento é o decantador secundário. Nesta etapa a matéria em suspensão (lodo de esgoto) se deposita no fundo do decantador, e o esgoto tratado sai na parte superior do decantador.

Embora o lodo represente apenas de 1% a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem um custo geralmente entre 20% e 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgoto. Além da sua importância econômica, a destinação final do lodo é uma operação bastante complexa, pois muitas vezes ultrapassa os limites da ETE (ANDREOLI, 2001).

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

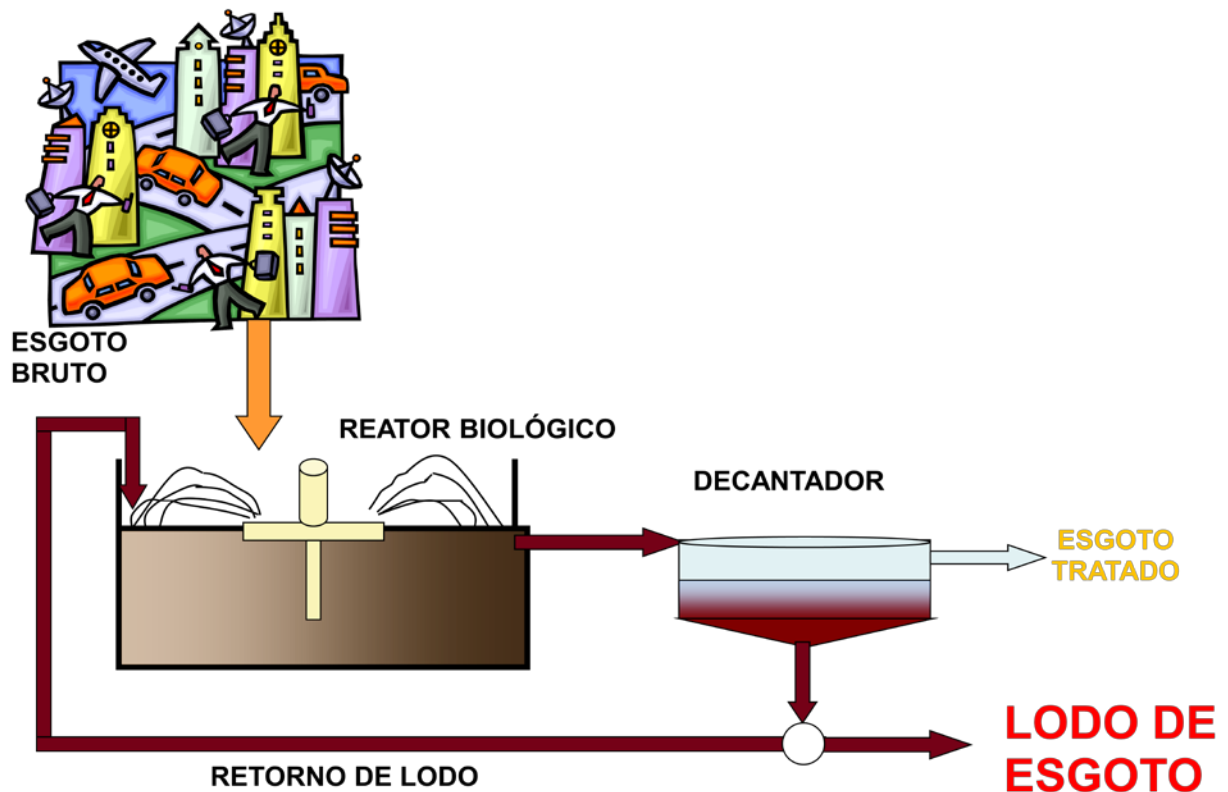


Figura 1 - Esquema de Estação de Tratamento de Esgoto

Como no Brasil 76% das cidades não possuem aterro sanitário adequado para a disposição de resíduos sólidos, que são, normalmente, dispostos a céu aberto (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004), a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas pode ser uma solução econômica e ambientalmente viável.

O lodo de esgoto pode melhorar a estrutura do solo e aumentar a produtividade de várias culturas (BERTON ET AL., 1989). O lodo pode também ser aplicado em florestas, na recuperação de áreas degradadas e áreas públicas (ex. parques, encostas de rodovias, canteiros centrais de rodovias), gramados e jardins residenciais (LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE, 1994). O lodo de esgoto deve ser tratado e estabilizado para reduzir ou eliminar microrganismos patogênicos e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação do lodo e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores (FERNANDES, 2000).

Normalmente a disposição de lodo de esgoto em solo agrícola é realizada após a desidratação e secagem. No processo de desidratação são utilizados

equipamentos específicos como: decanter, filtros prensas, centrífugas, etc. Para a secagem utilizam-se secadores industriais, estufas, leito de secagem, etc.

Outra forma de aplicação de lodo de esgoto é na forma líquida, pois o lodo de esgoto proveniente de digestor aeróbio ou anaeróbio possuem umidade em torno de 98%, a qual permite seu manuseio como líquido, sendo passível de bombeamento em bombas centrífugas ou outros modelos.

A figura 2 mostra a aplicação de lodo de esgoto na forma líquida por meio de tanque em experimento de fertirrigação em laranjais.



Figura 2 - Foto de aplicação de lodo de esgoto líquido.

Para os casos onde o lodo de esgoto está na forma líquida, podemos ver na figura 3 o escoamento superficial do lodo sobre o solo.



Figura 3 - Foto lodo de esgoto líquido recém aplicado.

Após aplicação no solo, o lodo de esgoto começa o processo de secagem. Por isso é importante sempre aplicar o lodo de esgoto na forma líquida em dias ensolarados sem riscos de chuvas. Nessa fase os elementos dissolvidos no lodo de esgoto percola no solo, principalmente o potássio e o nitrato que são facilmente percolados no perfil do solo. Na figura 4, observamos o lodo de esgoto disposto em solo no processo inicial de secagem.



Figura 4 - Foto lodo de esgoto líquido percolando no solo.

Na figura 5 o lodo de esgoto está seco; esta é a fase onde a cultura obtém melhor benefício no uso do lodo de esgoto, pois os micro e macro nutrientes serão liberados aos poucos no solo, com isso o processo de lixiviação torna-se mais lento e as culturas ganham mais tempo para absorver os nutrientes.

Pode ocorrer nesta fase uma competição entre as plantas e os microorganismos presentes na camada superficial do solo, por isso muitos nutrientes acabam não ficando fitodisponíveis para as culturas.

A competição por nutrientes no solo é benéfica ao meio ambiente pois permite o desenvolvimento de um ecossistema mais equilibrado.



