



### III-177 – CODISPOSIÇÃO DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E LIXO URBANO EM ATERROS SANITÁRIOS: UMA ABORDAGEM INTEGRADORA

**Jacqueline Rogéria Bringhenti<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Saúde Pública; Professora do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental e Pesquisadora do Grupo de Estudos em Modelagem Ambiental (GEMA) do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

**Oswaldo Bruno Brunetti**

Graduando do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), vinculado ao Grupo de Estudos em Modelagem Ambiental (GEMA).

**Mariana Maretto Motta**

Graduanda do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), vinculada ao Grupo de Estudos em Modelagem Ambiental (GEMA).

**Fabianne Miranda Aguiar**

Graduanda do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), vinculada ao Grupo de Estudos em Modelagem Ambiental (GEMA).

**José Antônio Tosta dos Reis**

Engenheiro Civil, mestre em Engenharia Ambiental e doutor em Hidráulica e Saneamento; Professor do curso superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental e Pesquisador do Grupo de Estudos em Modelagem Ambiental (GEMA) do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara – Vitória - ES - CEP: 29040780 - País - Tel: +55 (27) 3331-2237 - e-mail: jaquelineb@ifes.edu.br

#### RESUMO

O tratamento dos esgotos sanitários gera resíduos, como é o caso do lodo, algumas vezes de forma contínua e em grande escala. Em alguns centros urbanos, onde a aplicação agrícola do lodo não é viável, faz-se necessário buscar alternativas tais como a codisposição em aterros sanitários, principalmente pelo seu menor custo. A introdução de um novo resíduo, com características geotécnicas próprias, como é o caso da codisposição com lodos de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) necessita de prévia avaliação quanto aos efeitos em termos da operação, da estabilidade, da segurança e do uso futuro da área do aterro sanitário. Assim, o presente artigo apresenta um panorama das práticas utilizadas, em nível nacional e internacional, para codisposição de lodos de ETE's em aterros sanitários visando contribuir para a definição de critérios técnicos adequados. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas metodológicas, a primeira destinada ao levantamento bibliográfico e documental sobre o tema. A segunda referente à leitura, interpretação, descrição e definição dos critérios de ordenação e sistematização das informações obtidas na etapa anterior. E a terceira para a avaliação dos critérios e soluções adotados no Brasil e em outros países. Os resultados obtidos deverão contribuir para o aperfeiçoamento de critérios de projetos e operação de aterros sanitários, com codisposição de lodos de ETEs, resultando na utilização desta alternativa de destinação final de forma mais segura e adequada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos, lodo de ETE, codisposição, aterros sanitários.

#### INTRODUÇÃO

O grande conflito ambiental atual é a escassez de recursos hídricos, existindo problemas crônicos de manutenção de qualidade das águas de mananciais devido à falta de tratamento de esgotos. Por sua vez, o tratamento de esgotos gera resíduos, como é o caso do lodo, algumas vezes de forma contínua e em grande escala.

A aplicação na agricultura como fertilizante orgânico é viável para alguns tipos de lodo, desde que sejam respeitadas condições técnicas adequadas, sendo encarada como uma forma de reciclagem de matéria orgânica (BETTIOL, 2006).



Em alguns centros urbanos, onde a aplicação agrícola do lodo não é viável, faz-se necessário buscar alternativas como a codisposição em aterros sanitários, principalmente pelo menor custo.

Neste contexto, a codisposição do lodo em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos tem sido difundida em todo mundo, sendo implantada em caráter provisório, e passando com o tempo a ser definitiva, principalmente por seu baixo custo.

A codisposição de lodos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs) em aterros sanitários é uma das soluções mais difundida em todo o mundo. Algumas vezes é implantada como solução de caráter provisório, e passa com o tempo a ser definitiva, principalmente pela sua versatilidade e menor custo, existindo polêmica entre os técnicos e pesquisadores da área de resíduos sólidos sobre a aceitação dos riscos ao ambiente e à saúde impostos pela sua aplicação (BRINGHENTI, 1998).

A presença do lodo pode comprometer a operação e a estabilidade de um aterro sanitário sendo necessário estudar os seus efeitos. Assim, o presente artigo apresenta um panorama geral das práticas operacionais utilizadas para codisposição de lodos de ETE's em aterros sanitários, em nível nacional e internacional, avaliando a problemática relacionada à questão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa de levantamento e de avaliação do conhecimento disponível, em nível nacional e internacional, sobre a codisposição de lodos de ETEs e lixo urbano em aterros sanitários. Então, a pesquisa foi dividida em três etapas metodológicas conforme seqüência abaixo:

1. Levantamento bibliográfico e documental sobre o tema proposto;
2. Leitura, descrição e definição dos critérios de ordenação e sistematização das informações obtidas na etapa anterior.
3. Avaliação dos critérios e soluções adotados em outros países e a proposição de diretrizes gerais para o estabelecimento de critérios acerca da utilização da alternativa da codisposição.

O trabalho foi iniciado com a busca e leitura da produção acadêmica referente a pesquisas do tipo “estado do conhecimento ou da arte”, com a finalidade de se realizar o planejamento das etapas a serem desenvolvidos para se atingir os objetivos propostos. A partir do conceito desse tipo de pesquisa iniciou-se a etapa de levantamento bibliográfico e documental referente ao tema de codisposição de lodos de ETE e lixo urbano em aterros sanitários, em nível nacional e internacional.

Uma das principais fontes de pesquisa utilizadas foi o portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível superior (CAPES), recentemente disponibilizado no IFes. Adicionalmente foram analisadas algumas publicações sobre o tema que puderam ser obtidas do acervo do orientador e na biblioteca do IFes.

