

**USO E MANEJO DO LODO DE
ESGOTO NA AGRICULTURA**

**USO E MANEJO DO LODO
DE ESGOTO NA AGRICULTURA**

Companhia de Saneamento do Paraná

SANEPAR

Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

PROSAB

Curitiba, 1999

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS

Presidente

Lourival do Carmo Mônico

Diretoria

Celso Alves da Cruz
Leila Miragaya Matz
Hugo Tulio Rodrigues

Grupo Coordenador FINEP/PROSAB

Elizabeth Pinto Guedes
Célia Poppe

Coordenação Nacional da Rede PROSAB Tema IV – Edital 01/96

Fernando Fernandes

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR

Diretor Presidente

Carlos Afonso Teixeira de Freitas

Diretoria

Lauro Klas Junior
Luiz Carlos dos Santos Bueno Filho
Alberto Zocco Junior
Olívio Paulus Neto

Gerência Grupo Específico de Consultoria, Intercâmbio e Pesquisa

Ary Haro dos Anjos Júnior

APOIO

Financiadora de Estudos e Projetos / Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - FINEP/PROSAB

Ministério da Ciência e Tecnologia / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico / Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Atividades Estratégicas - MCT/CNPq/RHAE / Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Caixa Econômica Federal.

ORGANIZAÇÃO

Aderlene Inês de Lara
Andréia Cristina Ferreira
Cleverson Vítório Andreoli
Eduardo Sabino Pegorini
Ricardo Germano Kurten Ihlenfeld

EQUIPE TÉCNICA

Cleverson Vítório Andreoli – *Coordenador Técnico-Científico*
Aderlene Inês de Lara
Andréia Cristina Ferreira
Bárbara Rocha Pinto Bonnet
Eduardo Sabino Pegorini
Fernando Rauen Wolter
Henrique Fontoura
Ricardo Germano Kurten Ihlenfeld
Susan Carla Domaszak

Apoio Administrativo-Financeiro
Marilene Maria Lora

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
I - PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS BIOSSÓLIDOS.....	8
1 PRODUÇÃO DE LODO.....	8
1.1 Tipo de Tratamento.....	8
1.2 Tipo de Esgoto.....	9
1.3 Eficiência Operacional.....	10
2 ESTABILIZAÇÃO	11
2.1 Processos de estabilização.....	11
2.2 Critérios para Análise da Estabilização.....	12
3 REMOÇÃO DA UMIDADE.....	13
3.1 Adensamento do Lodo	14
3.2 Sistemas de Secagem.....	15
II - DESTINO FINAL DO LODO.....	18
1 ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL.....	18
1.1 Aterro Sanitário.....	18
1.2 Incineração.....	19
1.3 Landfarming.....	19
1.4 Reciclagem Agrícola.....	20
III - RISCOS ASSOCIADOS AO USO DO LODO DE ESGOTO.....	21
1 METAIS PESADOS.....	21
2 SANIDADE.....	24
3 MICROPOLUENTES ORGÂNICOS.....	25
4 NITROGÊNIO.....	26
IV - HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO.....	27
1 AGENTES PATOGÊNICOS E TRATAMENTO DE ESGOTO.....	28
2 FATORES DESINFECTANTES DO LODO DE ESGOTO.....	28
3 PROCESSOS DE DESINFECÇÃO	30
3.1 Compostagem.....	30
3.2 Calagem.....	31
4 PROCESSAMENTO DO LODO PARA USO AGRÍCOLA ATRAVÉS DA CALAGEM.....	33
4.1 Determinação da Umidade e Consistência do Lodo no Leito de Secagem.....	33
4.2 Estimativa do Teor de Matéria Seca por Unidade de Area de Leito de Secagem.....	34
4.3 Adição do Cal.....	36
4.4 Mistura do Lodo com o Cal.....	36
4.5 Armazenagem e Maturação	38

5 OUTROS MÉTODOS	39
V - FATORES LIMITANTES.....	41
1 Fatores inerentes ao lodo.....	42
1.1 Conteúdo de metais pesados.....	42
1.2 Perfil sanitário.....	45
1.3 Valor Agronômico (nutrientes e pH).....	47
1.4 Umidade e Consistência.....	50
1.5 Estabilidade.....	52
2 Fatores inerentes ao ambiente.....	52
2.1 Critérios macro ambientais.....	53
2.2 Restrições da área de aplicação.....	55
VI - USO DE LODO EM ÁREAS DE PRODUÇÃO.....	62
1 TRANSPORTE.....	63
2 ESPALHAMENTO.....	64
3 DISTRIBUIÇÃO E INCORPORAÇÃO.....	65
4 Recomendações para correção e adubação do solo.....	66
5 Efeitos da aplicação de biossólidos nas culturas.....	68
VII - PLANEJAMENTO DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO.....	73
1. o processo de RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO.....	75
2. REQUERIMENTOS LEGAIS.....	75
3 ESTRUTURA DO PLANO DE RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO.....	77
3.1 Planejamento Preliminar.....	78
3.2. Organização da Distribuição.....	80
3.3 Operação da distribuição.....	81
VIII - MONITORAMENTO.....	83
1 Monitoramento do biossólido.....	64
1.1 Pré-requisitos ao Monitoramento de Biossólidos	64
1.2 Bases para o Monitoramento de Biossólido	65
2 Monitoramento das áreas de aplicação.....	69
2.1 Pré-requisitos ao Monitoramento das Áreas de Aplicação	69
2.2 Bases para o Monitoramento das Áreas de Aplicação	70
3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	76

O crescimento das demandas da sociedade por melhores condições do ambiente, tem exigido das empresas públicas e privadas a definição de políticas ambientais mais avançadas, que geralmente iniciam pelo tratamento dos efluentes. Este tratamento gera um resíduo sólido em quantidades variáveis segundo o tipo de esgoto e o sistema de tratamento adotado, denominado lodo de esgoto.

Levantamentos feitos em vários países indicam que o volume de lodo produzido em uma Estação de Tratamento de Esgoto representa cerca de 1-2% do volume de esgoto tratado, entretanto seu tratamento e disposição final chega a atingir entre 30% e 50% do custo operacional da ETE. O manejo do lodo compreende operações como adensamento, desaguamento, estabilização, higienização e secagem, e sua aplicação está diretamente relacionada ao destino final escolhido para o mesmo.

A reciclagem do lodo na agricultura é, sem sombra de dúvida, a melhor alternativa quando este atende aos requisitos necessários com relação a concentração de metais pesados e patógenos.

O lodo de esgoto não deve ser considerado como um simples resíduo. Suas características físico-químicas o tornam um excelente condicionador do solo, podendo auxiliar na melhoria das práticas agrícolas atualmente em uso em nosso país. Nesta ótica, o lodo de esgoto passa a ser entendido como *bio-sólido*, ou seja, é o de lodo do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos processado de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na utilização agrícola.

A adequada destinação de resíduos é um fator fundamental para o sucesso de um sistema de tratamento. A importância desta prática foi reconhecida pela Agenda 21, principal instrumento aprovado na Conferência Mundial de Meio Ambiente - Rio 92, que incluiu no seu capítulo 21 o tema "Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos". Este capítulo define quatro programas prioritários: a redução da produção de resíduos, o aumento ao máximo da reutilização e reciclagem, a promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudável e finalmente a ampliação do alcance dos serviços que se ocupam com os resíduos.

A necessidade de adequação do problema do resíduo não pode, no entanto, considerar a disposição do lodo no solo, especialmente no caso da reciclagem agrícola, como uma forma de eliminar um problema eminentemente urbano, mas ao contrário, a reciclagem na agricultura exige a produção de um insumo de qualidade assegurada, garantindo a adequação do produto ao uso agrícola, definindo restrições de uso aos solos e apresentando as alternativas tecnológicas de uso visando uma maior rentabilidade ao produtor.

A reciclagem da matéria orgânica dos lodos tratados, ou biossólidos, em sólidos agrícolas é viável e desejável, desde que realizada de forma segura e coerente.

As experiências negativas de uma prática inadequada podem inviabilizar esta alternativa no futuro, face à resistência que podem gerar na sociedade, decorrentes dos potenciais danos ambientais, agronômicos e sanitários (ANDREOLI & BONNET,1998).

Este Manual - ***Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura***, procura orientar o futuro usuário do biossólido, os operadores de estações de tratamento e os tomadores de decisão sobre os procedimentos de produção do lodo, os métodos de higienização adequados a prática agrícola, as vantagens, fatores limitantes e procedimentos para o uso do biossólido em áreas de produção, orientação para a elaboração de Plano de Distribuição de Lodo e monitoramento da atividade. Representa uma forma de contribuição para a resolução ambientalmente segura de um problema que tende a se agravar a medida em que sejam ampliados os sistemas de coleta e tratamento de esgoto no país.

Os sólidos extraídos por diversos métodos das estações depuradoras incluem areia, lixo e lodo, sendo que, este é o subproduto mais importante dos processos de tratamento. O lodo resultante das operações e processos de tratamento se apresenta, geralmente, em forma líquida ou líquido semi-sólido, que contém normalmente entre 0,25 a 12% de sólidos, dependendo da operação e processo utilizado. De acordo com METCALF-EDDY (1985) "de todos os subprodutos, o lodo é, sem dúvida, o de maior volume e seu tratamento e disposição é, talvez, o problema mais complexo que enfrenta um engenheiro, dentro do campo de tratamento da água residual." Esses sólidos, que consistem numa mistura de matéria orgânica e inorgânica, se acumulam no sistema e devem ser periodicamente ou continuamente descartados, de acordo com o sistema de tratamento. Sem a correta destinação de lodo, os benefícios da implantação de uma estação de tratamento ficam comprometidos.

1 PRODUÇÃO DE LODO

1.1 TIPO DE TRATAMENTO

IMHOFF (1986) relaciona os teores de sólidos e de água, à quantidade de lodo produzido em diversos tipos de tratamento. Cada método de tratamento aplicado a esgotos domésticos apresenta suas características. A produção de lodo é variável segundo o tipo de tratamento, conforme apresentado na tabela 1.

TABELA 1 - Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios.

TIPO DE TRATAMENTO	QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDA (M ³ /HAB./ANO)
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 - 0,08
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	0,01 - 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 - 0,08
Lodos ativados convencionais	1,1 - 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 - 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 - 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 - 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 - 1,5
Biodiscos	0,7 - 0,1
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,07 - 0,1
Fossa séptica - filtro anaeróbio	0,07 - 0,1

Fonte: Arceivala (1981), EPA (1979, 1981, 1992), Metcalf & Eddy (1991), Vieira (1993), Sperling (1995) e Nascimento (1997).

O esgoto deve sofrer o processo de tratamento de forma a adequá-los ao poder de diluição específico de cada corpo receptor. Estes tratamentos concentram e removem a matéria orgânica e os demais poluentes, que constituirão o lodo de esgoto.

Esta decisão é de responsabilidade dos órgãos ambientais por ocasião do licenciamento, e o setor de saneamento é extremamente dependente da qualidade ambiental para a prestação de seus serviços, sendo um dos principais interesses para uma gestão ambiental eficaz.

Os sistemas de tratamento de esgotos normalmente utilizam de forma otimizada, os fenômenos de biodegradação que já ocorrem na natureza. Os métodos mais comuns de tratamento são os biológicos, que utilizam os microrganismos presentes no esgoto para degradar a matéria orgânica e purificar a água.

Qualquer política de recebimento de resíduos industriais na rede deve partir de um princípio básico de jamais misturar produtos contaminados com produtos não contaminados.

Uma política de gestão para a destinação de lodo, inicia com a concepção do sistema a ser escolhido. As alternativas de tratamento mais indicadas, quando pretendem reduzir a produção de lodo, são os sistemas anaeróbios e algumas lagoas.

1.2 TIPO DE ESGOTO

Os esgotos costumam ser classificados em dois grupos principais: sanitários e industriais. Os primeiros são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais e águas de infiltração. Eventualmente uma parcela de despejos industriais são misturados ao esgoto doméstico.

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos.

Os esgotos industriais, extremamente diversos, provem de qualquer utilização da água para fins industriais, e adquirem características próprias em função das características da indústria, do sistema de tratamento utilizado pela empresa, do processo industrial empregado, etc. Assim sendo, cada indústria deverá ser considerada separadamente, uma vez que seus efluentes diferem até mesmo em processos industriais similares.

Os despejos industriais podem ser lançados na rede pública de esgotos chegando até uma estação de tratamento de esgoto sanitário, desde que esta seja uma decisão expressa do município. Muitas vezes a contribuição industrial é admitida na estação, desde que no seu planejamento e dimensionamento, os parâmetros respectivos tenham sido levados em consideração. O lançamento indiscriminado de efluentes industriais na rede pública de esgotos sanitários pode trazer ao sistema sérios inconvenientes e alterações no seu principal subproduto que é o lodo de esgoto. Para estes casos, o mais importante a ser considerado é a

identificação na própria fonte, dos contaminantes presentes através do conhecimento do processo industrial e das fontes de geração do resíduo.

Os teores de metais pesados, especificamente, devem ser analisados criteriosamente, pois o lançamento de uma empresa pode comprometer a qualidade do lodo de toda uma cidade, tornando os custos de disposição final muito mais elevados.