Figura 5 - Foto lodo de esgoto seco no solo.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo comparar as legislações do Brasil, dos Estados Unidos da América e da União Européia com relação aos limites de aplicação, controle da aplicação, segurança do trabalhos e operadores desses sistemas e características físicas, químicas e biológicas do lodo de esgoto e do solo. Foram comparados os limites máximos e as melhores práticas utilizadas no gerenciamento da produção e disposição do LE.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como a aplicação de lodo de esgoto possui potencial de poluição elevado, é necessário que os órgãos ambientais e governos editem normas, procedimentos ou padrões para garantir o bem estar da população, a proteção do meio ambiente e a saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos nos processos de produção e aplicação de lodo de esgoto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Legislação para aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola

No ano de 1999 a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), regulamentou a aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola, com a edição do manual técnico P.4.230/99 - Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas. Com isso, estabeleceram procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas. A norma regulamentou que a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas somente é aceitável se proporcionar benefícios para a cultura pretendida e forem obedecidos os critérios ambientais (CEOLATO, 2007).

Alguns parâmetros químicos e biológicos do lodo de esgoto devem ser determinados, para a análise da viabilidade de seu uso agrícola, sendo os parâmetros mais significativos os seguintes: Carbono orgânico, Fósforo, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio nitrato/nitrito, Nitrogênio total, pH, Potássio, Sódio, Umidade, Número mais provável (NMP) de *Salmonella sp.*, Número mais provável de coliformes fecais, Arsênio, Cádmio, Cúmbio, Cobre, Cromo total, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio, Sólidos Voláteis, Zinco (CETESB, 1999)

Dessa forma, a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas passou a ser controlada e aprovada pelo órgão ambiental do estado de São Paulo.

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) promulgou a resolução nº. 375, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Com isso a partir do dia 29 de agosto de 2006, todos os projetos e aplicações de lodo de esgoto devem estar de acordo com os requisitos dessa legislação, sob pena de crime ambiental e sanções administrativas.

2.2 Macro e micronutrientes em solos tratados com lodo de esgoto.

A introdução de matéria orgânica melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo quando fertilizado com lodo de esgoto (SPARKS,1995).

Estudo de campo tem demonstrado um aumento da matéria húmica, potencial de hidrogênio (pH) do solo, atividade biológica (respiração do solo, mineralização do nitrogênio, atividades enzimáticas) e a biomassa microbiana. Essas melhorias foram encontradas até 1 m de profundidade. O aumento do pH do solo tem um efeito secundário na adsorção e dissolução de metais pesados no solo; um aumento do pH do solo reduz a quantidade de metais pesados dissolvidos no solo, e portanto, solos fertilizados com lodo de esgoto possuem menores concentrações de cádmio e níquel do que plantações que cresceram em solos sem uso de fertilizantes ou adubadas com fertilizante líquido proveniente de criação de gado.

O solo, em um sistema produtivo racional, deve estar em condições de fornecer os nutrientes às plantas em quantidades adequadas e no momento de suas necessidades. Como, de maneira geral, os solos não se apresentam em condições de atender às necessidades das culturas, o homem tem que intervir por meio de um manejo adequado do sistema solo-planta, incluindo a aplicação de fertilizantes minerais, fertilizantes orgânicos, adubação verde e outras práticas de manejo. Por outro lado, mesmo que o solo apresente condições ideais de fertilidade para uma determinada cultura, a intervenção do homem também se faz necessária, uma vez que sempre haverá exportação de nutrientes pelos produtos colhidos ou perdas decorrentes de processos erosivos, comuns em sistemas incorretos de manejo (SPARKS, 1995).

O lodo de esgoto contém matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida no lodo de esgoto pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (TSUTIYA, 2000).

Nos solos tropicais e subtropicais, por serem altamente intemperizados, a matéria orgânica desempenha papel de fundamental importância na fertilidade, e esses solos possuem ainda baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e pouco potencial de liberação de nutrientes para as plantas.

A aplicação de lodo de esgoto no solo causa aumento no teor de matéria orgânica, com aumento na CTC. De acordo com Melo & Marques (2000), existe correlação significativa entre a CTC do solo e frações de matéria orgânica por um período que varia de 230 a 300 dias. Para solos paulistas, em que há carência de

matéria orgânica, possivelmente o valor agronômico de maior importância do lodo de esgoto refere-se a este atributo.

A matéria orgânica no solo (MOS) possui uma área superficial específica muito grande, entre 800 e 900 m² g⁻¹ e a CTC varia entre 150 e 300 cmmol kg⁻¹. Portanto a CTC na superfície do solo é atribuída a matéria orgânica presente no solo (MELO; MARQUES, 2000). Além disso, a matéria orgânica auxilia a planta a adsorver micro e macronutrientes, cátions de metais pesados e material orgânico.

A matéria orgânica, além de constituir um dos principais, senão o principal, componente da CTC, durante o processo de mineralização, libera nutrientes para a nutrição dos vegetais. Desta forma, o manejo da matéria orgânica constitui-se em elemento de elevada importância para o sucesso das atividades agropecuárias (MELO; MARQUES, 2000).

O aumento no teor de matéria orgânica em solo onde foi aplicado lodo também foi observado por Bataglia et al. (1983). Melo et al.(1994) encontraram aumento de carbono orgânico com aplicação de lodo de esgoto apenas na dose mais elevada (32 t ha⁻¹) até 230 dias após a aplicação. Esses autores também verificaram aumento na CTC do solo nos tratamentos com lodo, atribuindo esse efeito ao aumento do carbono orgânico do solo.

Algumas das propriedades e os efeitos da matéria orgânica no solo são descritos na Tabela 1

Tabela 1 – Propriedades gerais da matéria orgânica no solo e seus efeitos associados no solo.

Propriedades	Observação	Efeito no solo
Retenção de água	A matéria orgânica pode reter 20 vezes seu peso em água	Previne seca e rachaduras. Pode melhorar a retenção no solo
Combinação com argilominerais	Cimenta as partículas em unidades estruturais chamadas agregados	Permite troca gasosa. Estabiliza estrutura. Aumenta permeabilidade
Quelação	Forma complexos estáveis com Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} e outros cátions polivalentes.	Pode aumentar a disponibilidade de alguns micronutrientes de plantas
Solubilidade em água	A insolubilidade da MOS é devido à sua associação com argila, sais de cátions bivalentes e divalentes com a matéria orgânica são insolúveis. A MOS isolada é parcialmente solúvel em água	Pequena perda de matéria orgânica por lixiviação
Poder tampão	Matéria orgânica exhibe tamponamento em reações levemente ácidas e básicas e neutras	Ajuda a manter uma reação uniforme no solo.
Troca catiônica	Acides total de frações isoladas de húmus varia de 300 a 1400 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$	Pode aumentar a CTC do solo de 20 a 70%
Mineralização	Decomposição da MOS produz CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-}	Fonte de nutriente para o crescimento de plantas
Combina com reagentes orgânicos	Afetam a bioatividade, persistência e biodegradabilidade de pesticidas e reagentes orgânicos.	Modifica taxa de aplicação de pesticidas para controle efetivo.

Fonte: Spraks (1995).