Em paralelo, foram realizadas visitas técnicas a ETE Mulembá, que faz parte do Programa Águas Limpas gerenciado pela Companhia Espírito-santense de Saneamento, CESAN, e a Central de Tratamento de Resíduos da Marca Ambiental, receptor dos lodos e responsável por sua codisposição, o que permitiu maior contato com o tema pesquisado.

Como segunda etapa da pesquisa, foi realizada a leitura, interpretação e descrição dos artigos, trabalhos e documentos obtidos com base em critérios de ordenação e sistematização. Essa etapa foi realizada com cautela, para que não houvesse erros de tradução, principalmente no que tange as teorias e metodologias aplicadas.

Os critérios adotados para o ordenamento dos dados obtidos foram à ordem cronológica inversa e o local de origem. Esses critérios foram ajustados a partir da avaliação global dos resultados da etapa de revisão bibliográfica.



A descrição dos artigos, trabalhos e documentos selecionados foi realizada na forma de resumo, onde se destacou os principais pontos dos estudos avaliados, com o objetivo de promover a divulgação e facilitar o acesso a esses estudos, complementado com a adequada indicação de suas referências bibliográficas.

Em face da carência de artigos e trabalhos focados no tema ora pesquisado, foram enviados e-mails para alguns autores e para órgãos ambientais, visando a obtenção de mais informações e a complementação dos dados já adquiridos. Realizou-se também visitas as páginas da internet de instituições internacionais que atuam na área como:

- Environmental Protection Agency - EPA (USA);
- National Solid Waste Management Association – NSWMA (USA);
- Canadian Environmental Assessment Agency – Canadá e
- European Environmental Agency's (EEA) – Europa.

Com a finalização da pesquisa bibliográfica foram correlacionados os aspectos comuns referentes ao tema, encontrados artigos, trabalhos e documentos selecionados, visando dar maior consistência à análise das informações obtidas.

Durante a terceira etapa da pesquisa foram avaliados os critérios e soluções adotados em outros países. Tal análise serviu de base para a proposição de diretrizes gerais para o estabelecimento de critérios acerca desse tipo de codisposição no Brasil, o qual também irá considerar os requisitos legais e técnicos, existentes no país, pertinentes ao assunto estudado.

## RESULTADOS

De acordo com Ferreira (1999):

As pesquisas de caráter bibliográfico trazem em comum o desafio de mapear e de discutir certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares.

Por se tratar de uma pesquisa “estado do conhecimento ou da arte” foi realizado levantamento bibliográfico e documental referente ao tema de codisposição de lodos de ETE e lixo urbano em aterros sanitários, em nível nacional e internacional, realizando buscas dentro da produção acadêmica dos últimos 20 anos, ou seja, período de 1988 a 2008.

A escolha do limite de 20 anos teve como base referencial a publicação dos autores Carra; Cossu em 1990, intitulada *International Perspectives on Municipal Solid Wastes and Sanitary Landfilling*. Nessa publicação os autores citam que apesar das novas tendências para gerenciar resíduos sólidos, os aterros sanitários ainda são os melhores métodos de gerenciamento de resíduos e que apesar da queda do número de aterros nos Estados Unidos durante o período de 1978 a 1988, os aterros encontravam-se em crescente processo de expansão espacial.

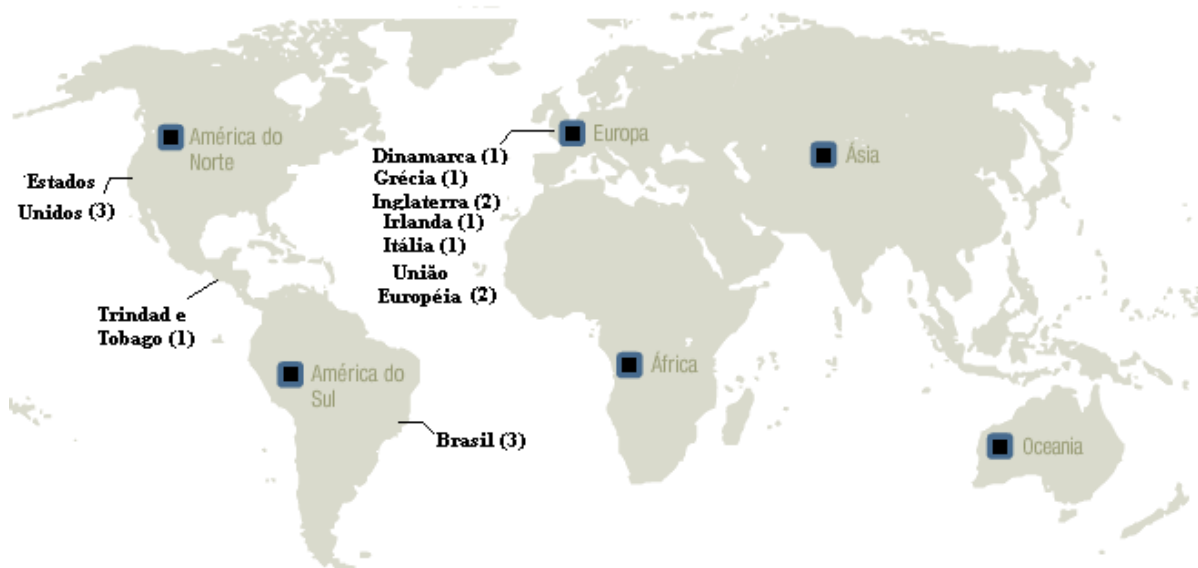
Com esse limite de tempo para compor o “estado do conhecimento ou da arte” foram selecionados no levantamento bibliográfico e documental 15 produções, sendo essas retiradas de:

- 8 artigos;
- 5 livros;
- 1 dissertação de mestrado; e,
- 1 tese de doutorado.