Assim, cada Estado, através de seu órgão de meio ambiente, normalmente em colaboração com a empresa estadual de saneamento, devem fixar critérios para o lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Estes critérios são diferenciados de acordo com a política do órgão estadual de meio ambiente e as condições de infra-estrutura das cidades.

1.3 EFICIÊNCIA OPERACIONAL

Sistemas de tratamento de esgotos já implantados são muitas vezes operados indevidamente, o que diminui sua eficiência, caracterizando-se como um grande desperdício de recursos públicos que não trazem os benefícios esperados. Desta forma a existência do problema do lodo de esgoto é um avanço, pois significa que o primeiro passo em direção a solução do problema da poluição já foi dado.

A quantidade e qualidade do lodo produzido por uma ETE depende da vazão de esgoto tratado, das características do esgoto, do tipo de tratamento e da operação da ETE.

Assim, a quantidade de lodo produzido por um sistema pode ser considerada como um referencial da eficiência de operação dos sistemas, os quais prevêem um determinado volume de descarte de lodo. Se o descarte estiver acima ou abaixo deste ideal, reduz a eficiência do sistema. O que ocorre é que em geral, os sistemas são operados com pouca freqüência, retirando-se pequenas quantidades de lodo, comprometendo todo o sistema. Existe portanto, uma relação entre a qualidade do afluente, a produção de lodo e a quantidade do efluente tratado.

Outro aspecto ligado ao processo de tratamento do esgoto e que influi na produção de lodo é a eficiência do processo de pré-tratamento, principalmente se o efluente carrear altos teores de areia e outros materiais de origem mineral.

O correto tratamento e disposição do lodo de esgoto deve fazer parte de todo o programa de tratamento de efluentes urbanos e industriais, para que os objetivos do saneamento sejam efetivamente atingidos. O custo destas operações pode alcançar 60% dos custos operacionais destas estações e portanto não pode ser negligenciado (WEBBER & SHAMES, 1984).

2 ESTABILIZAÇÃO

A estabilização de lodos de esgoto envolve processos físicos, químicos e biológicos. No processo de reciclagem agrícola objetiva a atenuação ou eliminação de algumas características negativas do lodo, principalmente o odor e a atração de insetos. Também pela concentração de patógenos, porém, este, pode ser controlado pela desinfecção.

O **lodo bruto** proveniente do processo de tratamento primário das Estações de Tratamento, é obtido por sedimentação ou flotação e possui coloração acinzentada, é pegajoso, de odor ofensivo e facilmente fermentável.

O **lodo digerido** é aquele que sofreu processo de estabilização biológica obtida por biodigestores anaeróbios ou aeróbios, com redução de SSV superior a 40%. O lodo digerido anaeróbio é de cor marrom escura. Quando bem digeridos, tanto o lodo aeróbio como o anaeróbio, não possuem odor ofensivo.

A tabela 2 apresenta alguns dados típicos da composição química dos lodos crus e digeridos.

TABELA 2 - Composição química típica do lodo cru e digerido.

Características	Lodo primário cru		Lodo digerido	
	Intervalo	Valor médio	Intervalo	Valor médio
Sólidos Totais (ST) %	2,0 - 8,0	5,0	6,0 - 12,0	10,0
Sólidos Voláteis (% de ST)	60 - 80	65	30 - 60	40
Proteínas (% de ST)	20 - 30	25	15 - 20	18
Nitrogênio (% de ST)	1,5 - 6,0	4,0	1,6 - 6,0	4,0
Fósforo (% de ST)	0,8 - 3,0	2,0	1,5 - 4,0	2,5
Potássio (% de ST)	0 - 1,0	0,4	0,0 - 3,0	1,0
pH	5,0 - 8,0	6,0	6,5 - 7,5	7,0
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	500 - 1500	600	2500 - 3500	3000
Ácidos orgânicos (mg/l)	200 - 2000	500	100 - 600	200

Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY, 1991

2.1 PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO

Em função da presença de oxigênio livre no processo de tratamento bioquímico do lodo, pode ser realizado através das seguintes modalidades:

- digestão aeróbia
- digestão anaeróbia

Digestão Anaeróbia

É um processo bioquímico complexo onde diversos grupos de organismos anaeróbio e facultativos assimilam e destróem simultaneamente a matéria orgânica. Normalmente os sólidos em suspensão, fixo e volátil, são removidos da massa líquida afluyente à ETE e

encaminhado para serem processados em digestores, reatores biológicos ou biodigestores, onde é decomposto anaerobicamente, caracterizando o processo de digestão anaeróbia.

Apresenta como objetivos principais a redução ou destruição dos agentes patogênicos, estabilização da matéria orgânica, redução do volume do lodo e dota o lodo com características favoráveis à redução de umidade, através dos processos de separação sólido-líquido. Também reduz o problema de odor e presença de vetores.

Digestão Aeróbia

É um processo de oxidação bioquímica dos sólidos biodegradáveis contidos nos esgotos, na presença de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida, favorecendo, assim, a atividade das bactérias aeróbias na formação do lodo digerido, do gás carbônico e da água. Objetiva principalmente a redução dos sólidos biodegradáveis e odores, bem como deixa o lodo em condições favoráveis à desidratação.

A eficiência da digestão aeróbia é igual, ou maior, do que a digestão anaeróbia no que se refere à redução dos resíduos voláteis contidos no lodo de esgoto. Outras vantagens ainda são apresentadas pela digestão aeróbia como: mais viável economicamente no que se refere à implantação; redução de material graxo, odores e organismos patogênicos; redução na taxa de respiração do lodo.

O processo apresenta como desvantagem maior custo operacional, não permitindo o aproveitamento do gás e por apresentar menor infiltrabilidade o lodo seca com maior dificuldade que no processo anaeróbio.

2.2 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DA ESTABILIZAÇÃO

A Norma Norte Americana 40 CFR Part 503 aponta como parâmetros de estabilização: odor, redução de patógenos, toxicidade, taxa de absorção de O₂, atividade enzimática, DBO, DQO, nitratos, pH e alcalinidade, viscosidade, ATP e DNA, valor calorífico, redução de sólidos voláteis e teor de cinzas. Todos esses parâmetros apresentam vantagens e restrições como indicadores de estabilidade. Pela facilidade analítica são apresentados aqui os parâmetros para análise do teor de cinzas e de sólidos voláteis.

Teor de Cinzas

A questão da freqüência de vetores nos locais de aplicação e estocagem do lodo no campo está associada às más condições de estabilização do lodo, e pode ser avaliado pelo teor de cinzas do lodo, fixado como patamar mínimo para utilização agrícola em 30%, pois, pode ser que mesmo com 30% haja problemas de odor.

Sólidos Voláteis

A eficiência da digestão do lodo também pode ser medida através de um indicador de redução dos sólidos voláteis, sendo o valor atual estabelecido numa redução de 45 a 50%. O alcance destes valores está geralmente condicionado às condições do projeto das unidades, como carga aplicada, tempo de detenção, tipo de homogeneização, facilidade de adensamento e às condições e critérios de operação.

DETERMINAÇÃO DE CINZAS E SÓLIDOS VOLÁTEIS

Metodologia para determinação de cinzas

Para sua determinação, pega-se uma amostra do resíduo, evapora-se o mesmo até restar somente o material seco e que corresponde, aos sólidos totais. Aquece-se fortemente esse material seco e, parte da matéria presente é oxidada (combustão), sendo transformada em CO₂ que se evapora. O material restante que não foi volatilizado, fica sendo definido como Sólidos Fixos (cinzas).

Metodologia para determinação de sólidos voláteis

Os sólidos voláteis são aqueles presentes em uma água residuária e que se volatilizam por calcinação, ou seja, numa temperatura aproximada de 600 °C. Sua determinação é expressa pela diferença do valor dos sólidos fixos (teor de cinzas) em relação aos sólidos totais.

A higienização , que tem como objetivo principal redução de patógenos através dos processos de calagem e compostagem, será melhor enfatizada no capítulo 6 deste manual.

3 REMOÇÃO DA UMIDADE

O tratamento da fase líquida e os processos de estabilização do lodo geram um material com elevado teor de umidade, tornando imperiosa sua desidratação caso haja necessidade de qualquer operação subsequente do tratamento, tendo em vista ainda o transporte do lodo para destinação final.

O processo de remoção de umidade deverá estar adequado às implicações na reciclagem agrícola e deverá ser selecionado em função das características do lodo, do processo de redução de umidade utilizado, do local de destino final do lodo, o aumento do custo do transporte e as características físicas do lodo que irão definir a tecnologia de espalhamento.

3.1 ADENSAMENTO DO LODO

O adensamento do lodo proveniente das unidades de tratamento da fase líquida consiste no aumento da concentração de sólidos nele contidos, através da remoção parcial da quantidade de água que caracteriza o seu grau de umidade. Na maioria dos sistemas, é interessante que o lodo antes de ser desidratado passe pelo sistema de adensamento. É uma alternativa interessante como processo preliminar à desidratação. As alternativas de adensamento incluem o adensamento por gravidade e por flotação.

Praticamente os adensadores por flotação são utilizados somente para o adensamento do lodo ativado em excesso. O uso de flotação aumenta a concentração de sólidos para a faixa de 3-5%. O teor de sólidos de um lodo é um elemento determinante no volume final de lodo a ser tratado e disposto.

A figura 1 mostra a variação do volume ocupado por uma amostra de lodo em função do seu teor de água. Pode-se observar pela curva que quando o teor de sólidos é muito baixo, uma pequena variação deste teor implica em brutal diminuição do volume total. Isto explica o interesse de se construir adensadores, que são capazes de elevar o teor de sólidos de um lodo de 1% para 2,0 - 2,5%. Esta pequena elevação no teor de sólidos implica na verdade em redução de aproximadamente 50% do volume a ser disposto.

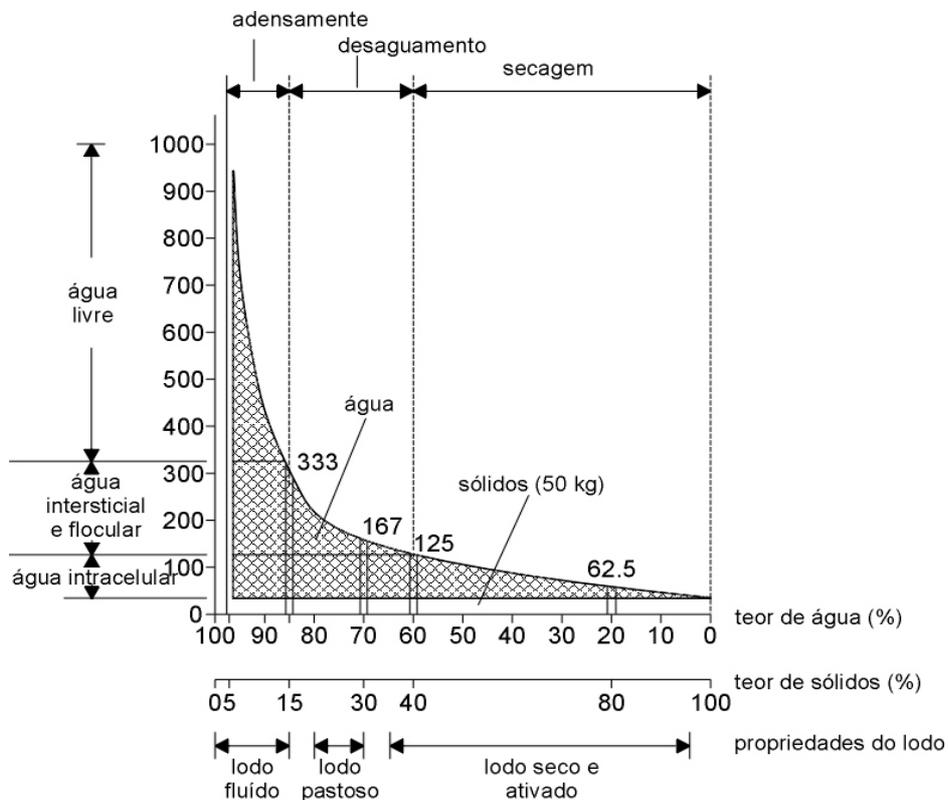


FIGURA 1: Variação do volume de lodo em função do seu teor de água

Diminuindo-se os volumes a serem tratados, são diminuídos os custos de transporte e destino final.

3.2 SISTEMAS DE SECAGEM

O sistema de secagem deve ser selecionado em função da alternativa de disposição final. Neste processo, o principal fator para os custos é o transporte, sendo que, quanto maior o teor de água presente no lodo maiores serão os custos de transporte.

Estes processos podem ser naturais ou mecânicos. Para os pequenos sistemas, os processos naturais são bastante interessante. Os processos mecânicos começam a ser mais vantajosos à medida em que as produções de lodo são maiores e que os espaços disponíveis são restritos.

Sistemas naturais

Os sistemas naturais são dependentes do clima, aspecto que favorece sua adoção em regiões quentes. O lodo também deve estar bem digerido para facilitar a drenagem e não provocar problemas de odores.

Leitos de secagem

Os leitos de secagem são caixas com um sistema de drenagem, sobre o qual é colocada uma camada de britas, seguida de camadas de areia. Sobre a areia normalmente são assentados tijolos perfurados capazes de manter a estabilidade mecânica do sistema e ao mesmo tempo permitir a passagem do excesso de água.