Nos trópicos, a alimentação do gado, é fundamentada no uso de forrageiras, para pastejo, que devem suprir os nutrientes, energia, proteínas, minerais e vitaminas essenciais à produção animal (SILVA, 2005). Nessas condições, enfatiza-se a importância dos conceitos de valor nutritivo e de valor alimentício das

forrageiras. Enquanto o valor nutritivo se refere apenas à composição química e a digestibilidade da forragem, o valor alimentício tem conotação mais ampla, pois se refere à avaliação biológica do valor da forragem em termos de produção animal, representando o potencial de ingestão de nutrientes que habilita o animal a realizar sua função produtiva (SILVA, 2005). Na Tabela 2 são apresentadas os teores típicos de micro e macronutrientes de *Brachiaria decumbens*.

Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes nas folhas da *Brachiaria decumbens*.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
.....g.kg ⁻¹mg.kg ⁻¹				
31,6	2,3	31,9	4,4	5,4	1,8	11	12	205	32	27

Num latossolo textura média, usando lodo de esgoto obtido na estação de tratamento de esgoto (ETE) de Vila Leopoldina, com a cultura de sorgo granífero, encontrou correlação linear entre a dose de resíduo aplicado e a absorção de nitrogênio (Resultado semelhante foi encontrado na cultura de milho por Berton (1989)).

Na aplicação de lodo de esgoto em plantação de eucalipto, Guedes e Poggiani (2003) observaram um teor mais elevado de N foliar nas árvores dos tratamentos onde o lodo de esgoto foi aplicado a partir de 10 t ha⁻¹. O aumento no teor de nitrogênio (N) nas folhas foi observado durante todo o período de estudo, de dois a dezesseis meses após a aplicação do lodo de esgoto. Provavelmente, existia no lodo de esgoto uma quantidade de N mineral que foi rapidamente disponibilizada. Isso pode explicar o rápido efeito do lodo de esgoto, que proporcionou aumentos nos teores de N logo aos dois meses após a aplicação do lodo.

Melo e Marques (2000) verificaram na cultura de cana de açúcar, em Terra Roxa Estruturada, aumento na absorção de fósforo (P), mas apenas para a dose máxima estudada (30 t ha⁻¹). A quantidade de fósforo absorvida por plantas de sorgo cultivadas em Latossolo textura média tratado com lodo de esgoto aumentou com a dose de resíduo aplicada. Resultado semelhante foi obtido para doses de lodo de esgoto de até 20 t ha⁻¹ com plantas de azevém em latossolo textura média, e para plantas de milho em cinco solos do Estado de São Paulo, sendo que o lodo de

esgoto, já na dose 10 t ha^{-1} forneceu mais fósforo para a cultura, que o tratamento que recebeu fertilização mineral. Ainda para a dose cultura de milho, observaram aumento linear na absorção de fósforo pela aplicação de lodo de esgoto nas doses 0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1} .

A pronta disponibilidade do fósforo contido no lodo de esgoto se deve ao fato de o mesmo apresentar baixa relação carbono/fósforo (C/P) e de nutriente, em lodo digerido anaerobiamente, apresentar-se predominantemente na forma mineral (BERTON et al., 1989).

Sabe-se que o P é um nutriente chave para o desenvolvimento do eucalipto, principalmente na fase inicial, quando as mudas respondem prontamente à sua disponibilidade no solo (GUEDE; POGGIANI, 2003).

Num experimento em eucalipto, Guedes e Poggiani (2003) verificaram que o adubo mineral aplicado no tratamento tornou-se rapidamente disponível, determinando uma resposta imediata no desenvolvimento das mudas. Com o passar do tempo, a aplicação de lodo de esgoto, cujos nutrientes são liberados mais lentamente, começou a surtir efeito. Com o aumento da idade do povoamento, os eucaliptos do tratamento que receberam maior dose de lodo de esgoto, apresentaram volume igual aos que receberam adubação mineral convencional.

O efeito do lodo de esgoto sobre a extração de P pelo eucalipto começa após um ano da aplicação do lodo, coincidindo com o período em que as árvores que receberam lodo de esgoto passaram a apresentar maior crescimento. A resposta observada após um ano de aplicação pode indicar que o P contido no lodo de esgoto não é prontamente lábil e está sendo liberado lentamente. (GUEDES; POGGIANI, 2003)

De modo geral, os lodos de esgoto são pobres em potássio (K), portanto não são capazes de suprir as necessidades das plantas em relação ao referido nutriente. Desta forma, há necessidade de complementação do potássio aplicado no lodo de esgoto, usando-se para isso uma fonte mineral. O lodo de esgoto é rico em cálcio (Ca), especialmente quando se faz uso da cal no processo de produção. Assim, aumenta a preocupação relacionada ao K, uma vez que tais elementos são antagônicos. Foi observado o aumento na absorção de cálcio por plantas de milho fertilizadas com lodo de esgoto. Plantas de sorgo granífero, cultivadas em latossolo textura média, em condições de vaso, mostraram absorção de cálcio crescente em função da dose do lodo de esgoto. Foram observados aumentos na absorção de

cálcio pela cana de açúcar cultivada em Terra Roxa estruturada em função da adição de doses crescentes de lodo de esgoto (MELO; MARQUES, 2000).

Num experimento de plantação de eucalipto o Ca foi o nutriente que mais respondeu a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto. A quantidade de Ca existente no lodo (86 g kg^{-1}) propiciou concentrações foliares duas a três vezes superiores nas árvores dos tratamentos que receberam doses elevadas em relação ao tratamento testemunha, principalmente a partir de seis meses após aplicação do lodo de esgoto. No entanto, o excesso de Ca pode estar causando a diminuição da concentração do elemento magnésio (Mg) nas árvores que receberam lodo de esgoto. Isso indica que a aplicação do lodo pode ter sido a causa de deficiência de Mg, provavelmente, devido à competição por sítios de absorção exercida por outros cátions existentes no lodo em teores mais elevados que o Mg (GUEDES; POGGIANI, 2003).

O teor de magnésio em plantas de sorgo cultivadas em latossolo textura média, em condições de vaso, aumentou com a dose de lodo de esgoto, havendo efeito do espaço de tempo entre a aplicação do resíduo e a semeadura da gramínea. Uma dose de 15 t ha^{-1} de lodo de esgoto obtido na ETE de Barueri, na região metropolitana de São Paulo, não causou efeito sobre a quantidade de Mg extraída pela cana de açúcar cultivada em uma Terra Roxa Estruturada, porém a dose de 30 t ha^{-1} causou aumento significativo no teor do nutriente exportado pela cultura (MELO; MARQUES, 2000). Estudando o efeito de doses de lodo de esgoto sobre a absorção de nutrientes pela cultura de milho, também encontraram que a absorção de magnésio aumenta com a dose do resíduo.