A intenção inicial da pesquisa era reunir o máximo de informações disponíveis, tendo sido selecionadas ao final 15 documentos que abordavam o assunto com maior consistência, o que levou a constatar a carência de produção sobre o tema. A figura 1 apresenta os países de origem das 15 produções selecionadas:



**Figura 1: Países de origem dos 15 documentos selecionados para o panorama da Codisposição de lodos de ETE's e lixo urbano em aterros sanitários, 1998.**



Na descrição de artigos, trabalhos e documentos levantados foram destacados os principais pontos dos estudos avaliados referentes ao tema da pesquisa, correlacionando os aspectos comuns encontrados conforme segue apresentado.

## ORDENAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Com intuito de permitir melhor visualização e utilização das informações obtidas na etapa de levantamento bibliográfico e documental, as mesmas foram ordenadas para posterior sistematização. Depois de ordenadas, as informações foram cruzadas, correlacionando os aspectos em comum encontrados, os quais estão apresentados nos quadros numerados de 1 a 7.

Os quadros foram elaborados com a intenção de reunir trechos citados nas produções levantadas, realizando a sistematização das informações já ordenadas por ordem cronológica inversa e o local de origem.

**Quadro 1 – Citações referentes à disposição final de lodos em aterros:**

AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
DAVIS; HALL	1997	Inglaterra	Na Europa, a disposição em aterros sanitários é uma das alternativas predominantes para a destinação final do lodo, para onde é direcionado cerca de 40% do lodo produzido.
EPA	1999	Estados Unidos	Mais de 90% do lodo de ETE produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três métodos, sendo um deles o aterro sanitário.
EEA	2001	Continente Europeu	Em 1998, 25% do lodo ETE produzido pelos países membros da European Environmental Agency's eram dispostos em aterros sanitários.
ANDREOLI; PINTO	2001	Brasil	Entre as alternativas de destinação final de lodo de ETE mais utilizadas nos países desenvolvidos estão a disposição em aterros sanitários.
BANKS; HEAVEN	2001	Inglaterra	Os aterros sanitários ainda são uma das principais opções para a disposição do lodo de ETE.
SPINOSA	2001	Itália	Uma das práticas já bastante conhecidas para o manejo final do lodo de ETEs é o aterro sanitário.
FYTILI; ZABANIOTOU	2006	Grécia	Na Europa cerca de 35% a 45% do lodo gerado no tratamento de esgoto sanitário é destinado aos aterros.



As citações constantes do Quadro 1 referem-se a prática muito difundida de disposição do lodo de ETE em aterros sanitários. Porém não há especificação quanto a prática de disposição desse lodo em aterros, ou seja, não existe afirmações sobre a prática de codisposição lodo de ETE e lixo urbano.

É possível perceber que o envio de lodos de ETEs para aterros sanitários é um método comum em vários países, visto que são encaminhados para os aterros grandes porcentagens dos lodos gerados no tratamento dos esgotos, sendo esse método compreendido como tratamento e/ou disposição final do lodo.

A principal explicação para o grande envio de lodo de ETE para aterros sanitários é que essa alternativa é completa, pois apresenta custo baixo em relação a outros métodos e é o destino final dos rejeitos, diferentemente da incineração, método caro e que gera rejeitos que provavelmente serão encaminhados para aterros e da agricultura, viável apenas para alguns tipos de lodos.

**Quadro 2 – Citações referentes à prática de codisposição de lodo e lixo urbano em aterros:**

AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
BRINGHENTI, J.R.	1998	Brasil	A codisposição de lodos em aterros sanitários é a uma das soluções mais difundida em todo o mundo.
BANKS; HEAVEN	2001	Inglaterra	Codisposição ocorre quando o lodo de ETE é misturado juntamente com resíduos de outras fontes, como os resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.
COMISSÃO EUROPÉIA	2001	Continente Europeu	Os aterros sanitários representaram a maior rota de disposição dos lodos de ETEs, misturando-se o lodo com outro resíduos sólidos.
SPINOSA	2001	Itália	A prática de disposição de lodo de lodo nos aterros de resíduos sólidos urbanos já é consolidada. , realizada principalmente em locais com espaço suficiente para a disposição.
O'KELLY	2005	Irlanda	O lodo geralmente é misturado em seu estado bruto com outros tipos de resíduos, como lixo urbano.

As citações presentes no Quadro 2 especificam que a prática utilizada para dispor os lodos das ETEs nos aterros sanitários é a codisposição com resíduos sólidos urbanos. Essa alternativa de disposição final do lodo de ETE consiste na mistura de lodo e lixo urbano em aterros sanitários.



**Quadro 3 – Citações referentes a critérios para a codisposição de lodo e lixo urbano:**

AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
LUE-HING, ZENZ; KUCHENRITHER	1992	Estados Unidos	Os lodos de ETE podem ser usados diariamente para cobertura dos aterros sanitários, desde que com concentração de sólidos igual ou superior a 50%, apontando que, nesses casos, o lodo tem comportamento semelhante ao solo argiloso, constitui uma barreira que evita a penetração de vetores no aterro, desde que se trate de lodo estabilizado biologicamente, i.e., com seu teor de sólidos voláteis reduzido previamente.
RAGAZZI	1997	Itália	O lodo não-tóxico pode ser disposto em aterros de resíduos sólidos urbanos se estiver desidratado e estabilizado.
BANKS; HEAVEN	2001	Inglaterra	Na codisposição de lodo e resíduos sólidos urbanos, os sólidos contidos no lodo devem ser superiores a 3% e na prática é geralmente superior a 20% ou mais.
LUDIVICE; FERNANDES	2001	Brasil	Nas tortas de lodo a concentração de sólidos totais deve ser pelo menos de 20% para a codisposição de lodo e lixo urbano. De outra maneira, a lixiviação pode crescer excessivamente no aterro, reduzindo assim, a estabilidade das paredes.
SPINOSA	2001	Itália	A concentração de sólidos no lodo deve ser entre 30-35%, porque a consistência física correspondente poderia ser baixa demais para suportar o material posterior (colocado sobre o lodo). Geralmente a concentração de sólidos no lodo é menor que 20-25%.
O' KELLY	2005	Irlanda	O lodo ao ser encaminhado para os aterros deve ser adequadamente seco ou desidratado para ser aplicado, adequando um fator de segurança contra instabilidade para os terrenos dos aterros.  O lodo desidratado é como um solo e como tal pode ser modelado usando teorias de mecânica dos solos e conhecimentos das propriedades de secagem para compactação correta do material.