Os leitos de secagem deságuam e secam o lodo combinando a ação de percolação do excesso de água com a evaporação natural. O lodo ao ser removido apresenta teor de sólidos de 40 a 75 % de acordo com o clima e período de secagem, o que significa um lodo bem concentrado. A condição para seu uso é que o lodo seja bem estabilizado, pois desta forma o lodo será facilmente drenável e não apresentará problemas de odores.

Os leitos de secagem geralmente ficam ao ar livre, mas podem também ser dotados de cobertura que impeça a entrada da água de chuva, porém com aberturas laterais para facilitar a evaporação. No Estado do Paraná, vários estudos apontam para um ciclo de secagem com duração de 25 dias.

Lagoas de lodo

As lagoas de lodo são utilizadas para armazenar o lodo digerido, enquanto ocorre a secagem do mesmo. Os sistemas típicos normalmente não contam com sistemas de drenagem de fundo. Em algumas situações apresentam sistema de drenagem lateral.

A secagem ocorre pela evaporação. Quando houver acumulação de água de chuva na superfície, esta deve ser removida por drenos intermediários e voltar ao sistema de tratamento.

O ciclo de secagem pode durar de 3 a 6 meses, em função do clima. O carregamento pode ser contínuo, por vários meses, caso o lodo seja extraído continuamente, ou por bateladas, como no caso da limpeza de lagoas de estabilização.

Sistemas mecânicos

Os sistemas mecânicos necessitam de alguns pré-requisitos para que o lodo seja convenientemente desidratado. Normalmente o lodo, ao ser extraído do sistema de tratamento ou digestão (com teor de sólidos próximo de 1%), deve passar por um processo de adensamento e em seguida, por um condicionamento químico que pode ser mineral ou orgânico.

O condicionamento químico, através de seus mecanismos de coagulação e floculação, conduz à aglomeração de partículas sob a forma de redes tridimensionais, mais fáceis de serem desidratadas. Deve ser adaptado a cada tipo de lodo, em função da composição físico-química e estrutural do lodo e da técnica de desidratação a ser utilizada.

Outra tecnologia de condicionamento, adaptada para grandes estações, é o condicionamento térmico, que consiste no aquecimento criterioso da massa de lodo.

Centrifugação

É feita com base na sedimentação dos sólidos , incrementada pelo aumento da força gravitacional, provocada pelo alto movimento de rotação. Pode ser usada para o espessamento ou desidratação do lodo.

As centrífugas têm sido uma das alternativas mais adequadas para a desidratação de lodos, principalmente devido a sua facilidade de operação e boa consistência do lodo desidratado (20 a 30% de sólidos), podendo ser manipulado como sólido.

Prensa desaguadora contínua

As prensas desaguadoras retiram a água do lodo combinando drenagem da água livre na primeira fase da esteira, seguida de compressão do lodo entre duas esteiras, combinado com cisalhamento.

Algumas variáveis, que influem na performance do equipamento são: tipo de lodo, tipo de condicionador químico, pressão aplicada, características e porosidade da cinta

desaguadora. As configurações são variáveis, mas as larguras das cintas variam de 0,5 a 3,5 m normalmente.

O teor de sólidos da torta varia de 15 a 20%, o que dá ao lodo uma consistência pastosa.

Filtros Prensa

Os filtros prensa são constituídos por várias placas filtrantes, que uma vez preenchidas com lodo, são comprimidas hidráulicamente, o que força a saída da água. As pressões de operação variam de 100 a 250 psig e o tempo de compressão varia de 30 a 60 minutos. O lodo deve ser necessariamente condicionado antes da compressão e a torta resultante apresenta de 35 a 50% de sólidos.

Apesar de sua operação ser um tanto trabalhosa, os filtros prensa produzem tortas de excelente qualidade, conseqüência de sua alta capacidade de concentrar os sólidos.

Secagem térmica de lodos

Teores de sólidos da ordem de 90 a 95% só podem ser obtidos através de secagem térmica. O processo consiste na redução da umidade do lodo através da evaporação da água para a atmosfera, com introdução de energia térmica.

Na secagem térmica o lodo é aquecido para promover a evaporação da água sem destruição da matéria orgânica. Desta forma, os sólidos totais presentes no lodo são mantidos e apenas a água é removida. Consequentemente, o gás exaurido pelo processo é basicamente formado por vapor d'água. O processo também tem a capacidade de eliminar organismos patogênicos, o que o torna um processo muito interessante quando o destino final é a reciclagem agrícola.

A quantidade de energia necessária á secagem varia em função do teor de sólidos na entrada do processo. O ar quente introduzido no início do processo tem temperatura aproximada de 450 °C e 90 a 150 °C na saída.

Os principais tipos de secadores são os secadores rotativos, secadores de dispersão de ar, secadores de leito fluidizado e os secadores de túnel. As diferenças entre estes sistemas diz respeito a como o lodo se movimentava durante a secagem e a forma e granulometria do produto final.

O destino final do lodo gerado nas estações de tratamento tem-se apresentado como um dos principais problemas no processo operacional de uma ETE.

Os seguintes aspectos deverão ser bem conhecidos antes de se decidir sobre a forma e o local de destino final.

- produção e caracterização do lodo gerado na estação de tratamento;
- presença de esgotos industriais no sistema, capaz de atribuir características especiais ao lodo, especialmente no que se refere ao conteúdo de metais pesados;
- quantidade de lodo gerado na estação de tratamento;
- características especiais que possam interferir com o sistema de disposição final.

1 ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL

Existem várias alternativas tecnicamente aceitáveis para o tratamento e disposição final do lodo. A mais comum envolve a digestão anaeróbia que pode ser seguida pela destinação final em aterros sanitários exclusivos, seguida de outras alternativas como o *landfarming*, aterro sanitário, lagoas de armazenagem, a incineração ou a reciclagem agrícola. A disposição oceânica, como forma de disposição final de lodo não foi considerada, pois esse processo já não é mais utilizado por grande parte dos países e a partir de 2005 será uma prática totalmente proibida.

1.1 ATERRO SANITÁRIO

O lodo é simplesmente confinado em células e recoberto com terra. A ausência de oxigênio leva à biodegradação anaeróbia, o que implica em menor velocidade de degradação da matéria orgânica e produção de metano.

É uma alternativa que requer cuidadosos estudos de implantação, necessitando de dispositivos de controle ambiental avançados. O lodo uma vez disposto no aterro deve ser recoberto no mesmo dia para evitar problema de odores, atração de insetos, pássaros, etc.

Os aterros produzem percolados, seja devido ao excesso de água do lodo, ou à infiltração da água da chuva. Caso este percolado atinja o lençol freático, ele pode carrear metais pesados, contaminantes orgânicos, etc. No caso de atingir as águas superficiais, a contaminação também pode incluir nutrientes, o que provoca eutrofização das águas.

Os gases resultantes da biodegradação também devem ser drenados de dentro do aterro e depois queimados ou liberados na atmosfera.

A exigência de áreas para os aterros sanitários é grande. Por exemplo, uma cidade gerando 25 t/dia de lodo em base seca (300.000 - 500.000 habitantes), dependendo da tecnologia de aterro utilizada necessitará de 2 a 20 ha/ano para dispor seu lodo.

Durante seu funcionamento, o aterro deve ter um programa de monitoramento ambiental, que deve prosseguir, inclusive, após o encerramento do aterro. A área após o encerramento pode ser utilizada para várias finalidades como parques, campos de tênis, áreas de lazer, etc.

1.2 INCINERAÇÃO

É um método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica via oxidação, com o objetivo de tornar um resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico, ou ainda eliminá-lo.

É uma alternativa que apresenta elevado custo por tonelada tratada e problemas secundários de poluição atmosférica, restando ainda nesse processo a destinação final das cinzas. Requer cuidados operacionais sofisticados, mostrando-se mais adequada à grandes centros ou em situações onde a qualidade do lodo impede sua reciclagem agrícola, geralmente relacionado ao seu conteúdo de metais pesados.

1.3 LANDFARMING

Neste sistema uma área recebe doses elevadas de lodo por vários anos. O objetivo desta prática é utilizar o solo como um sistema de tratamento. O solo passa a ser o suporte da atividade biológica, retenção de metais, local de exposição ao sol e biooxidação, o que provocará a degradação da matéria orgânica. Neste caso não há interesse a utilização dos nutrientes do lodo.

As doses de aplicação variam de 60-70 t/ano em base seca para as áreas que não tem impermeabilização da camada inferior a 300-600 t/ ano / ha, quando o processo é feito dentro de critérios de *landfarming*, com impermeabilização da camada de solo a 60-80 cm de profundidade. Assim que o lodo é espalhado sobre o solo ele deve ser incorporado superficialmente para facilitar os processos de biodegradação e minimizar o problema de odor e eventual atração de moscas.

É uma alternativa de baixo custo se bem instalada e monitorada, é inócua ao meio ambiente e de simples execução. Não há preocupação em reciclar os nutrientes do lodo, apenas decompor a matéria orgânica no solo. É considerada como uma boa alternativa para um plano de emergência.

1.4 RECICLAGEM AGRÍCOLA

A reciclagem agrícola alia baixo custo e impacto ambiental positivo quando é realizado dentro de critérios seguros. Ambientalmente é a solução mais correta, pois promove o retorno dos nutrientes ao solo, colaborando para o fechamento no ciclo dos elementos.

O valor agrícola dos lodos como insumo agrícola, a sazonalidade das demandas e os custos envolvidos no seu beneficiamento e transporte, assim como um plano gerencial para a atividade e monitoramento ambiental são aspectos relevantes para a análise desta alternativa.

A reciclagem agrícola deve, necessariamente, estar condicionada a regras que definam as exigências de qualidade do material a ser reciclado e aos cuidados exigidos para estabilização, desinfecção e normas de utilização que incluam as restrições de uso. Assim, a regulamentação de uso é um pré-requisito básico para a utilização desta prática que apresenta grandes dificuldades para sua correta definição, de forma a garantir o uso seguro sem, contudo, inviabilizar o processo pelo excesso de exigências.

Segundo EVANS (1998), mais de 50.000 artigos científicos sobre a reciclagem agrícola de esgoto já foram publicados, e nenhum efeito adverso do uso controlado do insumo foi encontrado. As regulamentações de uso asseguram a proteção à saúde animal e humana, a qualidade das colheitas, do solo e do meio ambiente em todo o mundo.

É uma alternativa particularmente promissora para países como o Brasil, onde se faz necessária a reposição do estoque de matéria orgânica dos solos devido ao intenso intemperismo das nossas condições climáticas.

A aplicação das alternativas tecnológicas para a gestão de resíduos, envolve a revisão dos padrões mínimos de qualidade do esgoto recebido na rede, especialmente no que se refere ao seu conteúdo de metais pesados, pois tanto a norma NBR - 9800 da ABNT, quanto a resolução 020/86 do CONAMA não são suficientes para garantir níveis de qualidade de lodo que permitam a sua reciclagem agrícola. A NBR - 9800, por exemplo, somente considera a segurança das tubulações e a não interferência no processo biológico de tratamento de esgoto, sem uma preocupação mais clara com a qualidade do lodo produzido.

Os principais riscos associados à utilização agrícola do lodo referem-se a questão dos metais pesados, aspectos sanitários, micropoluentes orgânicos e nitrogênio. Tanto os metais quanto os agentes patogênicos como ovos de helmintos, esporos de fungos e colônias de bactérias tendem a co-precipitar com o esgoto e se concentrar no lodo.

1 METAIS PESADOS

A principal limitação a ser observada durante a avaliação da possibilidade da utilização de biossólidos em áreas agrícolas se refere à presença de poluentes. Biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não devem ser destinados ao uso agrícola.

Os metais com valores limites no biossólido e acumulados no solo pela aplicação foram selecionados pela EPA (Agência de Controle Ambiental dos E.U.A.), através de resultados das pesquisas desenvolvidas tendo em vista o estabelecimento de critérios para a destinação dos lodos das estações de tratamento biológico de esgotos municipais.

Os metais pesados presentes no lodo podem ter três origens:

- a) Rejeitos domésticos: canalizações, fezes e águas residuárias de lavagem contém alguns metais.
- b) Águas pluviais: as águas de escoamento de superfícies metálicas ou das ruas carregam resíduos de metais dispersos na fumaça de veículos.
- c) Efluentes industriais: são a principal fonte de metais no esgoto, contribuindo com certos tipos específicos de cátions de acordo com a atividade da indústria.

O lodo das estações de tratamento que recebem apenas efluentes domésticos contém pequena quantidade de metais pesados provenientes da própria natureza dos resíduos e das canalizações. Entretanto, além dos níveis naturais, podem ocorrer ligações clandestinas de pequenas fontes de contaminação de metais pesados, tais como: laboratórios fotográficos, fábricas de baterias, tintas, cromagens, que adicionam um determinado nível de metais na rede.

Além dos limites de metais pesados, os lodos de origem industrial são avaliados caso a caso, em função de sua origem, para verificação da eventual necessidade de investigações adicionais quanto à presença de substâncias cancerígenas ou persistentes. Pela legislação brasileira, o empreendedor criador da poluição é responsável pelo seu resíduo, devendo tratá-lo de acordo com as exigências do órgão ambiental. Isto significa que as indústrias geradoras de efluentes líquidos devem tratá-los antes de lançá-los em corpos receptores ou na rede pública de coleta.