O lodo de esgoto apresenta em sua composição todos os micronutrientes das plantas, às vezes em concentrações elevadas, como ocorre com o zinco (Zn) e o ferro (Fe). Isso permite antever que o lodo de esgoto seja uma excelente fonte de micronutrientes para os vegetais. A disponibilidade de zinco contido no lodo de esgoto parece estar mais relacionada ao pH do solo do que ao seu conteúdo no resíduo. BERTON et al. (1989) encontraram para cinco solos do Estado de São Paulo, aumento na absorção do micronutriente por plantas de milho pela aplicação de lodo de esgoto. Tanto para o sorgo semeado logo após a aplicação do lodo de esgoto, como para a semeadura aos 120 dias após a aplicação do resíduo, foi encontrada uma relação linear e positiva, entre a dose de lodo de esgoto e a quantidade de zinco absorvida. O sorgo (híbrido BR 300) cultivado em solo latossolo

distrófico argiloso também apresentou aumento na absorção de zinco pela aplicação de lodo de esgoto (MELO; MARQUES, 2000).

A absorção de ferro por plantas de sorgo, cultivadas em latossolo textura média, em condições da casa de vegetação, foi afetada pela dose de lodo de esgoto a partir de 8 t ha^{-1} . Também foi observado aumento na absorção de Fe por sorgo até a dose 45 t ha^{-1} para o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico franco-argiloarenoso (LVd) e para a dose máxima utilizada igual a $112,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Em latossolo textura média, BERTON et al. (1989) encontraram aumento na absorção de cobre (Cu) por plantas de sorgo com o aumento da dose de lodo de esgoto. Também foi encontrado um aumento na absorção de cobre por plantas de cana de açúcar cultivada em terra roxa estruturada pela adição de lodo de esgoto, principalmente na dose de 30 t ha^{-1} . Aplicando um lodo de esgoto obtido na ETE da Siderúrgica Mendes Junior a dois tipos de solo. Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico franco-argiloarenoso e Latossolo Vermelho-Escuro distrófico argiloso (LGd) cultivados com sorgo (MELO; MARQUES, 2003), observou aumento na absorção de Cu até a dose 45 t ha^{-1} para o LVd e $112,5 \text{ t ha}^{-1}$ para o LGd. Atribuíram a baixa resposta ao Cu no solo LVd à maior adsorção do metal (solo mais argiloso) e à tendência de formar complexos de baixa mobilidade com a matéria orgânica, em maior teor neste solo. No milho o teor de Cu apresentou baixa resposta à adição de lodo de esgoto, o que foi atribuído ao fato da quelação do metal pela matéria orgânica do solo. Em plantas de milho, cultivadas em Latossolo argiloso, LR e LV textura média, foi observado aumento na absorção de Cu pela aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, natural ou peletizado, sendo que a adição de carbonato de cálcio (CaCO_3) causou diminuição na absorção do metal, quando se aplicou lodo de esgoto natural no solo LV (MELO; MARQUES, 2000).

Foi observada a absorção de manganês (Mn) por plantas de sorgo cultivadas em solo latossolo textura média em casa de vegetação. Quando houve um período prévio de incubação, a absorção do micronutriente foi mais elevada, evidenciando o benefício da mineralização do manganês que se encontrava ligado a matéria orgânica. Efeito do lodo de esgoto na absorção de Mn por plantas de sorgo também foi observado ao aplicar um produto obtido na ETE da Siderúrgica Mendes Junior a dois tipos de solos (MELO; MARQUES, 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta revisão das legislações sobre lodo de esgoto, realizou-se um levantamento da literatura técnica e científica disponível sobre o tema do LE. Comparamos as legislações nos artigos e requisitos relacionados a proteção da saúde pública, do meio ambiente e a segurança dos trabalhadores durante o manuseio e disposição do lodo de esgoto.

A resolução CONAMA 375/2006, foi utilizada como base de levantamento dos requisitos existentes nas legislações sobre este tema. Para interpretação dividiu-se a resolução seguindo exatamente as seções existentes na norma. As seções analisadas foram:

Seção I – Das disposições preliminares;

Seção II – Da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado;

Seção III – Requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura;

Seção IV – Das culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado;

Seção V – Das restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação;

Seção VI – Do projeto agrônômico e das condições de uso;

Seção VII – Da aplicação;

Seção VIII – Do carregamento, transporte e estocagem;

Seção IX – Do monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado;

Seção X – Das responsabilidades;

Seção XI – Das disposições finais.

As legislações analisadas neste trabalho foram: resolução CONAMA 375, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências; a diretiva do conselho da comunidade econômica europeia 278, de 12 de junho de 1986, relativa à proteção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lodo de esgoto, alterada pelo

regulamento (CE) 219/2009 do parlamento europeu e do conselho de 11 de março de 2009 e o Registro Federal da agência de proteção ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) parte II 40 CFR Parte 257 et al, padrões para o uso ou disposição final de lodo de esgoto, regras finais, 19 de fevereiro de 1993, documento eletrônico criado por CSC (Computer Sciences Corporation) em fevereiro 2009, a pedido da EPA (de acordo com o contrato da EPA número. EP-C-05-045, designação de trabalho WA 3-22).

Observa-se que a literatura técnica sobre lodo de esgoto é escassa e se restringe a algumas instituições de pesquisa. O que torna a regulamentação da legislação brasileira única, pois as pesquisas internacionais sobre a utilização de LE em solo agrícola foram realizadas em condições climáticas diferentes e principalmente, em tipos de solos diferentes.

As bibliografias utilizadas neste trabalho foram obtidas de diversas fontes: Internet (para a obtenção de arquivos eletrônicos de trabalhos de pesquisa realizados com LE), documentos da US EPA, legislação brasileira e internacional (Estados Unidos e Comunidade Econômica Européia), dados sobre patógenos e metais pesados, teses de mestrado e doutorado realizados sobre LE (Instituto Agranômico de Campinas - IAC, Universidade de São Paulo - USP, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ) e manuais técnicos (CETESB).

O método utilizado para controle da qualidade do solo são amostras de solo coletadas nas profundidades de 0 à 20 cm e de 20 à 40 cm. As figuras 6 e 7 mostram o solo sendo coletado por meio de um trado.



Figura 6 – Trado de coleta de solo.



Figura 7 – Solo coletado.

Além das análises físico químicas do solo, também são considerados o perfil do solo e a profundidade do lençol freático.

O perfil do solo permite verificar o comportamento das culturas e suas relações quanto a fitodisponibilidade dos micro e macro nutrientes e metais presentes no solo. Esta análise é importante pois dependendo dessas características, as plantas podem acumular mais ou menos metais pesados em suas folhas e frutos.

A figura 8 mostra um perfil típico amostrado no estado de São Paulo na cidade de Jaguariúa.



Figura 8 – Perfil de solo na cidade de Jaguariúna

As legislações dos Estados Unidos da América e da Comunidade Econômica Européia, utilizadas para comparar os requisitos de controle, muitas vezes divergem da legislação brasileira, principalmente na tolerância dos limites máximos de aplicação de metais pesados devido as características particulares dos solos existentes nos diferentes países e continentes.

Como regra geral, os solos do hemisfério sul possuem características de solos bastante intemperizados, com muitos óxidos presentes em sua composição, principalmente o óxido de ferro que confere ao solo uma coloração avermelhada .