O Quadro 3 apresenta trechos citados referentes a critérios que devem ser observados para a realização da técnica de codisposição de lodo de esgoto com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, sendo os principais critérios a umidade do lodo (referente à desidratação), estabilização do lodo e o teor de sólidos presentes no lodo.

**Quadro 4 – Citações referentes a proporção de mistura de lodo de ETE/lixo urbano em codisposição:**

AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
MALINA	1993	Brasil	A quantidade de lodo por hectare em codisposição com lixo urbano é baixa, variando de 180 a 1600 t/ha em base seca.
DÉAK	1997	Dinamarca	Em aterros mistos o ingrediente principal é o resíduo sólido urbano, enquanto o lodo de ETE é considerado um aditivo secundário, usado geralmente na proporção de 20-25%.
BANKS; HEAVEN	2001	Inglaterra	A proporção de mistura dependerá também da concentração do lodo, mas geralmente varia de 4 toneladas de resíduos sólidos urbanos por tonelada de lodo para altas concentrações de sólidos contido no lodo e abaixo de 7 toneladas de resíduos sólidos urbanos para baixas concentrações de sólidos contidos no lodo.
COMISSÃO EUROPÉIA	2001	Continente Europeu	Quando o lodo é codisposto misturado ao lixo urbano, ele não é o elemento principal, sendo geralmente aplicado na proporção de 20% a 25% em relação ao lixo urbano.
SANTOS	2003	Brasil	A proporção de mistura lodo e lixo pode variar de acordo com a operação do aterro, que se preocupa com as condições de mistura e espalhamento (dependentes principalmente da umidade do lodo) e com o esgotamento do depósito municipal (depende da área disponível para o aterro)





Os trechos citados no Quadro 4 demonstram a proporção de mistura geralmente utilizada entre lodo de ETE e lixo urbano para a técnica de codisposição. A partir desses trechos é possível notar que nessa técnica o lodo de ETE não é o elemento principal da mistura, atuando apenas como um aditivo ou elemento secundário que é aplicado em proporções variáveis dependendo de fatores (como a umidade do lodo) e condições de operação do aterro sanitário (como espaço disponível).

**Quadro 5 – Citações referentes a dificuldades encontradas na prática de codisposição lodo e lixo urbano:**

AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
DÉAK	1997	Dinamarca	A disposição do lodo de ETE torna a disposição dos resíduos sólidos urbanos mais complicada, especialmente quando a concentração de água no lodo é alta.
RAGAZZI	1997	Itália	A codisposição é muito praticada pré-misturando o lodo, porém a procura por novas áreas dificulta essa prática.
COMISSÃO EUROPEIA	2001	Continente Europeu	No futuro essa metodologia poderá tornar-se limitada ou até proibida por severas legislações ambientais vigentes.
LUDUVICE; FERNANDES	2001	Brasil	O lodo, dependendo de sua concentração de sólidos, pode provocar problemas operacionais ao aderir nas sapatas do trator e dificultar a compactação do lixo
SPINOSA	2001	Itália	Essa prática de tratamento final do lodo, realizada principalmente em locais com espaço suficiente para tal ação, enfrenta muitas dificuldades, principalmente quanto a consistência física do lodo. A matéria orgânica disposta em aterros não está disponível para o crescimento das plantas. Mantendo o lodo fora das áreas dos aterros, esse espaço poderá ser utilizado para matérias cujo tratamento ou reuso não seja possível.
O'KELLY	2005	Irlanda	No futuro essa metodologia poderá tornar-se limitada ou até proibida por severas legislações ambientais. Alguns operadores de aterros sanitários estão relutantes em aceitar o lodo em seu estado bruto por causa de suas complicadas construções e o potencial de instabilidade do lodo nos declives dos aterros.

As citações constantes do Quadro 5 relatam os principais dificuldades encontradas para a realização da técnica de codisposição de lodo de ETE e lixo urbano. Os principais problemas enfrentados para o uso dessa técnica são a falta de áreas, a consistência física do lodo e as legislações ambientais.

**Quadro 6 – Citações referentes às vantagens da adição de lodo de ETE em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, prática de codisposição:**

AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
FARRELL	2000	Estados Unidos	O acréscimo de lodo de esgoto aos aterros pode melhorar a qualidade do chorume, como comprovado durante 20 meses por células de teste do Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento da Usepa de Cincinnati, Ohio, onde as que receberam lodo de esgoto produziram um chorume de 1500 mg/L de DQO enquanto a vizinha, sem o lodo com aditivo, liberou um chorume de 30.000 mg/L. Adicionalmente, as concentrações de metais como cádmio, cromo, cobre, chumbo, níquel, ferro e zinco foram mais baixos no primeiro caso do que no segundo caso.
BANKS; HEAVEN	2001	Inglaterra	A codisposição de lodo e outros tipos de resíduos (como o lixo urbano) gera grande volume de eficiência, pois as partículas do lodo ocupam os vácuos existentes nos resíduos. A adição de lodo com resíduos sólidos urbanos também tem um efeito positivo no processo bioquímico, com consequente aumento na qualidade do chorume e na produção de biogás.