Dentre todos os metais pesados, os elementos que oferecem perigo são o Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Zinco (Zn). Os metais podem estar presentes no lodo e tem a sua disponibilidade influenciada por reações como adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução.

Em muitos países, e mesmo no Brasil, a presença de metais pesados é um dos entraves mais fortes à reciclagem. Há de se acrescentar ainda que o equacionamento deste fator problemático depende do controle das descargas industriais na rede de coleta de esgotos.

É recomendação unânime entre as legislações internacionais a manutenção de pH alcalino ou neutro para diminuir a mobilidade de metais pesados do lodo ao solo e do solo às plantas. Critério inviável ao caso brasileiro devido aos solos, caracteristicamente ácidos, e ao sistema de higienização por calagem preconizado no país, o que responde com incremento do pH do solo, e em casos de solo neutralizado, pode causar prejuízo ao desenvolvimento das culturas por incremento excessivo do pH.

A comunidade européia utiliza o pH do solo para a determinação dos valores limite de metais peados (pH de 6 a 7), conforme pode ser observado na tabela 4.

TABELA 4 - Concentração máxima permitida de metais em solos cultivados tratados com lodo de esgoto (mg/kg).

PAÍS	ANO	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Comunidade Européia	1986	1-3	50-140	100-150	30-75	50-300	150-300	1-1.5
França	1988	2	100	150	50	100	300	1
Alemanha ^a	1992	1.5	60	100	50	100	200	1
Itália	1990	3	100	150	50	100	300	---
Espanha		1	50	100	30	50	150	1
Reino Unido ^b	1989	3	135	400	75	300	300	1
Dinamarca	1990	0.5	40	30	15	40	100	0.5
Finlândia	1995	0.5	100	200	60	60	150	0.2
Noruega		1	50	100	30	50	150	1
Suécia		0.5	40	30	15	40	100	0.5
Estados Unidos	1993	20	750	1500	210	150	1400	8
Nova Zelândia	1984	3.5	140	600	35	300	300	1
	1992	3	140	600	35	550	280	1
Canadá (Ontário)	---	1.6	100	120	32	60	220	0.5
Canadá (Quebec)	---	2	---	---	18	50	185	0.5

^a : Os valores são para pH >6. Para pH 5 a 6 os limites para Cd e Zn são 1 e 150 mg/kg, respectivamente.

^b : Os valores mostrados são para pH 6 a 7. Existem outros valores para pH 5 a 6 e >7.

FONTE: McGRATH et al. (1994); DEPARTMENT OF HEALTH (1992); LUE-HING et al. (1992); EPA (1994)

Os principais metais pesados associados ao uso agrícola do lodo são:

Cádmio

É um dos elementos de grande interesse relacionado à aplicação agrícola do lodo, pois, oferece riscos potenciais para a saúde humana. É o metal tido como o mais perigoso, sendo desnecessário ao metabolismo vegetal e animal. Sua concentração média na crosta é de 0,15 ppm. É pouco móvel no perfil do solo.

Uma vez que a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization) recomenda um máximo permitido de 0,057 a 0,071 mg/d, sérios esforços tem sido realizados para assegurar a quantidade do cádmio nos alimentos e na água para não aumentar com as atividades de aplicação agrícola.

Fatores ambientais tais como a temperatura e o pH do solo (considerado como o fator mais importante) podem modificar os níveis e distribuição do cádmio nas plantas. (SHEAFFER et al, 1979; CAST, 1980).

Cobre

É um elemento usualmente encontrado em combinação com proteínas do organismo humano e tem papel na formação de eritrócitos, na liberação de ferro no tecido e desenvolvimento de vários tecidos do corpo.

Embora o cobre seja um elemento essencial às plantas, pode ser tóxico acima de certos níveis, sendo um dos metais menos móveis no perfil do solo.

Molibdênio

Não é considerado como um elemento muito tóxico aos humanos, entretanto, elevadas doses podem resultar em toxicidade crônica. (National Academy Science, 1980).

O lodo de esgoto contém baixos níveis de molibdênio e provavelmente não é a causa da molibdenose em animais, exceto quando são aplicadas altas doses de molibdênio (> 40 mg/kg) no solo através do lodo (CAST, 1976).

Zinco

É um elemento essencial às plantas e animais e do qual muitos solos brasileiros são carentes. As doses tóxicas são elevadas dependendo do pH do solo, sendo que essa toxicidade pode ser manifestada quando o pH for menor que 6,5.

Níquel

O teor de níquel no solo é muito variável dependendo de fatores como a rocha de origem. Sua fitotoxicidade é de 50 mg/Kg no tecido da planta. Como a maior parte dos metais, a dose de níquel pode aumentar com o pH abaixo de 6,5, porém, mesmo mantendo o pH a 6,5 durante a aplicação do lodo, a toxicidade nas plantas pode ser manifestada.

2 SANIDADE

A presença de patógenos é indesejada no lodo quer pelos riscos às pessoas que efetuam a sua manipulação, quer pela sobrevivência dos microrganismos patogênicos após sua aplicação e contaminação das partes das culturas que mantêm contato direto com o biossólido.

Entre os patógenos, são particularmente importantes os estreptococos, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., larvas e ovos de helmintos, protozoários (cistos) e vírus (enterovírus e rotavírus). A sanidade do lodo está intrinsicamente relacionada com o perfil da saúde da população e a sua influência nas condições sanitárias varia conforme o organismo e as condições ambientais.

Enquanto alguns destes patógenos não suportam o ambiente edáfico por mais de algumas horas outros, como ovos de helmintos, podem permanecer viáveis por vários anos. No Brasil, comumente os agentes patogênicos constituem o elemento de limitação ao uso lodo na agricultura. Porém, é o fator mais facilmente controlado através da adoção de soluções técnicas de higienização do lodo que levem à eliminação do patógeno, como a calagem ou a compostagem.

Cada normatização relacionada à sanidade do lodo de esgoto estabelece seus parâmetros restritivos, sendo que no Brasil os Estados do Paraná, São Paulo e Rio Grande do Sul estão com suas normas em processo de elaboração final e cada Estado está adotando valores de acordo com a realidade regional.

No Estado do Paraná, para fins de caracterização do perfil sanitário da lodo, estão sendo estabelecidos os seguintes indicadores: ovos de helmintos e coliformes fecais, sendo o limite especificado na tabela 5.

TABELA 5 - Limite de patógenos presentes no lodo de esgoto para a reciclagem agrícola.

PARÂMETROS	LIMITES
Helmintos (Contagem de ovos viáveis)	0,25 ovos/g MS
Coliformes Fecais	10³ NMP/g MS

Uma vez realizado o controle desses patógenos, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente.

Assim, a utilização do lodo em culturas de contato primário com o solo, só é aceitável se o lodo tiver sido submetido a tratamentos, como a secagem térmica, que garantam uma redução dos patógenos até os níveis estabelecidos.

3 MICROPOLUENTES ORGÂNICOS

Os compostos considerados incluem os hidrocarbonetos aromáticos, fenólicos, pesticidas, polibromenatos, bifênil (PBBs), policlorinato bifênil (PCBs) e outros materiais persistentes altamente tóxicos.

Ao contrário dos materiais orgânicos naturais presentes no lodo bruto, poucos dos sintéticos orgânicos resistem à biodegradação e persistem no lodo e águas residuárias.

A USEPA identificou uma lista com 114 poluentes orgânicos. Eles entram no sistema de esgoto doméstico e industrial e se acumulam no lodo. São potencialmente perigosos para humanos e animais pelas seguintes razões:

- a) Apresentam baixa solubilidade na água e não se movem facilmente no solo;
- b) São relativamente estáveis no solo, porque são resistentes a degradação microbiana;
- c) São solúveis e se acumulam no tecido;
- d) Passam através da cadeia alimentar (solo - planta - animal - homem)
- e) São altamente tóxicos para glândulas mamárias; muitos são carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos.

Com exceção do Policlorinato Bifenil (PCBs) muito pouco se sabe sobre a concentração e destino dos tóxicos orgânicos na esgoto e na aplicação agrícola do lodo.

Os PCBs presentes no esgoto se concentram no lodo durante o tratamento (SHANNON et al, 1976). Eles são absorvidos diretamente pelo intestino humano e animal, e em estudos feitos em animais apresentaram ação mutagênica, teratogênica e carcinogênica (Health and Welfare Canada, 1980).

Uma vez aplicado ao solo, as substâncias orgânicas são submetidas à foto oxidação, volatilização, biodegradação, que muito significam na alteração de sua estrutura e características tóxicas.

Devido à presença dos compostos, a generalização não pode ser feita sobre a habilidade de translocação dentro da planta. Sabe-se, entretanto, que alguns compostos orgânicos tóxicos, são trazidos para dentro da planta direto para as raízes e translocados para a parte aérea.

4 NITROGÊNIO

O Nitrogênio, devido ao elevado teor em que normalmente é observado nos biossólidos é, via de regra, o fator determinante do seu aproveitamento agrícola. Entretanto, cuidados devem ser tomados, pois, taxas muito elevadas deste elemento podem ter grande impacto na qualidade da água subterrânea.

Devido à sua alta mobilidade no solo, o nitrato, decorrente da mineralização do Nitrogênio, desloca-se com facilidade para baixo da zona radicular, podendo atingir as águas subterrâneas.

A presença de concentrações de nitrato acima de 10 mg. L⁻¹ faz com que essas águas sejam classificadas como impróprias para consumo humano conforme Portaria nº 36 de 19 de janeiro de 1990 do Ministério da Saúde.

Deve ser observado ainda, que o Nitrogênio orgânico contido no lodo não é prontamente disponível para as plantas, requerendo-se um conhecimento prévio do comportamento deste após a aplicação do biossólido no solo, de forma que um planejamento seguro desta prática seja realizado (South Carolina Department of Health and Environment Control, 1996)

IV - HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Ricardo G.K. Ilhenfeld

Durante o processo de formação do lodo de esgoto, junto às colônias de bactérias e à matéria orgânica co-precipitam os principais agentes patogênicos e os metais pesados presentes no esgoto. Os processos de remoção de metais do lodo gerado são caros, complexos e pouco eficientes; por esta razão este é um problema a ser solucionado preventivamente através da identificação das fontes geradoras destes materiais e seu isolamento da rede pública de esgoto associado a uma política bastante restritiva de recebimento de esgotos industriais em redes, capaz de garantir a qualidade do lodo produzido.

O gerenciamento da sanidade do lodo, caracterizada pelos principais agentes patogênicos, tais como os ovos de helmintos, cistos de protozoários, colônias de bactérias, hifas de fungos e alguns vírus, é realizado através de métodos de higienização, que devem ser econômicos, seguros e de fácil aplicação prática.

Além do sistema de higienização, o gerenciamento da reciclagem deve considerar a possibilidade de definição de restrições de uso, que devem ser tanto mais rigorosas quanto pior for a eficiência do método selecionado. O solo é um meio inóspito para a maioria dos organismos existentes no lodo, em decorrência da existência de intensa atividade microbiológica, de seres bastante adaptados ao meio pedológico. Por esta razão a maioria dos patógenos apresentam um curto período de sobrevivência no solo, após a incorporação do lodo. Os ovos de helmintos são exceção a esta regra, por possuírem no seu ciclo biológico normal, uma fase de sobrevivência no solo e portanto devem ser o alvo principal de nossas preocupações.

As restrições de uso se referem principalmente a definição de um período de carência entre a incorporação do lodo no solo e a sua utilização agrícola, a proibição do plantio de culturas em que a parte comestível tem contato direto com o solo, como a olericultura, os tubérculos etc e a observância de distâncias adequadas entre as áreas de aplicação de lodo a regiões densamente povoadas e corpos d'água. Conforme a eficiência do sistema de higienização selecionado, não há necessidade prática de nenhum tipo de restrição.

Os demais fatores de restrição, tais como o teor de Nitrogênio e micronutrientes, custos de transporte, critérios de armazenagem e cuidados com o manuseio, são relacionados à prática agrônômica e portanto deverão ser verificados por ocasião da recomendação agrônômica.

1 AGENTES PATOGÊNICOS E TRATAMENTO DE ESGOTO

Os vários processos de tratamento de esgoto resultam em produtos finais com diferentes cargas orgânicas e diferentes quantidades de agentes patogênicos. Destes os parasitos destacam-se como os mais perigosos ao ser humano e animais em razão da sua capacidade de sobrevivência no solo. A tabela 6 apresenta os tempos de sobrevivência dos diferentes agentes patogênicos presentes no lodo.

TABELA 6: Tempo máximo de sobrevivência de agentes patogênicos do lodo no solo.

Agente patogênico	Solo	
	Máximo absoluto	Máximo comum
Bactéria	1 ano	2 meses
Vírus	1 ano	3 meses
Cistos de protozoários	10 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos

Fonte : Kowal, EPA/600 1 – 85/015

Além do tipo de tratamento do esgoto adotado, as condições sócio-econômicas e sanitárias da população, a presença de animais no sistema, a concentração e tipo de matéria orgânica e o teor de sólidos (matéria seca) ou quantidade de água, são fatores importantes na contaminação do lodo gerado pelo processo de tratamento.