No hemisfério Norte os solos são menos intemperizados, onde a argila é o elemento mais abundante. Esses solos normalmente possuem coloração acinzentado.

A figura 9 mostra detalhes do solo da cidade de Jaguariúna onde é possível verificar a profundidade e homogeneidade do solo, sendo o mesmo propício para a aplicação de lodo de esgoto.



Figura 9 – Profundidade do solo, escala em centímetros

Outro fator importante para a aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola é o nível do lençol freático no local da aplicação. Dentre todas as formas de poluição, a contaminação do lençol freático é a mais preocupante pois a remediação de eventual contaminação é de difícil solução técnica e exige grande aporte financeiro.

Por isso todos os requisitos das legislações pesquisadas focam primeiramente na prevenção da poluição e contaminação do solo para a produção de alimentos e em segundo lugar na prevenção da contaminação das águas subterrâneas.

O nível do lençol freático pode variar durante as estações do ano, devido as infiltrações da água da chuva. Como discutido anteriormente a aplicação do lodo de esgoto de ocorrer em condições climáticas favoráveis.

A figura 10 mostra um poço de monitoramento instalado próximo a área de aplicação de lodo de esgoto. Por meio deste poço é possível verificar o nível do lençol freático e coletar amostras para análise de qualidade da água subterrânea.



Figura 10 – Poço de monitoramento do nível do lençol freático.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Seção I – Das disposições preliminares

Nesta secção a resolução CONAMA define: os critérios para uso do LE em áreas agrícolas, o que é considerado lodo de esgoto e suas características físico-químicas e biológicas.

Verificou-se que nesta secção seria importante a inclusão dos cuidados aos trabalhadores envolvidos no gerenciamento do lodo de esgoto. A resolução poderia definir os requisitos de saúde e segurança dos trabalhadores ou fazer referência a qual legislação trabalhista os produtores/geradores de lodo de esgoto deveriam seguir para preservar a saúde e segurança do trabalhador.

Nas demais legislações internacionais verificadas, também não foi evidenciado a preocupação com a saúde e segurança no gerenciamento do lodo de esgoto.

Comparando as legislações com referência aos cuidados ambientais e de saúde pública observou-se os seguintes aspectos:

A resolução CONAMA define que a utilização, compra e venda de lodo de esgoto como fertilizante orgânico, além de atender os requisitos pertinentes da resolução, necessita também cumprir a legislação brasileira sobre a inspeção, fiscalização e comercialização de fertilizantes, corretivos destinados à agricultura, definida pelo Ministério da Agricultura e Agropecuária.

A legislação americana atribui ao produtor/gerador de lodo, caso venha a comercializar o produto, a responsabilidade da garantia da qualidade do lodo de esgoto como fertilizante ou corretivo de solo. A responsabilidade se estende também na aplicação do LE ao solo, para que essa seja realizada de forma segura e ambientalmente correta.

A diretiva da Comunidade Européia não faz nenhuma menção sobre venda de lodo de esgoto. Como o lodo de esgoto possui potencial agrícola essa possibilidade poderia ser explorada na legislação européia.

A legislação brasileira, a comunidade européia e a norteamericana deixa claro que a aplicação de lodo de esgoto como fertilizante ou corretivo de solo se aplica apenas aos lodos de esgoto provenientes de estação de tratamento de esgoto doméstico, nenhum outro tipo de efluente industrial se enquadra nos requisitos das

normas. Isso devido ao fato que, normalmente, efluentes industriais possuem elevadas concentrações de metais pesados, os quais poderiam ser prejudiciais ao meio ambiente caso esse lodo de esgoto for reutilizado como fertilizante ou corretivo de solo.

Em todas as legislações pesquisadas se verifica a preocupação dos legisladores com a segurança ambiental e saúde pública na aplicação do lodo de esgoto em solo agrícola.

A norma brasileira e a norteamericana exemplificam ou dão ênfase para alguns tipos de lodos provenientes de locais ou com características críticas devido à periculosidade do efluente de origem do lodo. A legislação norteamericana coloca uma preocupação com as bifenilas policloradas (PCB) que é um contaminante extremamente perigoso. As outras legislações não estabelecem critérios específicos para o PCB.

A norma brasileira estabelece padrões para o potencial agrícola do lodo de esgoto e não apenas utilizar o solo como meio de disposição de resíduos. Isso é importante pois as demais legislações não considera a aplicação de lodo de esgoto em solo como uma prática de relevância agronômica.

A legislação européia não define claramente a importância agrícola na utilização de lodo de esgoto no solo em nenhum artigo. Essa preocupação é delegada aos países membros da comunidade européia.

A legislação norteamericana chama a atenção para o principal contaminante ambiental do lodo de esgoto que é o nitrogênio (N), pois baixas taxas de aplicação ao solo de nitrogênio não trazem potencial agrícola, e elevadas taxas de aplicação de nitrogênio podem contaminar o lençol freático com nitrato.

Conforme observado por Tsutya (2000) as propriedades do biossólido (ou lodo de esgoto) são semelhantes a outros produtos orgânicos usados normalmente na agricultura (esterco suíno, bovino, avícola, etc.), portanto, em termos de resultados agronômicos, o biossólido poderia ser aplicado à maioria das culturas. Porém, algumas culturas adaptam-se mais que outras para o seu uso, seja por aproveitarem melhor sua composição química e liberação lenta de nitrogênio, sejam por eliminarem os riscos associados à reciclagem de resíduos animais, principalmente com relação aos patógenos.

É possível que a área de aplicação de lodo de esgoto possa estar associada ao contato da população, como por exemplo, em parques, jardins, pastagem, etc.

esse item é importante para a garantia da saúde pública da população e do meio ambiente, pois os locais de aplicação de lodo de esgoto são acessíveis a animais domésticos e ou selvagens que poderão ser vetores de determinadas doenças.

De acordo com Fernandes (2000) no esgoto são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos) e embora a grande maioria destes organismos seja inofensiva, alguns grupos de patógenos são considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal.

Tanto a legislação brasileira quanto a legislação norteamericana estabelecem critérios para a redução de patógenos no lodo de esgoto, em particular a redução da concentração dos coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, salmonela e vírus entéricos. Ambas as legislações especificam nos anexos métodos que poderão ser utilizados para a redução de patógenos.

A legislação europeia não faz nenhuma referência com relação à presença de patógenos no lodo de esgoto ou a necessidade de sua redução.

Outro aspecto importante definido nesta seção da resolução CONAMA é a quantidade de matéria orgânica presente no lodo de esgoto, pois caso houver grande quantidade de matéria orgânica no lodo de esgoto, haverá uma competição natural entre os microorganismos presentes no solo e as plantas, pois ambos competirão para a absorção e síntese de micro e macro nutrientes.

Com relação a matéria orgânica, somente a legislação brasileira traz no regulamento a especificação para a redução da matéria orgânica no lodo. Tanto a legislação norteamericana quanto a da comunidade europeia, não estabelecem critérios para a redução da matéria orgânica.