No Quadro 6 são apresentadas algumas vantagens da adição de lodo de ETE em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, o que é definido como codisposição. As principais vantagens apontadas nos trechos citados que compõe esse quadro são o grande volume de eficiência proporcionado pela a técnica de codisposição (devido às partículas do lodo ocuparem os vácuos existentes nos resíduos), a melhora na qualidade do chorume produzido no aterro (principalmente quanto a redução de metais pesados) e aumento na produção de biogás.

**Quadro 7 – Citações referentes as vantagens da codisposição em relação aos monofills:**

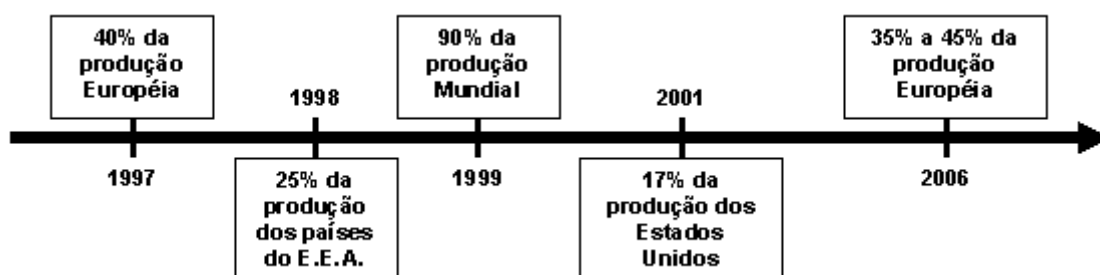
AUTOR	ANO	PAÍS	TRECHO CITADO
DEAK	1997	Dinamarca	Os requisitos de desidratação das tortas de lodo para a codisposição não são tão severos quantos os exigidos para os aterros exclusivos de lodo porque a capacidade higroscópica do lixo é alta
BANKS; HEAVEN	2001	Inglaterra	A codisposição promove a redução de impactos ambientais porque reduz o uso de duas áreas para apenas uma. A disposição de lodo em aterros já existentes pode significar um reduzido processo de licenciamento em oposição a abertura de novas áreas somente para dispor o lodo, os conhecidos monofills.
COMISSÃO EUROPÉIA	2001	Continente Europeu	Tecnicamente, quando o lodo é depositado misturado ao lixo urbano ocorrem diferenças em relação ao depósito em um aterro específico de lodo. Essa diferença é principalmente observada na estrutura física do depósito, a formação de gás é realçada e o índice de metais pesados no chorume é reduzido. Quando o lodo é depositado em aterros exclusivos não há formação intensa de gás, o que não propicia a captação de biogás, sendo a sua composição semelhante aos aterros onde lodo é misturado ao lixo urbano.

É possível observar através do quadro 7 que em relação ao monofill a codisposição realizada em aterros não exclusivos de lodo de ETE apresenta vantagens como realce na formação de biogás, redução de impacto ambiental por aproveitar uma área já impactada, evitando a abertura de uma nova área apenas para dispor o lodo de esgoto, melhora na qualidade do chorume, além do que não há necessidade de desidratar o lodo tanto quanto se o mesmo fosse aplicado em um aterro exclusivo, devido à alta capacidade de absorção dos resíduos sólidos.

## AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS E SOLUÇÕES ADOTADAS NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES

O quadro 1 foi montado com a intenção de reforçar que uma das principais rotinas de disposição final do lodo de ETE são os aterros sanitários. Fazendo uma síntese do quadro 1 através da figura abaixo (Figura 2) é possível perceber a grande difusão desta técnica no mundo e que mesmo com o passar dos anos e com o surgimento de novas tecnologias para dispor lodo, os aterros ainda são a principal rota de manejo final deste resíduo.

**Figura 2: Linha temporal com a proporção de lodos de ETE's enviados para aterros sanitários, segundo os autores pesquisados.**

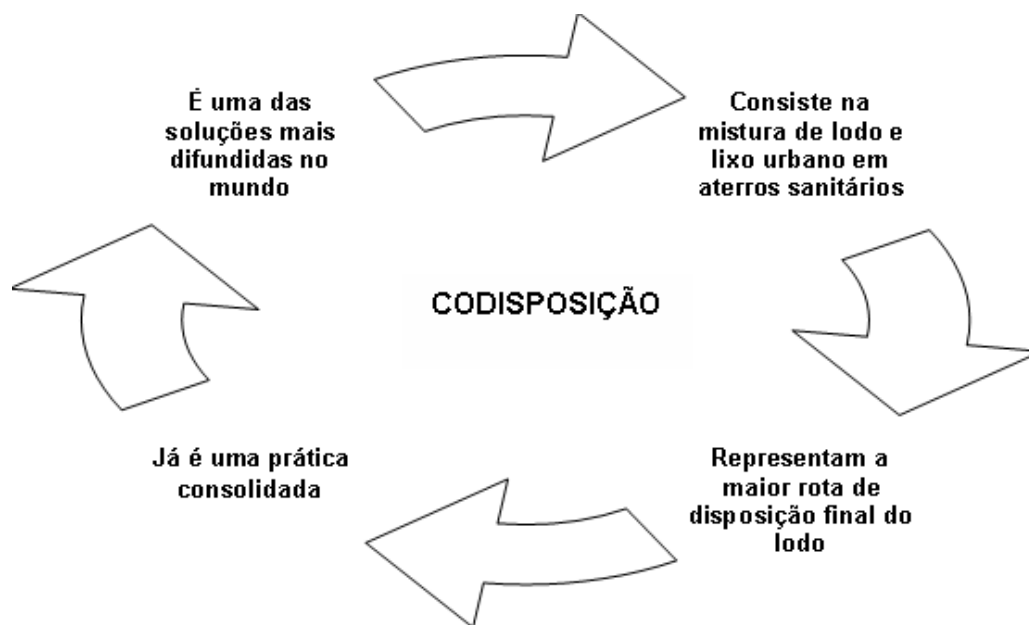






Porém, é apenas no quadro 2 que podemos afirmar que a técnica utilizada para a disposição desse lodo é a codisposição, ou seja, a mistura de lodo de ETE e resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. A figura 3 sintetiza as informações do quadro 2.