Os principais parasitos presentes no lodo compreendem:

Nematóides: *Ascaris* spp., *Ancylostoma duodenale*, *Neeator americanus*, *Trichuris trichiura*, *Toxocara canis* e *Trichostrongylus axei*. Estes parasitos podem causar desde distúrbios digestivos e nutricionais até gastrite e úlceras gástricas.

Cestóides: *Taenia* spp., *Hymenolepis* spp., *Echinococcus granulosus*. Os sintomas provocados por estes organismos no homem, compreendem problemas digestivos, hepáticos e pulmonares anorexia, emagrecimento até sintomas nervosos sendo o mais grave a neurocisticercose provocada por *Taenia solium*.

Protozoários: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Toxoplasma gondii*, *Balantidium coli*, *Cryptosporidium*. Estes protozoários são responsáveis por problemas como enterite aguda, diarreia, perda de peso, alterações de sistema nervoso, gastroenterite.

2 FATORES DESINFECTANTES DO LODO DE ESGOTO

Entre os diversos princípios capazes de promover a desinfecção do lodo, três fatores se destacam como mais indicados: a temperatura, o pH e a radiação. Sob determinadas condições ambientais, estes fatores apresentam faixas em que os organismos se mantêm

presentes ou em desenvolvimento no lodo, e desde que quebrado este equilíbrio, os organismos são destruídos. A intensidade e o tempo em que estes fatores são impostos à massa de lodo de esgoto determinam a eficiência da desinfecção. Assim, a modificação destes fatores nos lodos constituem-se nos princípios dos métodos de desinfecção. Na tabela 7, são apresentados a temperatura e o tempo necessários para a destruição dos organismos patogênicos encontrados no lodo de esgoto.

TABELA 7: Temperatura e tempo de manutenção para a destruição de alguns organismos.

Organismo	Tempo (min.)	Temperatura (°C)
1. <i>Salmonella typhosa</i>	Instantâneo	55 a 60
	30	46
2. <i>Salmonella spp.</i>	15 a 30	60
	60	55
3. <i>Shigella</i>	60	55
4. <i>Escherichia coli</i>	5	70
	15 a 20	60
	60	55
5. <i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	Instantâneo	68
6. <i>Taenia saginata</i>	5	71
7. <i>Trichinella spiralis</i> (larvas)	Instantâneo	62 a 72
	60	50
8. <i>Necator americanus</i>	50	45
9. <i>Brucella abortus</i>	50	45
10. <i>Streptococcus fecalis</i>	60	70
11. <i>Coliformes fecalis</i>	60	70
12. <i>Ascaris spp.</i> (ovos)	60	55
	7	60

O pH, ou a concentração hidrogeniônica, que define a acidez ou alcalinidade, tanto do solo quanto do lodo, também constituem-se em um eficaz agente de desinfecção. Os organismos patogênicos expostos a níveis extremos de pH, seja básico ou alcalino, tendem a ser destruídos. Da mesma forma que a ação da temperatura, as alterações mais intensas do pH demandam um menor tempo de contato, para a obtenção da eficaz higienização do material. A adição de cal virgem na proporção de 50% do peso seco do lodo eleva o pH da massa de lodo calado para níveis acima de 12,0, resultando na destruição dos principais agentes patogênicos incluindo larvas e ovos de helmintos. É importante salientar que a calagem reduz a contagem de ovos de helmintos, porém desde que respeitados os períodos de carência, que são variáveis segundo a dosagem de cal, os ovos remanescentes não apresentam viabilidade biológica, ou seja, são ovos mortos que não apresentam potencial infectivo.

A eficiência da exposição direta aos raios solares é apresentada como uma das alternativas para redução de patógenos no lodo. Ocorre contudo, que esta alternativa de desinfecção está intimamente relacionada com as condições ambientais locais. Estudos estão sendo desenvolvidos para determinar a eficiência da radiação solar na desinfecção, nas

condições brasileiras. Outras fontes de radiação utilizadas, como os raios β e γ (Co 60 ou Ce 139), também podem ser utilizados, através de equipamentos específicos para tal fim.

3 PROCESSOS DE DESINFECÇÃO

Os processos mais econômicos de desinfecção baseiam-se na alteração dos parâmetros que promovem a inviabilização ou destruição dos agentes patogênicos, alterando, pelo menos por algum tempo, as condições químicas e físicas do material, principalmente pH e temperatura. É importante ter em mente que o elemento mais importante do lodo, do ponto de vista agrônomo, é o nitrogênio. Este é perdido de duas formas: a volatilização na forma de amônia e a lixiviação na forma de nitrato. Tanto a elevação da temperatura como a do pH aceleram as perdas por volatilização, que aumentam com o decorrer do tempo.

3.1 COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo biológico de degradação da matéria orgânica. Os microrganismos degradam a matéria orgânica contida no lodo puro ou em mistura com outros resíduos orgânicos (palhas, serragem, resíduos de jardinagem e podas de jardins, parques e praças, parte orgânica do lixo urbano etc.) em processos exotérmicos gerando calor, e consequentemente aumentando a temperatura das leiras. Experimentos utilizando restos vegetais e lodo apresentaram aumentos de temperatura até alcançar a fase termófila, o que promove a eliminação dos organismos patogênicos presentes no lodo, desde que por um período de tempo compatível.

Para se fazer a compostagem, deve-se misturar o lodo com resíduos orgânicos (restos vegetais picados, palha, bagaço de cana, etc.), misturando-se bem os componentes. É conveniente que o material orgânico seja picado e resulte em pedaços com comprimento de 0,5 a 4,0 cm, para permitir boa aeração, que é fundamental para a atividade dos organismos. A atividade dos organismos depende também de boa umidade, sendo indicada entre 55 e 65%.

A atividade microbiana consome nitrogênio na degradação e re-síntese de matéria orgânica. O carbono é retirado dos resíduos e o nitrogênio é fornecido pelo lodo. O equilíbrio ideal, ou bom estado nutricional do composto, apresenta uma relação C/N entre 20 e 30, ou seja, 20 a 30 unidades de Carbono para uma unidade de Nitrogênio.

A temperatura acima de 60°C deve ser mantida por um período de, no mínimo, 10 dias. Quando a atividade biológica diminui, a temperatura também diminui. Nesta fase devemos revolver a leira do composto para promover a aeração e a mistura dos materiais. Se o composto aquecer é porque o processo não chegou à estabilidade. Se a temperatura se manter estável, é porque o composto está pronto.

Na prática, para acompanhar a atividade biológica, utiliza-se enterrar mais de 0,5 m uma barra de ferro de construção na leira, deixando uns 20 ou 30 cm para fora. Ao tocarmos a barra, se atividade biológica for alta, a temperatura estará em torno de 60°C. Esta temperatura é o limite em que tendemos soltar a barra porque está atingindo um nível de temperatura desconfortável. Se o desconforto não for tão grande assim, a temperatura e a atividade biológica são baixas ou está reduzindo - está na hora de revirar a leira ou o composto está estável.

Acredita-se que neste método as perdas de nitrogênio são baixas, já que há uma ciclagem do elemento, principalmente das formas nítricas e amoniacais para as diversas formas orgânicas, que mais tarde vão liberar lentamente N para o solo. A tabela 8, demonstra a eficiência da compostagem no processo de desinfecção para redução de salmonela, estreptococos, coliformes totais e fecais.

TABELA 8: Redução de *Salmonella* spp. estreptococos fecais e coliformes totais no sistema de compostagem com resíduo verde e lodo aeróbio digerido da ETE Belém, para o período de dia 0 e ao final da fase termófila - dia 30.

	Dias do experimento	<i>Salmonella</i> spp P/A	Estreptococos Fecais NMP / 100mL	Coliformes Totais NMP / 100g	Coliformes fecais NMP / 100g
Leira 1	0	Ausente	$\leq 1,6 \times 10^7$	$\geq 5 \times 10^8$	$\leq 5 \times 10^8$
	30	Ausente	$3,42 \times 10^8$	$3,22 \times 10^8$	<200
Redução			78,62%	35%	99,9%
Leira 2	0	Ausente	15×10^6	$\geq 6,86 \times 10^8$	$3,86 \times 10^8$
	30	Ausente	$3,6 \times 10^6$	$6,42 \times 10^7$	<200
Redução			76%	90,6%	99,9%
Leira 3	0	Ausente	$\geq 4,77 \times 10^7$	$\geq 4,77 \times 10^8$	$5,07 \times 10^7$
	30	Ausente	$7,8 \times 10^5$	$1,4 \times 10^8$	$3,65 \times 10^5$
Redução			83,64%	70,6%	99,28%
Leira 4	0	Ausente	$5,73 \times 10^7$	$\geq 5,73 \times 10^8$	$> 5,73 \times 10^8$
	30	Ausente	$2,8 \times 10^6$	4×10^7	<200
Redução			95%	93%	99,9%

P/A = presença ou ausência em 25 g de amostra *in natura*
 NMP/100gPS = número mais provável em 100g de peso seco
 Fonte: ANDRAUS et al., 1999.

O resultados apresentara uma média de redução para estreptococos de 83%. Os coliformes totais mostraram redução de 72,3% e os fecais, uma redução de 99,8%, demonstrando a eficiência da compostagem na remoção das bactérias entéricas presentes no lodo.

Assim, a compostagem, nas condições realizadas, apresenta um produto final com excelentes características agronômicas, mostrando-se bastante segura quanto a eliminação de patógenos. presentes no lodo. O composto obtido pode ser utilizado para qualquer tipo de atividade agrícola sem riscos para saúde humana e animal.

3.2 CALAGEM

A calagem do lodo é o processo de higienização que consiste na mistura de cal virgem (de construção) ao lodo em proporções que variam de 30 a 50% do peso seco do lodo. Neste caso, três fatores intervêm no processo de desinfecção: inicialmente a alteração da temperatura, a mudança do pH da massa resultante (mistura Lodo e Cal) e finalmente a ação da amônia que será formada a partir do nitrogênio do lodo em condições de temperatura e pH elevados.

O cal em contato com a água contida no lodo resulta em uma reação exotérmica, ou seja, que gera calor. Assim, a temperatura se eleva durante alguns dias, até a mistura estabilizar-se. Evidentemente que este efeito é dependente da qualidade e da proporção do Cal utilizado em relação a quantidade de lodo. Se o processamento do cal não for bem executado, parte do produto não é cal (CaO), mas sim calcário (CaCO₃), que tem uma velocidade de reação bem mais lenta.

Na calagem de lodo, nos experimentos do PROSAB/SANEPAR, observou-se que o limite mínimo de umidade (%água) do lodo, que promove uma boa reação com o cal, é um teor próximo a 70%. Teores de umidade menores não apresentam quantidade de água suficiente para que a mistura atinja temperaturas muito altas, reduzindo o efeito desinfetante.

Outra razão da desinfecção é a elevação do pH da mistura. O lodo calado a 50% do seu peso seco apresenta pH ligeiramente acima de 12,0. Neste nível de pH a totalidade dos patógenos são eliminados, desde que o tempo de ação seja adequado. Os estudos sugerem um prazo de 60 dias de armazenagem após a mistura. É importante citar que a calagem é eficiente na estabilização acelerada do lodo, eliminando os maus odores.

A tabela 9 mostra a eficiência da calagem para a redução de ovos de helmintos presentes no lodo de esgoto.

TABELA 9. Número, percentuais de viabilidade e de redução de ovos de helmintos, em lodo aeróbio digerido calado a 50%, proveniente da ETE Belém.

AMOSTRA	DATA DE COLETA	pH	PESO SECO (g)	OVOS DE HELMINTOS gMS	VIABILIDADE %	REDUÇÃO %	OVOS HELMINTOS VIÁVEIS/gMS
Lodo	26/11/96	7,3	6,72	12,19	74	----	9,02
Dia 0	26/11/96	12,5	12,53	0,84	40	----	0,34
Dia 02	28/11/96	12,5	13,23	1,12	40	0	0,45
Dia 15	12/12/96	12,5	14,93	2,75	24	39	0,67
Dia 30	27/12/97	12,13	17,72	1,24	6	84	0,08
Dia 60	27/01/97	10,5	13,25	1,89	0	100	0
Dia 90	27/02/97	9,51	16,25	0,94	0	100	0

Fonte: THOMAZ-SOCCOL et al., 1999.

Os resultados indicam uma eficiência de 100% de redução da viabilidade dos ovos encontrados.

O contato da amônia produzida a partir do Nitrogênio do lodo é também um fator de desinfecção, que apresenta maior eficácia quanto maior o tempo de exposição dos agentes

patogênicos. A amônia é um dos fatores de higienização do lodo e portanto sempre que possível as pilhas de armazenagem devem ser cobertas com lonas plásticas que ao mesmo tempo em que reduzem as perdas, aumentam a eficiência da desinfecção por ampliar o tempo de exposição dos patógenos a ação da amônia. Esta cobertura também evita a exposição o lodo às precipitações atmosféricas, que podem umedecer o material, como pode atenuar os efeitos de eventuais episódios de exalação de maus odores, comuns em lodos que não estejam devidamente estabilizados.

4 PROCESSAMENTO DO LODO PARA USO AGRÍCOLA ATRAVÉS DA CALAGEM

As seguintes fases no processamento do lodo de esgoto para o uso agrícola, podem ser definidas: determinação e acompanhamento da umidade média e consistência; estimativa de matéria seca por unidade de área de leito de secagem; adição do cal; mistura; armazenagem e maturação.