Os anexos da legislação brasileira definem métodos que podem ser adotados para a redução da matéria orgânica. Quanto maior for a redução de sólidos voláteis no digestor de lodo, maior será a concentração de nutrientes e micronutrientes no LE.

4.2 Seção II – Da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado.

Com relação a frequência, este parâmetro possui interpretações diferentes nas três legislações estudadas. A norma da comunidade europeia não relaciona a frequência com a quantidade de lodo gerado, por isso, se quantidade de lodo gerado for pequena, será exigida frequência mínima de 6 meses (para o primeiro ano)

depois passa para anual, que neste caso fica igual a norma brasileira e norteamericana.

Para as grandes quantidades, tanto a legislação brasileira como a norte americana são iguais.

A legislação da comunidade européia é menos restritiva, ela apenas diz que os Estados-membros poderão reduzir a frequência priorizando a segurança da aplicação.

De acordo com Tsutiya (2002), deverão ser respeitados os limites quanto à aplicação de metais no solo e os limites de acumulação de metais no solo. A carga acumulada para a reaplicação do bio sólido deverá ser calculada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal pesado poluente no bio sólido e as taxas de aplicação.

A tabela 3 mostra por exemplo a frequência no monitoramento do lodo de esgoto definido pela agência ambiental norte americana EPA.

Tabela 3 – Frequência de monitoramento do lodo.

Quantidade de lodo de esgoto⁽¹⁾ (ton/ano)	Frequência
Maior que zero e menor que 290	Uma vez ao ano
Igual ou maior que 290 e menor que 1.500	Uma vez por trimestre (4 vezes ao ano)
Igual ou maior que 1.500 e menor que 15.000	Uma a cada 60 dias (6 vezes ao ano)
Igual ou maior que 15.000	Uma vez por mês (12 vezes ao ano)

⁽¹⁾Considerando tanto o lodo aplicado no solo como o lodo vendido ou cedido para aplicação de terceiros (base peso seco)

Fonte: US EPA 40 CFR Part 503

A tabela 4 mostra a frequência de monitoramento estabelecida pelo CONAMA, a qual é mais restritiva que a frequência norte americana e da comunidade européia.

Tabela 4 – Frequência de monitoramento do lodo de esgoto

Quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para a aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca)	Frequência de monitoramento
Até 60	Anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado.
De 60 a 240	Semestral, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado.
De 240 a 1.500	Trimestral
De 1.500 a 15.000	Bimestral
Acima de 15.000	Mensal

Fonte: Resolução CONAMA375/06

4.3 Seção III – Requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura.

Na tabela 5, foram tabulados os poluentes e suas concentrações máximas permitidas no lodo de esgoto para aplicação agrícola. A comunidade europeia permite que os países membros promulguem legislações mais restritivas que a própria diretiva. São exemplificados na tabela 6 limites máximos adotados por alguns países europeus os quais utilizaram valores mais restritivos para determinados contaminantes no lodo de esgoto.

A concentração dos metais pesados no solo é o requisito das legislações pesquisadas, que exigem maior controle ambiental, pois todas as normas analisadas, enfatizam os riscos de contaminações ambientais desses metais.

Os valores adotados como limites máximos podem variar principalmente em função das condições climáticas e das características do solo, causados pelo intemperismo.

Tabela 5 – Comparação dos valores de concentração máxima de poluentes entre a norma brasileira, da comunidade européia e norteamericana (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	CONAMA 375/06	DIRETIVA 278/86	EPA 40CFR 503
Arsênio	41	-	75
Bário	1.300	-	-
Cádmio	39	20 a 40	85
Chumbo	300	750 a 1.200	840
Cobre	1.500	1.000 a 1.750	-
Cromo	1.000	-	-
Mercúrio	17	16 a 25	57
Molibdênio	50	-	75
Níquel	420	300 a 400	420
Selênio	100	-	100
Zinco	2.800	2.500 a 4.000	7.500

Fonte: Autor

Tabela 6 – Teores máximos de metais pesados admitidos no lodo a ser utilizado na agricultura, segundo a legislação de diversos países (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

Metal Pesado	Dn ⁽¹⁾	Suécia	Al ⁽²⁾	Suíça	Holanda	Escócia	França	Itália	Países Baixos
Arsênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio	0.8	15	10	30	10	20	20	20	1.25
Cromo	100	1000	900	1000	500	2000	1000	-	75
Cobre	1000	3000	800	1000	600	1500	1000	1000	75
Chumbo	120	300	900	1000	500	1500	800	750	100
Mercúrio	0.8	8	8	10	-	-	10	10	0.75
Molibdênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel	30	500	200	200	100	25	200	300	30
Selênio	-	-	-	-	-	-	100	-	-
Zinco	4000	10000	2500	8000	2000	2500	3000	2500	300
Prata	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto	-	50	-	100	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	500	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Dinamarca

⁽²⁾ Alemanha

Fonte: Adaptado de Rocha (1999)

Analisando a tabela 5, o elemento químico arsênio possui limites máximos apenas nas legislações brasileira e norteamericana. Mesmo as legislações mais

restritivas dos países europeus, exemplificados na tabela 6, não possuem valores máximos de referência para arsênio.

Outro fator verificado, é que a legislação brasileira é mais restritiva que a norteamericana para o elemento arsênio.

O molibdênio assim como o arsênio, possui valores limítrofes somente nas legislações brasileiras e norteamericana.

Outro elemento de destaque quando comparamos os limites definidos na tabela 5, é o bário, pois somente a legislação brasileira possui limites para esse elemento. A resolução CONAMA 375/2006 não descreve porque o bário foi incluído como elemento químico passível de controle. O bário ocorre de forma natural e as aplicações industriais mais comuns são: fabricação de revestimentos cerâmicos, vidros e tintas.

Os metais pesados com maior preocupação ambiental são: o cádmio, chumbo, mercúrio, níquel e zinco e em todas as legislações analisadas, foram estabelecidos limites máximos de concentração para esses elementos.

Comparando as legislações, a brasileira é bem restritiva para a maioria dos elementos. Porém alguns países europeus reestabeleceram limites de metais pesados a valores extremamente baixos, conforme verifica-se na tabela 6, quando comparados com a legislação brasileira.

4.4 Seção IV – Das culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado.

Nesta seção, destaca-se a legislação brasileira como mais restritiva que as legislações norteamericana e da comunidade européia, principalmente no requisito tempo de quarentena necessário para liberar uma área a qual foi aplicado lodo de esgoto.

Como exemplo, caso a área seja liberada para pastagem ou produção de forrageiras, a legislação européia estipula um prazo mínimo de 3 semanas, a norteamericana diz que a liberação da área dependerá da análise do projeto pelo órgão ambiental, já a legislação brasileira diz que a área poderá ser utilizada após 24 meses da última aplicação, este período é 3.400% maior que a legislação européia.