**Figura 3: Conceito e informações sobre a técnica de codisposição.**



Conhecendo o conceito de codisposição é possível investigar quais são as exigências para que tal alternativa possa ser realizada. Os quadros 3 e 4 apresentam essas exigências. A existência de espaço é um dos fatores que condiciona o emprego dessa alternativa de manejo final do lodo de ETE. A cada dia torna-se mais complicado encontrar novas áreas para a instalação de aterros sanitários, tornando o espaço físico um fator importante para essa prática.

Outros fatores importantes para o emprego dessa alternativa são a proporção de lodo misturado ao lixo urbano, a consistência física do lodo (referente à umidade/desidratação), concentração de sólidos e estabilização do lodo.

Referente à proporção de mistura entre lodo e lixo urbano na codisposição temos um consenso entre a maioria das publicações consultadas. Quase todas afirmam que o lodo é apenas um aditivo ou composto secundário que é adicionado na proporção de 20-25% em relação ao lixo urbano. Apesar disso, essa proporção poderá variar, dependendo das condições de umidade do lodo e da operação do aterro sanitário.

A proporção de mistura torna-se um fator importante para o uso dessa técnica, pois com o aperfeiçoamento do tratamento dos esgotos sanitários, provavelmente maior volume de lodo será gerado, necessitando de tratamento e disposição final.

A consistência física do lodo é um fator importante para a codisposição, pois quanto maior é a umidade do lodo, mais difícil e complicada torna-se a sua mistura com o lixo urbano. A maioria das produções avaliadas ressalta que o lodo para ser misturado ao lixo urbano deve estar devidamente desidratado.

Quanto a concentração de sólidos presente no lodo temos como informação da maioria das produções avaliadas que ela deve estar situada em uma faixa de 20-25%. Porém os autores Lue-Hing, Zenz; Kuchenrither (1992) apontam que os lodos de ETE podem ser usados diariamente para cobertura dos aterros (o que não deixa de ser codisposição, pois mais camadas de lixo serão adicionadas sobre essa cobertura diária de lodo), desde que com concentração de sólidos igual ou superior a 50%.

Por último temos a estabilização do lodo, que apenas foi citada por dois autores como fator importante. Com isso, há necessidade de espaço físico suficiente, ajuste na proporção do lodo em relação ao lixo, adequação da concentração de água presente no lodo, garantia da estabilidade do lodo e também a adequação da concentração de sólidos para realizar a técnica de codisposição lodo/lixo urbano, de modo que o lodo de esgoto não interfira na estabilidade do aterro sanitário, evitando maiores problemas operacionais.

Analizando o quadro 5 é possível perceber que apesar da codisposição ser uma prática de disposição final do lodo de ETE bastante utilizada, há problemas operacionais (dificuldades encontradas nessa alternativa) que dificultam ou até mesmo inviabilizam o uso dessa alternativa. A figura 4 sintetiza as dificuldades enfrentadas pelos operadores de aterros sanitários que realizam a técnica de codisposição.

**Figura 4: Dificuldades encontradas na prática de codisposição em aterros sanitários.**



É possível perceber que as dificuldades encontradas para a realização da técnica de codisposição (alta concentração de água e baixa concentração de sólidos no lodo) são referentes ao não atendimento das exigências para que lodo e lixo possam ser codispostos em aterros, ou seja, provavelmente o lodo não foi devidamente desidratado e não apresenta concentração de sólidos situada em uma faixa de 20-25%.

O lodo de ETE é um resíduo bastante característico e de acordo com alguns autores o atual nível de conhecimento da engenharia em propriedades de secagem do lodo ainda é limitado e as informações na literatura sobre o comportamento do lodo ainda são restritas, e por isso torna-se complicado sua aceitação no aterro, principalmente também por seu alto potencial de ocasionar instabilidade nas paredes das células dos aterros.

As novas legislações ambientais, altamente restritivas ao envio de matéria orgânica para aterros e favoráveis ao envio apenas de materiais que não possam ser reutilizados ou aproveitados, tornam-se o principal risco de limitação da técnica. Apesar disso a codisposição ainda é uma das alternativas mais viáveis para destino final de lodos de ETE, principalmente pela questão financeira (baixo custo) e por ser, de acordo com algumas produções avaliadas, versátil as variações de volume e quantidade de lodo gerado pelos sistemas de tratamento.

Já os quadros 6 e 7 apresentaram algumas vantagens referentes à adição de lodo de ETE em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (técnica de codisposição) e da técnica de codisposição em relação aos monofills, ou seja, os aterros exclusivos de lodo. As figuras 5 e 6 expressam essas vantagens.



Figura 5: Vantagens da adição de lodo de ETE em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