4.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE E CONSISTÊNCIA DO LODO NO LEITO DE SECAGEM

A determinação da umidade do lodo é fundamental para correlacionar o teor de umidade e a consistência do lodo. Conforme vimos anteriormente, a existência de torrões de lodo seco são indesejáveis no processo de desinfecção. É importante observar que cada lodo, de cada estação, são diferentes, em função principalmente do sistema de tratamento (de esgoto e de lodo) adotado, do clima e das condições sócio-econômicas da população servida pela rede de esgoto. Os lodos das regiões de Paranavaí e Guarapuava no estado do Paraná, são completamente diferentes tanto nos aspectos químicos quanto físicos. Mesmo dentro de uma mesma cidade, como Londrina, as características variam, dependendo da região. Assim, algumas determinações de umidade e consistência são necessárias para o operador da estação, ou o responsável pela calagem. É possível ainda uma estimativa da umidade a partir da consistência, relação esta que deve ser avaliada para cada tipo de lodo.

O método de determinar a umidade a ser adotado dependerá do material disponível em cada estação de tratamento.

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO LODO

COLETA: Amostra-se de 0,5 a 1,0 kg de lodo em 3 ou 4 pontos no leito de secagem, evitando-se material próximo às bordas do leito. É imprescindível fazer a coleta de uma "fatia" do lodo no leito que inclua desde o lodo superficial até a máxima profundidade, pois a parte superior normalmente terá um teor de menor umidade que a parte inferior da amostra. Estas amostras devem ser coletadas com o uso de luvas e botas de borracha (EPI) e condicionadas diretamente nos recipientes utilizados na secagem, normalmente em bandejas de alumínio, previamente numeradas e pesadas.

PROCEDIMENTO: A amostra de lodo deverá ser espalhada na bandeja, deixando uma camada de aproximadamente 1 cm. Pesa-se a bandeja com o lodo e deduz-se o peso da bandeja, anotando-se este peso como peso úmido (**PU**). Para o procedimento com a secagem em estufa recomenda-se regular o termostato para 60 a 65 °C, podendo-se obter o peso seco em 24 a 30 horas. Após a secagem em estufa pesa-se a bandeja com o lodo seco e deduz-se o peso da bandeja, obtendo-se o peso seco (**PS**).

CÁLCULO: Para cálculo da percentagem de água ou umidade (U%), utiliza-se a fórmula:

$$U(\%) = \frac{PU(g) - PS(g)}{PU(g)}$$

A umidade média do lodo no leito é a média das umidades obtidas em todas as amostras.

MÉTODO SIMPLIFICADO DE SECAGEM : consiste em utilizar uma bandeja baixa (alumínio do tipo forma de bolo), a qual deve ser numerada e pesada. Após espalhar a amostra na forma, pesa-se a bandeja com a amostra, deduz-se o peso da bandeja e anota-se o peso úmido (**PU**). Posiciona-se uma lâmpada de secagem de tinta automotiva (250W) no centro da forma e a 15 ou 20 cm de altura da superfície da amostra de lodo. Fazer o revolvimento do material pelo menos duas vezes e após 2 dias, o lodo estará seco. Pesa-se a bandeja com lodo seco e deduz-se o peso da bandeja, tomando-se o resultado como peso seco (**PS**).

Recomenda-se a calagem quando a umidade média do lodo no leito esteja próxima a 60 a 70%. Inicialmente as amostragens para determinação da umidade podem ser feitas a partir do 7.º dia a partir da descarga no leito em leitos situados na região acima do paralelo 24ºS. Abaixo deste paralelo, o clima tende a ser mais frio e úmido, o que resulta em um período maior de secagem, assim, recomenda-se iniciar as amostragens para determinação de umidade a partir do 14.º dia.

4.2 ESTIMATIVA DO TEOR DE MATÉRIA SECA POR UNIDADE DE ÁREA DE LEITO DE SECAGEM

A retirada do excesso de lodo é uma operação indispensável para a boa eficiência da atividade biológica nos sistemas de tratamento, ou seja, todas as estações de tratamento devem produzir lodo. Esta produção bem como a frequência de retirada é variável segundo o sistema adotado e também depende de outros fatores onde se destacam as características do esgoto e as condições climáticas. Assim, em cada estação há uma periodicidade no esgotamento e o teor de sólidos do lodo conduzido ao leito de secagem é mais ou menos constante. Os sólidos são distribuídos quase uniformemente em todo o leito. Como a dosagem do cal é estabelecida em função da quantidade de matéria seca (de 30 a 50%), o espalhamento do cal, no momento da calagem, facilita a operação de mistura, seja qual for o método utilizado.

Para se estimar a quantidade de matéria seca padrão de cada estação, é necessário estabelecer alguns critérios: (a) esgotar o lodo no momento correto e na periodicidade requerida; (b) encher o leito sempre na mesma altura de esgotamento; e, (c) amostrar com precisão a relação área X volume X matéria seca.

Os dois primeiros requisitos são estabelecidos no projeto da estação e no monitoramento inicial da operação.

ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE MATÉRIA SECA

PROCEDIMENTOS

1. Demarca-se em 4 a 6 locais dentro do leito de secagem, onde serão retiradas as amostras, evitando-se amostragens muito próximas entre si e também das bordas do leito.
2. Em cada local de amostragem, demarca-se uma superfície de 20 cm 20 cm, retirando todo volume da amostra nesta área; recomenda-se medir, em pelo menos 2 lados, a altura da amostra. Anotar a média das duas medidas.
3. As amostras são pesadas (descontando-se o peso do recipiente) e anotados os respectivos pesos úmidos, e posteriormente levadas a secagem forçada (bandeja sob lâmpada ou estufa); caso seja bandeja com lâmpada, recomenda-se deixa em secagem por 3 dias, devido ao maior volume que na simples determinação da umidade).
4. Após a secagem, pesa-se, deduz-se o peso do recipiente, e obtém-se o peso seco. Soma-se todos os pesos secos para obter o peso seco total.

CÁLCULO: Utilizando a fórmula abaixo, obtém-se a quantidade média de matéria seca por unidade de área, expresso em kg/m²:

$$\frac{PS}{m^2} = \frac{PSt}{N \cdot A}$$

N = número de amostras; **A** = somatório das áreas amostradas (se todas forem regulares 0,20 x 0,20 m, A =0,04 m²).

PSt = somatório do peso seco das amostras (em Kg)

A estimativa do peso seco total do leito é obtida multiplicando-se o PS/m² pela área do leito (em m²).

Durante os dois primeiros anos, é conveniente proceder-se esta estimativa todas as vezes que se proceder a calagem. Com o passar do tempo, caso o valor do peso seco / m² não varie, pode-se passar a estimá-lo uma vez por ano.

É possível também estimar a umidade pela altura que o lodo apresenta dentro do leito de secagem. É necessário desenhar uma régua graduada em uma das paredes internas do leito de secagem e anotar a altura do lodo, sempre que as medidas de umidade sejam realizadas. Quando for realizado o descarte do lodo deve-se anotar o teor de sólidos e para cada teor de sólidos fazer uma correlação da altura do lodo com o teor de umidade. Esta medida se caracteriza como uma informação preliminar estimativa, que pode ser muito útil na prática operacional dos sistemas de higienização.

4.3 ADIÇÃO DO CAL

Utilizam-se doses de cal virgem de 30 a 50% do peso seco. Dosagens maiores exigem menor tempo de contato com o lodo para proceder tanto a desinfecção quanto a estabilização do material. Recomenda-se dosagens de 50% do peso seco para um período de armazenagem de 60 dias. As pesquisas que definirão o aumento deste tempo para dosagens menores, ainda encontram-se em andamento.

QUANTIDADE DE CAL

Se a calagem for a 50%, ou seja, peso de cal virgem = 50% do peso seco, utiliza-se a seguinte relação para saber a quantidade de cal por m^2 (**Q_{cal}/m^2**):

$$Q_{cal} (Kg/m^2) = 0,5 \cdot PS (Kg/m^2)$$

A necessidade de cal para a calagem de todo lodo do leito é (Q_{Tcal}):

$$Q_{Tcal} (Kg) = Q_{cal} \cdot \text{Área do Leito} (m^2)$$

Na aquisição do cal, é importante fazer um teste para verificar sua qualidade, misturando uma pequena quantidade (100 a 150 g) em $\frac{1}{2}$ litro d'água. Se não ferver, a cal não tem boa qualidade. O ideal contudo é a realização de testes em laboratórios específicos para análise da qualidade da Cal.

A cal deverá ser distribuída homogeneamente em toda superfície do leito. Esta distribuição é feita manualmente. Imediatamente após a distribuição do cal, o lodo calado deve ser removido do leito de secagem, pois a cal poderá colmatar o leito de secagem.

4.4 MISTURA DO LODO COM O CAL

A retirada do lodo com o cal é feita manualmente. Há três formas de se proceder a mistura na calagem: a mistura manual, com o uso de betoneira ou com misturador-moedor.

A mistura manual

É feita utilizando-se pá e enxada. Adiciona-se cal na superfície do lodo, ainda dentro do leito, e mistura-se o lodo com o cal fazendo um monte, sempre que possível fora do leito de secagem. O monte somente poderá ser realizado no leito caso seu teor de sólidos seja bem elevado, porém deve ser retirado logo em seguida, para evitar o problema da colmatação. É sempre necessário misturar bem a massa, acompanhando-se a temperatura do(s) monte(s). Toda vez que a temperatura começa a decair, muda-se, manualmente, o monte de lugar. Esta mudança de lugar promoverá nova homogeneização, o que deverá desencadear nova reação. Três mudanças de local, considerando-se a primeira mistura, em um período de 14 dias, são suficientes para boa homogeneização. É importante frisar que este método tende a ser o menos eficiente em termos de homogeneização, e, portanto, provavelmente de desinfecção, decorrente da dificuldade de mistura da massa. Recomenda-se utilizar este método quando não se dispõe de betoneira ou misturador.

O uso de betoneira

É mais indicado que a mistura manual, onde a operação da mistura do lodo com o cal é realizada de forma semelhante a confecção de argamassa na construção civil. Em uma betoneira média adiciona-se uma quantidade de aproximadamente 80 Kg de lodo e cal, na proporção escolhida que deve ocupar aproximadamente 40% do espaço interno da betoneira. A mistura deverá ser feita por um tempo mínimo de 3 minutos, ou quando o cal estiver visivelmente homogeneizado à massa. A coloração do lodo, inicialmente escura, passa a cinza homogênea. Os resultados de análises parasitológicas do lodo calado com betoneira, a 50% do peso seco, tem apresentado eficiência de 100% na desinfecção, decorrido o período de 60 dias. Evidentemente que isto ocorrerá se o cal for de boa qualidade.

O misturador-calador

É um equipamento semelhante ao misturador utilizado na indústria cerâmica, conhecido como maromba. Seu funcionamento é contínuo e pode-se acoplar uma esteira rolante para facilitar a retirada de lodo de qualquer local dentro do leito para o misturador. É

muito importante que o misturador tenha um sistema que permita a regulagem da dose de cal, pois desta forma poderá ser utilizado para os lodos produzidos em leitos de secagem, com a mistura de cal realizada como foi descrito anteriormente, como para realizar a dosagem e a mistura em uma única operação, para o caso de lodos secos através de equipamentos específicos, tais como centrífugas, desaguadoras contínuas ou filtros prensa.

4.5 ARMAZENAGEM E MATURAÇÃO

Após a mistura, o lodo deverá ser disposto em um ou mais montes, e cobertos com lona plástica. Esta cobertura tem os seguintes objetivos de: reter o calor; evitar o umedecimento (chuvas) e reter a amônia. Esta prática também é capaz de minimizar eventuais problemas de odor. Os montes deverão ficar cobertos até que ocorra a redução e a estabilização da temperatura .

A formação do gás amônia e portanto as perdas de nitrogênio é inevitável, decorrente do aumento de temperatura e pela reação química dos compostos nitrogenados contidos no lodo, desencadeada aumento do pH decorrente da adição do cal. Este gás também tem um efeito desinfetante, assim, embora hajam perdas de nitrogênio com a calagem, a cobertura propicia um aumento da eficiência da desinfecção pois aumenta o tempo de contato do gás com os organismos patogênicos e ainda uma redução destas perdas pelo aumento da concentração de nitrogênio na micro atmosfera interna.

No caso de lodos que não apresentarem um boa estabilidade, há possibilidade formação de odores agressivos especialmente durante o período de armazenagem . Além dos problemas diretos causados pelo cheiro, que é um dos principais fatores de resistência dos agricultores ao uso do lodo, o odor é o elemento que defini o potencial de atração de vetores. Os eventos negativos relacionados ao cheiro devem ser evitados através de um rigoroso controle da estabilidade do lodo; os materiais que não atendam aos requisitos de estabilidade (que pode ser avaliado através do teor de cinzas ou através dos voláteis) devem sofrer um prévio processo de estabilização ou ter outra forma de disposição final, como aterro sanitário, *land farming*, incineração etc.