O tempo de sobrevivência dos agentes patogênicos varia em relação ao tipo de microorganismo e de vegetal. Vírus, bactérias e protozoários têm tempo de vida menor em relação aos ovos de helmintos, principalmente aqueles que possuem membranas mais espessas como *Ascaris sp.* e *Taenia sp.* Para vírus o tempo de sobrevivência vai de 4 a 60 dias, para bactérias ele varia de 10 a 40 dias, enquanto que para protozoários o tempo máximo de sobrevivência é de 15 dias. Os ovos de helmintos que são mais resistentes podem sobreviver vários meses (SOCCOL, 2000).

A legislação brasileira diz que para algumas culturas agrícolas como olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível esteja em contato com o solo, o período mínimo para reutilizar a área será de 48 meses. Essas mesmas culturas na legislação européia, são liberadas após estudos específicos considerando a cultura específica, porém nunca o tempo de quarentena da área poderá ser menor que 10 meses desde a última aplicação.

A legislação brasileira comparada com a legislação européia tem um período de quarentena 480% maior para o mesmo requisito.

Este é o requisito com maior divergência entre as legislações. Um tempo de quarentena muito grande pode trazer prejuízos econômicos ao país e aos agricultores e pecuaristas, pois uma área ficará embargada desnecessariamente, caso não seja evidenciado as razões de tais períodos de quarentena.

4.5 Seção V – Das restrições locais de aptidão do solo das áreas de aplicação.

As legislações brasileiras e norteamericana estabelecem critérios para a aplicação de lodo de esgoto em determinadas áreas, considerando os fatores ambientais os quais poderiam causar impacto ao meio ambiente ou a saúde pública.

A legislação da comunidade européia não estabelece padrões para os locais ou condições climáticas para a aplicação do lodo de esgoto.

A legislação norteamericana estabelece mais requisitos para a escolha do local de aplicação de lodo de esgoto, considerando diversos fatores climáticos e geológicos. Também considera o final da vida útil do local de aplicação e possíveis

emissões de gases, principalmente o gás metano (CH_4). Este requisito é importante caso o lodo de esgoto seja infiltrado no solo.

4.6 Seção VI – Do projeto agrônômico e das condições de uso.

A resolução do CONAMA 375/2006 condiciona a aprovação do uso de lodo de esgoto como fertilizante ou corretivo de solo somente se houver um projeto agrônômico, isso faz se necessário, pois a reciclagem de nutrientes e micronutrientes existentes no LE estão ligadas às culturas existentes no local de aplicação e somente um profissional qualificado pode definir a dose de lodo de esgoto necessária ao desenvolvimento de uma cultura específica.

Outra aplicação importante do lodo de esgoto é a reposição de matéria orgânica ao solo. A matéria orgânica presente no solo melhora suas condições físicas e biológicas, e principalmente diminui os riscos de erosão causada pelas chuvas.

De acordo com Andreoli (2001) as estratégias para controle da erosão consistem em práticas de adequação de uso e manejo do solo que reduzam a desagregação das partículas, aumentem a infiltração da água através do perfil, e controlem o escoamento superficial. A matéria orgânica aplicada através de biossólidos (lodo de esgoto) promove a melhor agregação das partículas, melhorando sua estrutura e, com isso, o desenvolvimento radicular e a infiltração da água.

A legislação norte americana fixa a utilização do lodo à licença de operação da estação de tratamento de esgoto que gerou o lodo de esgoto como subproduto. Esse licenciamento é importante, pois se o lodo de esgoto for gerenciado de forma correta, os riscos de contaminação ambiental são minimizados. Ela também dá ênfase que, limites mais restritivos poderão ser aplicados caso algum estado americano achar conveniente.

A legislação européia deixa a cargo dos estados-membros regulamentarem as condições de uso do lodo de esgoto, porém ressalta a necessidade do pH do solo ser maior que 6. No caso do Brasil isso seria uma condicionante importante pois os solos tropicais, na maioria das vezes, possuem pH abaixo de 6 e nestas condições, aumenta consideravelmente a absorção de metais pesados e outros elementos pelas plantas.

4.7 Seção VII – Da aplicação.

A tabela 7 mostra a carga máxima acumulada dos poluentes inorgânicos no solo das legislações CONAMA 375/06, EPA 40CFR503 e diretiva da Comunidade Européia 278/86.

Comparando os valores verifica se que a legislação brasileira é similar a da comunidade européia e ambas mais restritivas que a legislação norteamericana.

Destaca se os limites dos metais pesados cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio e selênio permitidos na legislação norteamericana, que são 10 vezes superiores que os limites máximos da legislação brasileira.

O elemento químico bário está presente apenas na legislação brasileira e não fica evidente a preocupação ambiental ou de saúde pública desse elemento.

No Brasil são conhecidas exemplos de contaminação de solo em áreas próximas das indústrias de piso cerâmico devido as emissões atmosféricas que apresentam elevadas concentrações de elemento.

Tabela 7 – Comparação dos valores da carga acumulada máxima de poluentes inorgânicos entre a norma brasileira, da comunidade européia e norteamericana (kg/ha).

Parâmetro	CONAMA 375/06	DIRETIVA 278/86	EPA 40CFR 503
Arsênio	30	-	41
Bário	265	-	-
Cádmio	4	1 a 3	39
Chumbo	41	50 a 300	300
Cobre	137	50 a 140	1.500
Cromo	154	-	3.000
Mercúrio	1,2	1 a 1,5	17
Molibdênio	13	-	18
Níquel	74	30 a 75	420
Selênio	13	-	100
Zinco	445	150 a 300	2.800

Fonte: Autor

Ao contrário dos poluentes orgânicos sintéticos, que foram criados pelo homem, os metais pesados são componentes naturais ao meio ambiente, estando

presentes em teores muito baixos em praticamente todos ambientes naturais (rocha, solo, etc.). O risco representado pelos metais está associado à sua concentração, que, quando é elevada, geralmente é provocada pela atividade antropogênica (SILVA, 2001).

Como regra geral a legislação brasileira é compatível com as demais, porém o CONAMA não definiu na resolução, limites máximos de metais pesados aplicados ao solo por hectare anualmente. A legislação norteamericana define o carregamento anual de poluentes que serão incorporados ao solo. O carregamento anual é calculado multiplicando-se a taxa anual permitida pela concentração do elemento químico poluente no lodo de esgoto e o resultado é expresso em quilo por hectare por ano (kg/ha/ano).

Na tabela 8 observa-se os limites de carregamento anual nas legislações EPA 40CFR 503 e diretiva 278/86. Esses limites são importantes pois por meio deles é possível aplicar o lodo de esgoto de forma linear. Essa prática ajuda prevenir riscos de contaminação.

Tabela 8 – Comparação dos valores da carga máxima de poluentes inorgânicos entre a norma brasileira, da comunidade européia e norteamericana (kg/ha/ano).