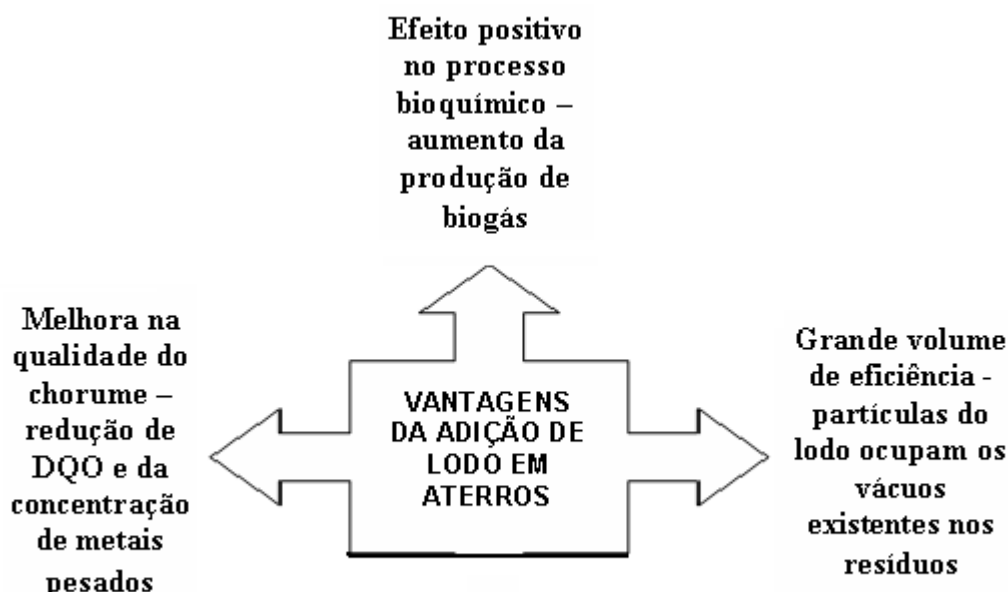
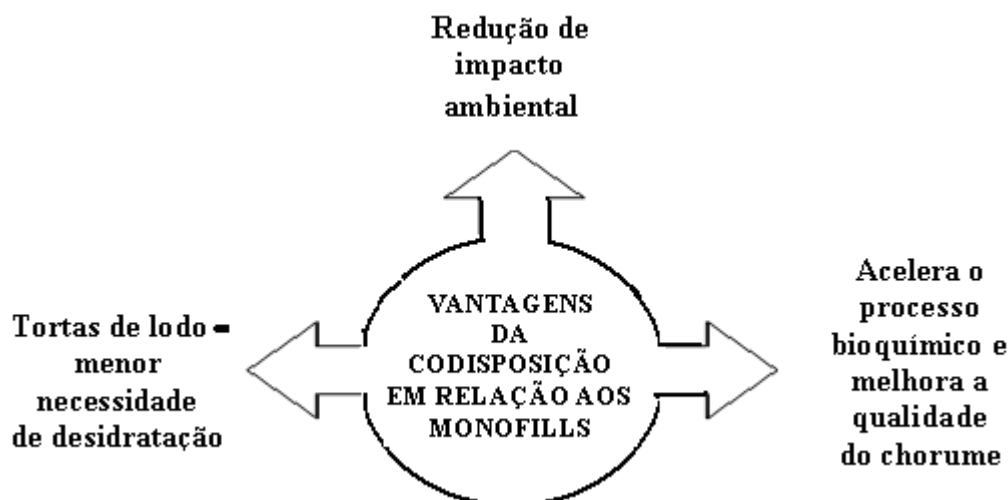


Figura 6: Vantagens da técnica de codisposição em relação aos monofills



#### PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES GERAIS PARA O ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS ACERCA DA CODISPOSIÇÃO DO LODO EM ATERROS SANITÁRIOS.

Visto que a técnica de codisposição é viável para o manejo final do lodo de ETE, faz-se necessário o conhecimento de diretrizes gerais para a utilização dessa alternativa de modo seguro, evitando problemas operacionais nas células dos aterros sanitários. Abaixo se encontram numeradas e de forma organizada as diretrizes propostas para o estabelecimento de critérios acerca da codisposição de lodo de esgoto e lixo urbano. A figura 7 apresenta as cinco diretrizes propostas:

- 1) Para utilização dessa técnica o fator espaço físico deverá ser levado em consideração, pois a existência de espaço suficiente para codispor lodo de esgoto e lixo urbano é um dos fatores que condiciona o emprego dessa alternativa de manejo final do lodo de ETE;

- 2) A consistência física do lodo de ETE é um dos principais fatores a ser observado, pois a grande polêmica na utilização dessa técnica é o fato de que a adição de lodo de ETE com alta umidade pode ocasionar instabilidade nas paredes das células do aterro (a lixiviação pode crescer excessivamente no aterro, reduzindo assim, a estabilidade das paredes). Para ser codisposto com resíduos sólidos urbanos o lodo de ETE deverá estar devidamente seco ou desidratado;
- 3) A concentração de sólidos presentes no lodo também deverá ser levada em consideração para uso da alternativa de codisposição, e essa concentração deverá estar situada numa faixa de 20-25%, podendo variar para valor igual ou superior à 50%;
- 4) Deverá ser observado também para a realização da técnica de codisposição se o lodo de ETE está estabilizado, pois alguns autores afirmam que essa uma das condições necessária para a aplicação da técnica;
- 5) Por fim deverá ser observado a proporção de mistura de lodo de ETE e lixo urbano. Deve-se lembrar que quando o lodo é codisposto com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários ele não é o elemento principal, atuando como aditivo, numa proporção que pode variar de 20 a 25% em relação aos resíduos sólidos urbanos. Essa proporção torna-se um fator limitante para o uso dessa técnica, pois com o aperfeiçoamento do tratamento dos esgotos sanitários, provavelmente maior volume de lodo será gerado, necessitando de tratamento e disposição final.

**Figura 7: Diretrizes gerais para proposição de critérios a cerca da codisposição.**



## CONCLUSÕES

Visto que a técnica de codisposição tem sido adotada para o manejo final do lodo de ETEs, faz-se necessário a definição diretrizes técnicas e ambientais para a sua utilização de modo seguro.

Apesar da carência de produção acadêmica sobre o tema o estudo realizado possibilitou o mapeamento de parte do atual conhecimento sobre a técnica, levando à proposição de cinco diretrizes para o estabelecimento de critérios acerca da codisposição, existindo a necessidade de mais estudos e investigações para aprofundamento.