No caso de ocorrer um episódio de formação de maus odores em lodo armazenado no campo, os procedimentos emergenciais recomendados são: colocar uma camada de cal na superfície e cobrir o material com lona plástica. Se a quantidade for pequena e caso as condições ambientais da vizinhança assim o permitam, o espalhamento seguido imediatamente de incorporação no solo reduz drasticamente os efeitos de cheiro em poucas horas.

Dependendo da opção de transporte, o lodo calado poderá ser ensacado logo após a mistura, com betoneira ou misturador. No caso da mistura ser feita manualmente, o ensacamento deverá ser feito após as homogeneizações (trocas de local dos montes), quando a temperatura diminuir.

A armazenagem para maturação do lodo, ou tempo necessário para a desinfecção e maturação, deverá, preferencialmente, ser feita na própria área da estação, evitando que um produto ainda contaminado seja transportado para as áreas agrícolas. Sob condições normais, observa-se que um período de 60 dias é suficiente para que se complete a higienização através da destruição dos agentes patogênicos, tornando o lodo apto para ser transportado e utilizado.

5 OUTROS MÉTODOS

Outros métodos podem ser empregados na desinfecção, apresentando diferentes níveis de eficiência. Os próprios sistemas de estabilização do lodo de esgoto promovem a redução de agentes patogênicos. Outras alternativas como o uso de radiação e alternativas térmicas apresentam grande eficiência e segurança porém com custo geralmente elevado.

A digestão aeróbia do lodo consiste na introdução de oxigênio em digestores, com um tempo médio de retenção de 40 dias a 20° C ou de 60 dias a 15 ° C. No caso da digestão anaeróbia o lodo é estabilizado em ausência de ar, com um tempo médio de 15 dias para temperaturas entre 35 ° C a 55 ° C. A simples secagem ao ar é também um método de redução de patógenos

Embora a exposição do lodo aos raios solares seja um método reconhecido de higienização, a sua eficiência ainda não foi estudada nas condições brasileiras. Este sistema apresenta naturalmente uma grande dependência das condições climáticas, do tempo de exposição, da espessura da camada de lodo e de seu teor de sólidos. Para a definição de parâmetros de utilização ainda necessitamos do desenvolvimento de estudos locais para adaptar e desenvolver as técnicas disponíveis.

Outras fontes de radiação utilizadas, como os raios β e γ (Co 60 ou Ce 139), aplicando-se 1 Mrad a 20°C, são apresentadas pela literatura como dosagens eficientes para a destruição dos patógenos. Este sistema de desinfecção apresenta grande eficiência na remoção de patógenos porém apresenta como principal fator limitante o seu elevado custo.

Os métodos térmicos em geral estão associados a alternativas de secagem. Os métodos convencionais, embora apresentem grande eficiência tem dificuldades na viabilidade econômica tanto para a sua implantação quanto aos custos operacionais. Deve

sempre ser considerado que reduções drásticas da umidade do lodo, implicarão em grande economia no transporte do material produzido até as áreas de aplicação agrícola, que em geral é o principal componente do custo desta alternativa de disposição final.

O tratamento térmico clássico do lodo, consiste no aquecimento do lodo líquido a uma temperatura de 180 °C por 30 minutos. A pasteurização é a manutenção do lodo a 70 °C , durante um período de 30 minutos. As alternativas de secagem térmica apresentam eficiência variável segundo o tempo de exposição e a temperatura obtida: para temperaturas menores são requeridos tempos mais longos.

Estão sendo pesquisadas alternativas de secagem através de leitos de secagem associado a estufas solares que podem ter sua temperatura aumentada, com a introdução de queimadores, que utilizam o biogás produzido em sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto. Pelo fato desta concepção de sistema de secagem utilizar um insumo que em geral é lançado no ambiente, sua economicidade pode ser viabilizada.

A reciclagem agrícola de biossólidos depende de diversos fatores que necessariamente devem ser considerados, para garantir que esta alternativa de disposição final atenda os requisitos agrônômicos, ambientais e sanitários, sem comprometer a sua viabilidade econômica. Inicialmente devemos considerar que quando esta alternativa é selecionada, o gestor do saneamento está assumindo uma responsabilidade com o produtor rural e de maneira geral com toda a sociedade, em oferecer um produto de boa qualidade. O uso de lodo na agricultura não pode ser entendido simplesmente como uma forma de se livrar de um problema urbano, mas ao contrário, como o compromisso em produzir um insumo de boa qualidade, que traga benefícios a produção agrícola garantindo a qualidade ambiental das áreas onde for utilizado, dos produtos produzidos e a segurança ao produtor rural.

A nova legislação ambiental responsabiliza o produtor dos resíduos, pelos efeitos que possam causar no ambiente a curto, médio e longo prazo, independentemente de quem realiza a gestão da atividade de disposição final. Assim o gestor do serviço de saneamento deverá manter registros que comprovem a qualidade dos biossólidos produzidos, relacionando os lotes de lodo às áreas onde forem aplicados, de forma a possibilitar a comprovação da adequação desta atividade em qualquer tempo.

A gestão de resíduos depende também de um adequado planejamento que considere o contexto agrícola regional e as condições ambientais, em relação as características dos biossólidos produzidos para planejar e controlar adequadamente esta atividade. No Estado do Paraná, a regularização ambiental da reciclagem agrícola de biossólidos está apoiada na análise e no acompanhamento do chamado "Plano de Gerenciamento de Biossólidos" que a partir de um diagnóstico da produção e qualidade do lodo produzido, das características ambientais e da agricultura regional detalha os principais procedimentos da reciclagem agrícola. Estes procedimentos incluem a alternativa de higienização selecionada, o levantamento da aptidão dos solos para o recebimento de lodo, a forma de seleção de agricultores, os critérios de verificação dos fatores limitantes e de recomendação agrônômica, a logística de transporte do lodo e o sistema de monitoramento.

Finalmente devemos ter em mente, que a adequada utilização de lodo de esgoto como fertilizante necessita de uma boa orientação técnica ao produtor, de forma a possibilitar a análise dos diferentes fatores limitantes, que definirão as doses de biossólidos a serem aplicadas, a complementação mineral necessária, as corretas práticas agrônômicas e os cuidados que devem ser observados. A correta aplicação dos elementos nutrientes pode definir a diferença entre uma dose que traga benefícios a outra que possa causar danos ambientais. Elementos presentes no lodo, tais como o Nitrogênio e micronutrientes são

essenciais ao desenvolvimento das plantas, contudo em níveis exagerados de aplicação, podem determinar a redução da fertilidade e a contaminação ambiental. Por esta razão, é exigido no Paraná a recomendação agrônômica para qualquer aplicação de biossólidos na agricultura.

Os principais fatores limitantes da reciclagem de biossólidos na agricultura podem ser agrupados em fatores inerentes ao lodo e ao ambiente de aplicação.

1 FATORES INERENTES AO LODO

O objetivo dos sistemas de tratamento de esgoto, quando produzem o lodo, é concentrar as impurezas e o material potencialmente poluidor dos esgotos neste subproduto. Assim, pela própria forma como é originado, o lodo é o concentrador dos nutrientes, da matéria orgânica, dos metais pesados, dos organismos e de outros elementos que podem oferecer risco ao meio ambiente, caso não sejam controlados e monitorados adequadamente.

As características do lodo são determinantes na definição da alternativa de disposição final, somente podendo ser destinados para a agricultura os materiais que apresentem composição química e perfil sanitário que possibilitem a melhoria das condições do solo e o incremento da produtividade sem expor a segurança do produtor rural, dos consumidores e o ambiente.

Os principais fatores inerentes ao lodo indispensáveis na avaliação do seu potencial para uso na agricultura são: o conteúdo de metais pesados, o perfil sanitário, o valor agrônômico, o teor de umidade, a consistência e a estabilidade do resíduo.

1.1 CONTEÚDO DE METAIS PESADOS

Como exposto no Capítulo III, o lodo em função da composição do esgoto que lhe dá origem (industrial ou doméstico) pode apresentar maior ou menor quantidade de metais pesados. Quando adicionados ao solo em níveis elevados, os metais são capazes de prejudicar as propriedades químicas e biológicas dos solos e provocar toxidez nas plantas e animais.

O lodo proveniente do tratamento de efluentes domésticos normalmente contém pequena quantidade destes elementos, provenientes da própria natureza do resíduo e das canalizações. Nestes níveis, estes elementos não apresentam maiores riscos. Os teores preocupantes ocorrem quando descargas industriais nas redes, que geralmente contém elevado nível de metais pesados.

Cabe a uma legislação específica, estabelecer critérios rigorosos para aceitação destas contribuições e aos órgãos ambientais fiscalizar seu cumprimento. Sempre que os lodos

apresentarem níveis elevados de metais pesados, a reciclagem será inviável e outras opções de disposição final, mais onerosas e ambientalmente menos adequadas, deverão ser adotadas.

No Estado do Paraná, as redes de esgotos coletam quase na totalidade esgotos domésticos. Por força legal, os efluentes industriais são pré-tratados para lançamento em redes de águas pluviais ou de esgotos. Assim, observam-se baixíssimos níveis de metais pesados nos lodos de esgoto. Exceções podem ocorrer na região metropolitana de Curitiba ou nas principais cidades do Estado, quando ocorrem descargas clandestinas.

Todavia, os metais pesados não tem apresentado níveis significativos, sendo expressivamente inferiores aos níveis presentes nos lodos gerados em outras regiões do mundo, em outros dejetos comumente utilizados na agricultura, como de suínos e aves (tabela 10), ou até mesmo em relação aos teores destes elementos nos principais solos do Paraná.

Tabela 10: Teores de metais pesados (mg/kg) de alguns resíduos orgânicos coletados no Estado do Paraná.

Material	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Esterco de Bovino	0,11	27,5	90,2	3,5	11,1	220	
Esterco de Suíno	0,58	19,3	230,0	4,0	19,6	1670	
Esterco de Aves	0,33	15,9	72,8	2,6	5,9	151	
Húmus	0,0	7,2	18,6	0,7	5,0	16	
Húmus de Minhoca	0,0	42,6	246,0	7,9	33,9	266	
Composto de Esterco Bovino	0,11	27,5	90,2	3,5	11,1	220	
Composto de Resíduo	0,0	164,0	100,0	67,4	13,7	259	
Lixo Urbano	0,71	23,3	66,1	3,8	10,6	427	
Lodo Aeróbio	Nd - 12	34 - 520	13 - 299	Nd - 150	Nd - 200	114 - 1350	Nd - 4,4
Lodo Anaeróbio	---	71 - 146	24 - 71	36 - 45	60 - 88	415 - 862	Nd - 4,5
Norma	20	1000	1000	300	750	2500	16

Legislação

A legislação que orientará a prática de distribuição do lodo no Paraná estabelece níveis restritivos destes elementos no solo e no lodo. Os valores adotados são mais restritivos que os níveis da norma da USEPA - a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

A norma norte americana esta fundamentada em longos estudos baseados em análises de risco de contaminação ambiental e da saúde humana. Porém, as condições ambientais brasileiras diferem em muito da realidade daquele país. O nosso clima tropical, e os nossos solos, caracteristicamente mais ácidos que os americanos, contribuem para uma maior mobilidade e disponibilidade destes elementos para as plantas.

Assim, por cautela, enquanto não são disponíveis dados mais coerentes a cerca dinâmica destes elementos em nossos solos, a equipe de pesquisadores responsável pela

elaboração desta norma procurou adotar critérios mais restritivos, assegurando a qualidade ambiental e a saúde dos animais e dos homens.

Acompanhamento dos Níveis de Metais no Solo

O acompanhamento da quantidade de metais adicionado pela aplicação de lodo é indispensável para garantir a segurança da atividade. Sempre que um lote de lodo for destinado a uma gleba agrícola, só poderá sair da ETE com a recomendação agronômica específica para esta gleba. Nesta ficha devem ser apresentadas as características da área, dos solos e o acompanhamento do nível de metais pesados do lodo e do solo.

A adição de lodo ao solo poderá provocar alterações dos teores de metais no solo. Decorridas algumas aplicações é possível que este nível atinja os valores críticos definidos pela legislação e assim, a área não poderá receber novas adições de lodo, mas poderá ser utilizada para agricultura normalmente,

O acompanhamento dos teores de metais pode ser avaliada controlando-se a quantidade de metais adicionadas por cada nova aplicação de lodo, como na tabela 11.

Tabela 11: Acompanhamento do acúmulo de metais pesados nos solos pela adição de Lodo.

	Cd	Zn	Cu	Ni	Hg	Pb	Cr
Nível de Metais Presentes no solo original (AMOSTRAGEM) ^(a)							
Teor de metais pesados adicionados por aportes anteriores de lodo (mg/kg) ^(b)							
Teor de metais pesados aplicado no solo pelo aporte atual (mg/kg) ^(c) :							
Teor acumulado no solo (mg/kg) ^(d)							
Valores máximos cumulativos no solo	1	150	150	30	1	50	100

(a) A forma de avaliação do nível de metais pesados original nos solos deverá ser proposta durante o desenvolvimento do plano de distribuição de lodo. Entre os fatores que influem nesta metodologia estão: o material de origem dos solos (influenciando diretamente o teor destes elementos no solo), os tipos de solos (em solos mais intemperizados os teores são menores), os fertilizantes mais usados na região (que pode, apresentam teores elevados destes elementos, maiores até mesmo que o lodo), o clima e as técnicas de cultivo.