Parâmetro	CONAMA 375/06	DIRETIVA 278/86	EPA 40CFR 503
Arsênio	-	-	2
Bário	-	-	-
Cádmio	-	0,15	1.9
Chumbo	-	15	15
Cobre	-	12	75
Cromo	-	-	150
Mercúrio	-	0,1	0,85
Molibdênio	-	-	0,90
Níquel	-	3	21
Selênio	-	-	5
Zinco	-	30	140

Fonte: Autor

4.8 Seção VIII – Do carregamento, transporte e estocagem.

A legislação brasileira estabelece os critérios para armazenagem temporária segura do lodo de esgoto antes da aplicação, as outras legislações analisadas, não estabelecem tais critérios. A legislação norteamericana diz que a armazenagem de resíduos em solo é regulamentada por outra resolução. A diretiva europeia não estabelece nenhuma regra para a armazenagem de lodo de esgoto no solo.

A armazenagem no solo é crítica, pois o lodo de esgoto armazenado de forma ou local incorreto, pode lixiviar e causar contaminação do lençol freático.

Neste capítulo poderia constar informações sobre a segurança no transporte de lodo de esgoto, pois em caso de acidentes o lodo de esgoto poderá atingir algum corpo hídrico e causar poluição. Poderia também ser abordado as questões de segurança do trabalho e saúde ocupacional para os motoristas e os operadores que irão manusear o lodo de esgoto e os riscos no ambiente de trabalho.

4.9 Seção IX – Do monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado.

Com relação ao monitoramento das áreas de aplicação de lodo a legislação brasileira é bem detalhada quanto aos parâmetros de controle. Os controles necessários ao monitoramento são: fertilidade do solo, sódio trocável, condutividade elétrica e substâncias inorgânicas.

A legislação da comunidade europeia estabelece controle para o lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento de esgoto com capacidade de tratamento somente para os locais onde a população servida seja superior a 5.000 habitantes. Estações de tratamento com capacidade menor, fica isenta de controle da disposição.

A diretiva europeia exige que o lodo seja oriundo essencialmente de estação de tratamento de esgoto doméstico, com limitada contribuição industrial.

A legislação norteamericana não possui requisitos específicos de controle do solo e cultura existente nas áreas de aplicação de LE, porém ela vincula o uso de LE em solo agrícola à aprovação compulsória de um órgão de proteção ambiental.

Analisando a US EPA 40 CFR Parte 503 fica implícito que as agências de proteção ambiental dos estados independentes que formam os Estados Unidos da América, solicitarão ao interessado em aplicar lodo de esgoto, o controle da área de

aplicação (solo e cultura), como condicionante técnica obrigatória para a aprovação do projeto.

Neste capítulo a resolução CONAMA poderia reforçar a legislação trabalhista colocando como obrigatório ao interessado em utilizar os lodo de esgoto, o cumprimento mínimo das norma NR-9 PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais) e a NR-7 PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional),

4.10 Seção X – Das responsabilidades.

Neste requisito as três legislações analisadas são focadas de formas diferentes, todas definem que a aplicação de lodo de esgoto deve ser realizada de forma segura, pois caso contrário, haverá sanções administrativas aos responsáveis caso ocorram danos à saúde pública ou ao meio ambiente.

A legislação brasileira coloca a responsabilidade compartilhada no processo, ou seja, toda a cadeia envolvida desde a geração até a aplicação do lodo de esgoto são solidárias nos casos de acidentes ou de contaminação ambiental.

Conforme Andreoli (2001) a última fase do planejamento aborda os preparativos para implementação da atividade, e envolve a seleção e treinamento do corpo técnico, elaboração do programa de controle e do sistema de relatórios e registros de dados.

A legislação brasileira não possui requisitos para o treinamento e capacitação dos profissionais que irão estar envolvidos diretamente no manuseio de lodo de esgoto.

4.11 Seção XI – Das disposições finais.

Esta seção é específica sobre os requisitos e responsabilidades estabelecidas pela resolução CONAMA e portanto aplicável somente para o Brasil.

5. CONCLUSÕES

A resolução brasileira CONAMA 375/2006, comparada com as legislações internacionais analisadas neste estudo, abrange os riscos ambientais e de saúde pública e garante a aplicação e utilização segura do lodo de esgoto em solo agrícola.

Nenhuma das legislações considera a avaliação de risco dos trabalhadores/operadores expostos ao manuseio, preparo, transporte e aplicação de lodo de esgoto em solo.

Nenhuma das legislações analisadas descreve os equipamentos de proteção individual (EPI's) necessários durante o manuseio de lodo de esgoto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. Departamento de engenharia sanitária e ambiental - UFMG e Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, Belo Horizonte, 484p. 2001.
- BARBOSA, G.M.C. et al. Propriedades químicas de um latossolo vermelho eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1501-1505, 2002.
- BATAGLIA, O.C.; BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim-braquiária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.7, p.277-284, 1983.
- BERTON, R.S.; Riscos de contaminação ao agroecossistema com metais pesados. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. P.45-67, 2000.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V 13, p.187-192. 1989.
- BRANCO, S.M.; Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. **Companhia de Tecnologia Ambiental do estado de São Paulo**, São Paulo, 620p. 1978
- CEOLATO, L.C.; **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo**. Tese (mestrado) Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Campinas, 45 p. 2007.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aplicação de biossólido de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projetos e operação**. São Paulo, SP. 29p. 1999.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**, e dá outras providências. Brasília, 41p. 2006.
- DIRETIVA DO CONSELHO DA COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA (CEE) 278, de 12 de junho de 1986. **Proteção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lodo de esgoto**, alterada pelo regulamento (CE) 219/2009 do parlamento europeu e do conselho. CEE, 6p. 2009
- EPA. 40 CFR part 257 et al. **Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge**; Final Rules. e. Washington. 1993
- FERNANDES, F. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. P.45-67, 2000.

GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio sólido, **Scientia Forestalis**. n.63, p.188-201, 2003.

LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE. **A guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503**. Water Environment Federation, p.62, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A. & LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 449-455, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. P.45-67, 2000.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Origem e destinação de resíduos sólidos. In: Seminário da Política Nacional de Resíduos Sólidos, cd room. Brasília, DF, 2004.

ROCHA, M. T., SHIROTA, R. Disposição final de lodo de esgoto. **Revista de Estudos Ambientais**. V. 1, n. 3, set/dez 1999.

SILVA, E. M. B. Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica. 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

SILVA, S.M.C.P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V.T.; MORITA, D.M. Principais contaminantes do lodo in ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. Departamento de engenharia sanitária e ambiental - UFMG e Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, Belo Horizonte, p69-121. 2001.

SOCCOL, V.T.; PAULINO, R.C. Riscos de contaminação do agroecossistema com parasitos pelo uso de lodo de esgoto. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. P.245-268, 2000.

SPARKS, D.L. The Chemistry of soil acidity. **Environmental soil chemistry**, chapter 3 e chapter 9. Academic Press, San Diego, 267p. 1995.

SOBRINHO, P.A. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**, Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. p.11-24, 2000.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: Bettiol, W & Camargo, O.A. eds, **Impacto Ambiental**

do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto, Jaguariúna, SP. Embrapa Meio Ambiente. p.69-105, 2000.

TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo, SP. p.468, 2002.