Assim, as diretrizes propostas deverão fornecer subsídios para que os órgãos ambientais possam desenvolver análises de projetos quanto ao licenciamento ambiental de empreendimentos desta natureza, podendo ser aplicados em aterros sanitários, implantados no Brasil e em outros países, quando contemplem as mesmas características, bem como contribuir para elaboração de regulamentos técnicos pertinentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V.; TEIXEIRA, M.A.P. (2001) - **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**, p. XXI- XXII.
2. BANKS, C. J.; HEAVEN, S. (2001) - **“Landfilling” in Sludge Into Biosolids: Processing, Disposal and Utilization** (Spinosa L. and Vesilind P.A., Eds.), p. 74-100, cap. 4, IWA Publishing, Londres.
3. BETTIOL, W. (2006) - **Lodo de Esgoto na Agricultura: Potencial de Uso e Problemas**. [on line]. Brasil: SABESP. Disponível em: <URL: [www.tulha.com.br/meio\\_amb\\_eco/lodo\\_de\\_esgoto.htm](http://www.tulha.com.br/meio_amb_eco/lodo_de_esgoto.htm) > [02 abr 08].
4. BRINGHENTI, J.R. (1998) - **Efeitos da Codisposição de Lixo Urbano e Lodo de ETE em Aterros Sanitários – Estudo em Lisímetros**; (Dissertação de Mestrado, Saúde Pública); Universidade de São Paulo. São Paulo (SP).
5. CARRA, J.S.; COSSU, R. (1990) - **International Perspectives on Municipal Solid Waste and Sanitary Landfilling** – Report from the International Solid Waste and Public Cleansing Association (ISWA) – Working Group on Sanitary Landfilling, London, Academic Press.
6. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2006) - **Resolução n. 375/06, de 29 de agosto de 2006**. 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.
7. DAVIS, R.D.; HALL, J.E. (1997) - **Production, Treatment and Disposal of Wastewater Sludge in Europe from UK Perspective**. European water pollution control, v.7, n.2, March.
8. DÉAK, B. (1997) - **“Landfilling” in: Sludge Treatment and Disposal – Management Approaches and Experiences**. European Environment Agency – IWSA, Copenhagen, p. 36-40.
9. Environmental Protection Agency. (1999). **Biosolids Generation Use, and Disposal in the United States**. (EPA 530-R-99-009).
10. EUROPEAN COMMUNITIES (2001) - **Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge Part 3 – Scientific and technical report** [http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge\\_disposal3.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_disposal3.pdf) > [20 jan 2008].
11. European Environmental Agency’s/EEA (2001). Disponível em <URL: <http://themes.eea.europa.eu/indicators/keymessages?thetheme=waste> > [18 dez 2007].
12. FARRELL, J.B. (2000) – **Old Biosolids in a Dried-up Lagoon**. Biosolids & Solids Discussion Fórum. Range of topics: Wastewater Residuals, 503 Regulation, Conditioning, Thickening, Dewatering, Stabilization, Beneficial Use, Public Education. Water Environment Federation.
13. FERREIRA, N.S.A. (1999) **Pesquisa em Leitura: Um Estudo dos Resumos de Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado Defendidas no Brasil, de 1980 a 1995**. 16 folhas; (Tese de doutorado, Educação); Universidade de Campinas. Campinas (SP).
14. FUZARO, J.A.(1998) – **Aterros Sanitários em Valas**. CETESB.
15. FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. (2006) - **Utilization of Sewage Sludge in EU Application of Old and New Methods – A review ,renewable and sustainable energy reviews**. Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, E. U. Thessaloniki, Greece.
16. LUDIVICE, M.; FERNANDES, F. (2001) – **“Principais Tipos de Transformação e Descarte do Lodo”** em Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, volume 6, página 415, capítulo 9.
17. LUE-HING, C.; ZENZ, D.R.; KUCHENRITHER, R. (1992) – **“Utilization of Municipal Sewage Sludge as Daily and Final Cover for Municipal Solid Waste Landfills”** in: Municipal sewage sludge management:processing, utilization and disposal. Water Quality Management Library, v.4; Lancaster, Pennsylvania: p. 346-353.
18. MALINA, J.F. (1993) – **Sludge Landfills**. In: II Seminário de Transferência Tecnológica: tratamento e Destino Final do Lodo. ABES / WEF, Rio de Janeiro, 13 – 16 de Dezembro de 1993.
19. NATIONAL SOLID WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION (2006) - **Modern Landfills: A Far Cry From The Past**. Disponível em: <URL: <http://www.nswma.org>> [2008 nov 25].
20. O’KELLY, C.B. (2005) - **Sewage Sludge to Landfill: Some Pertinent Engineering Properties**, Jornal of the Air and Waste Management Association (1995) v.55 no. 6, p.765-71.



21. RAGAZI, M. (1997) – **Production, Treatment and Disposal of Sludge in Italy**. European Water Pollution Control, 7(2), 41-46.
22. SABESP. **Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo – Disposições Finais**. [on line]. Brasil: SABESP; 2006. Disponível em: <URL: [http://www.sabesp.com.br/o\\_que\\_fazemos/coleta\\_e\\_tratamento/tratamento\\_metropolitano\\_disposicoes.htm](http://www.sabesp.com.br/o_que_fazemos/coleta_e_tratamento/tratamento_metropolitano_disposicoes.htm)> [02 ago 2008].
23. SANTOS, H. F. (2003) **Aditivos Minerais para Viabilização de Aterros Exclusivos de Estações de Tratamento de Esgotos (ETES)**. 19 folhas; (Tese de doutorado, Saúde Ambiental); Universidade de São Paulo. São Paulo (SP).
24. SPINOSA, L. (2001) – **Evolution of Sewage Sludge Regulations in Europe**. Water Science and Technology Vol 44 No 10 pp 1–8 © IWA Publishing.
25. STONE, R. J.; EKWUE, E. I.; CLARKE, R. O. (1998) - **Engineering Properties of Sewage Sludge in Trinidad**. Faculty of Agriculture and Natural Sciences; Faculty of Engineering, The University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad, West Indies.