(b) O teor de metais adicionados por aportes anteriores é a somatória das quantidades adicionadas anteriormente.

(c) O teor de metais adicionado pelo aporte atual representa a quantidade de metal que se espera no solo após a aplicação do lodo, não representando necessariamente o teor disponível para as plantas,

(d) O teor acumulado será o somatório dos três itens anteriores: Teor original, Teor de aportes anteriores e Teor adicionado pelo aporte atual, e impreterivelmente deverá ser inferior aos limites estabelecidos pela norma para cada elemento individualmente,

CÁLCULO DO APORTE DE METAIS NO SOLO

1, Cálculo da quantidade adicionada de cada metal

$Q_{\text{metal}} = \text{Dose} \times \text{teor}$, onde:

Q_{metal} = quantidade do elemento adicionada ao solo (g/ha)

Dose = Quantidade de lodo aplicada ao solo (t/ha base seca)

Teor = Teor do elemento no lote de lodo (mg/kg base seca)

2, Cálculo do teor do elemento no solo

$$T_{\text{solo}} = Q_{\text{metal}} / (d \times 10.000 \times f)$$

T_{solo} : teor do elemento no solo (mg/kg)

Q_{metal} : quantidade do elemento adicionada pelo aporte atual do solo (g/ha)

d^* : densidade do solo

10.000 : área de 1 hectare

f^* : profundidade de incorporação

*Não dispondo destes dados, pode-se admitir a densidade como 1200 kg/m³ e profundidade de incorporação normalmente se restringe a camada arável (20 cm),

A norma definiu, ainda, um instrumento para garantir que nenhum solo atinja estes valores num prazo inferior a 10 anos impedindo a aplicação acumulada neste período a mais de 50 t/ha (base seca) em uma mesma gleba, esta metodologia visa dar tempo para que estes limites sejam avaliados e confirmados pela pesquisa e pela prática de campo.

1.2 PERFIL SANITÁRIO

Entre os fatores biológicos limitantes ao uso do lodo na agricultura destacam-se os patógenos, presentes no esgoto doméstico e, conseqüentemente, concentrado nos lodos provenientes dos sistemas de tratamento. A presença destes agentes patogênicos, ainda que substancialmente reduzida, podem causar problemas devido a sua possibilidade de disseminação pelo meio ambiente.

A concentração de microrganismos patogênicos no esgoto é reflexo direto do perfil de saúde da população que o originou. Mesmo países desenvolvidos produzem lodo contendo organismos patogênicos, o que não impede a utilização do lodo na agricultura de forma segura. O risco de contaminação é facilmente eliminado com a adoção de tecnologias que levam a redução destes organismos a níveis compatíveis com a reciclagem agrícola, como a calagem ou a compostagem (ver Capítulo IV - Higienização do Lodo)

O uso do lodo sem desinfecção ou com desinfecção ineficiente resulta na geração de uma fonte de disseminação destes organismos, e a empresa geradora do resíduo poderá ser

responsabilizada legalmente por eventuais riscos a que a população ou o ambiente sejam submetidos. O processo de higienização atualmente adotado no Paraná, é a calagem a 50 % do peso seco, tecnologia que reduz a quantidade de patógenos no lodo a níveis mínimos, perfeitamente compatíveis com o seu uso agrícola (informações mais detalhadas foram apresentadas no capítulo 6). Além da redução de patógenos, a competição com os organismos do solo, a temperatura e a radiação solar também exercem ação desinfetante.

Estão presentes no alguns organismos solubilizadores de nutrientes, especialmente de N e P, o que representam uma vantagem no uso do lodo de esgoto como fertilizante.

Visando garantir a segurança no uso do lodo, a legislação prevê, ainda, uma série de restrições quanto as culturas e as dosagens em que o lodo deve ser utilizado, quanto as distâncias de locais de frequência de pública, moradias, córregos, rios, minas d'água e outros, que de forma associada a higienização, fazem da reciclagem agrícola de biossólidos uma prática segura.

Eficiência da desinfecção

A eficiência da desinfecção está diretamente associada a possibilidade de contaminação ambiental. Se o cal não for devidamente homogeneizada ou haja presença de torrões de lodo seco, cujo interior a cal não teve contato, as chances de preservação dos patógenos, ou de suas formas de disseminação, são maiores. A aplicação de lodo mal processado, com a presença de torrões, podem contaminar o ambiente, o solo e cursos d'água, e, conseqüentemente, o homem e os animais.

Os riscos de contaminação aumentam significativamente quando medidas de prevenção não são tomadas devidamente. Tanto na higienização quanto no transporte e uso do lodo, os procedimentos de proteção da mão de obra envolvida na manipulação do lodo devem ser observados. O uso de botas de borracha, luvas de látex, a lavagem em separado das roupas e a higiene corporal são fundamentais no manuseio do lodo. A lavagem das ferramentas e implementos utilizados no manuseio do lodo também é indispensável. Ao manuseio do lodo não desinfetado, deve-se acrescentar o uso de máscara,

Exigências legais

A legislação que regulamenta o uso do lodo na agricultura prevê uma série de exigências para garantir a segurança do produtor rural, interessado no uso do lodo, do consumidor, que irá se alimentar dos produtos colhidos nestas áreas, e do meio ambiente,

Com relação ao perfil sanitário do lodo, a legislação limita a presença de alguns patógenos indicadores da qualidade do biossólido. Estes indicadores são os coliformes fecais e os ovos de helmintos. Estando controlados estes organismos, os demais agentes patogênicos presentes no lodo também estarão em níveis compatíveis com o uso na agricultura. Mesmo apresentando um perfil sanitário aprovado pela norma, o lodo não pode ser aplicado indiscriminadamente. Condições e restrições quanto às culturas em que o lodo pode ser aplicado, ao risco de transporte por percolação e erosão e à exposição de pessoas por contato direto ao lodo ou por águas contaminadas.

1.3 VALOR AGRONÔMICO (NUTRIENTES E pH)

O interesse agrícola pelo lodo de esgoto esta associado principalmente ao seu teor de nutrientes (N, P e micronutrientes) e ao conteúdo de matéria orgânica. Os efeitos da matéria orgânica no solo se fazem sentir a longo prazo, melhorando a resistência dos solos a erosão e ao adensamento, ativando a vida microbiana dos solos e aumentando a resistência das plantas a pragas e doenças. A calagem se reflete sobre o potencial do lodo como corretivo da acidez dos solos, que, por outro lado, pode se caracterizar como fator limitantes da quantidade a ser aplicada.

Teor de nutrientes

Em geral os teores de nutrientes presentes no lodo de esgoto são superiores aos encontrados na maioria dos materiais orgânicos de uso habitual na agricultura (tabela 12).. E, dependendo da forma estrutural em que estes nutrientes se encontram, especialmente o nitrogênio, o lodo pode concorrer também com outras formas de fertilizantes minerais.

Tabela 12: Composição média de tipos de lodo do Paraná e outros materiais orgânicos.

Identificação \ Nutrientes	Água (%)	Matéria Orgânica	N (%)	P (%)	K (%)
Lodo Aeróbio Calado	85,0	69,4	2,50	0,90	0,20
Lodo Anaeróbio	65,0	36,2	1,60	0,20	0,05
Esterco de Poedeiras	-	-	2,00	2,00	2,00
Esterco de Bovinos	83,5	14,6	0,30	1,17	0,10
Esterco de Equinos	75,8	21,0	0,44	0,32	0,35
Esterco de Ovinos	65,0	31,4	0,60	0,30	0,15
Esterco de Suínos	81,0	12,0	0,60	0,60	0,30

FONTE: dados do Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo da SANEPAR

Os lodos digeridos aerobiamente tendem a concentrar mais os nutrientes e patógenos; enquanto os lodos anaeróbios são naturalmente menos concentrados. Porém, mesmo após a calagem, onde há expressiva perda de nitrogênio (em torno de 50 %), tanto os lodos aeróbios

quanto os lodos anaeróbios ainda apresentam teores altos de nitrogênio (N), médios de fósforo (P) e baixos de potássio (K).

No processo de compostagem as perdas são menores, uma vez que os nutrientes são incorporados aos tecidos dos microrganismos durante o processo de decomposição e estabilização do resíduo. Por outro lado, a calagem enriquece o lodo com cálcio (Ca) e confere ao resíduo características de corretivo da acidez do solo.

Um lodo de esgoto, digerido anaerobiamente e calado, apresenta teor médio de 1,5% de nitrogênio por tonelada de matéria seca (ou 15 Kg de N / t) e 2,2 Kg de fósforo por tonelada. Lodos digeridos aerobiamente tendem a apresentar teores maiores de nutrientes (aproximadamente o dobro), mesmo após a calagem. Se a dosagem de lodo é estimada com base na necessidade da cultura em nitrogênio, dependendo da deficiência do solo, apenas P e K necessitam ser complementados, este em maiores quantidades que aquele. (vide método de cálculo para a complementação).

Sempre que a determinação das doses for estimada desta forma, o efeito do lodo sobre a reação do solo deve ser verificado. Doses elevadas do material podem provocar a neutralização do solo e ter reflexos negativos sobre a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento das plantas.

METODOLOGIA PARA RECOMENDAÇÃO DE DOSAGEM E COMPLEMENTAÇÃO MINERAL

- 1, Com base na análise do solo são determinadas as doses de nutrientes a serem aplicadas ao solo,
- 2, A dose de lodo será determinada em função da necessidade de Nitrogênio, calculada dividindo-se este valor pela concentração do nutriente no lodo, obtendo-se como produto deste cálculo a Quantidade de lodo em toneladas por hectare, base seca:

$$Q_{seca} = \frac{Rec_{Nitrogênio}}{\% N_{lodo}}$$

- 3, A quantidade do resíduo a ser retirada da ETE depende do teor de umidade do lodo no momento de transporte, Determina-se esta quantidade dividindo a dose em base seca (Q_{seca}) pelo teor de sólidos do lodo:

$$Q_{úmida} = \frac{Q_{seca}}{\% \text{ sólidos}}$$

- 4, A complementação com fertilizantes minerais, seguindo as taxas recomendadas pela análise de solo é calculada da seguinte forma:

$$Compl = Recomend - Quant_{lodo}$$

Compl : quantidade de nutriente a adicionar

Recomend : Quantidade de nutriente recomendado pela análise do solo

$Quant_{lodo}$ = Quantidade do nutriente fornecido pelo lodo

$$Quant_{lodo} = Q_{lodo} \text{ (seco)} \times \% \text{ nutriente}$$

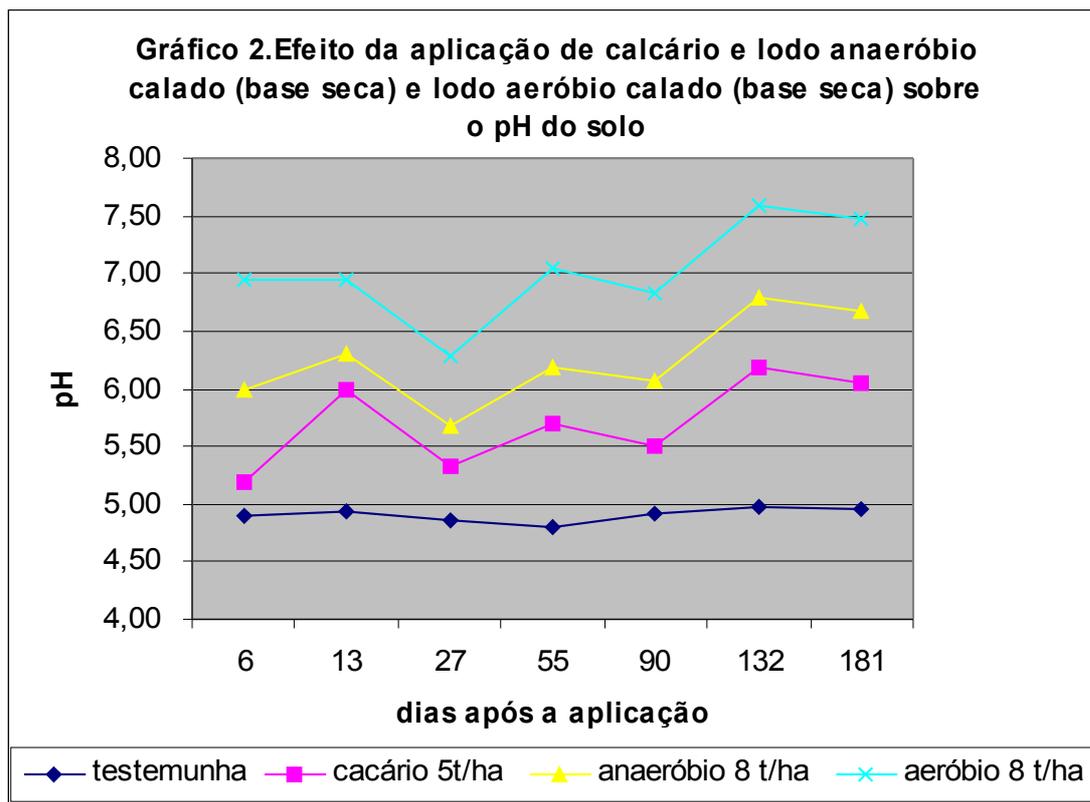
As quantidades de magnésio (Mg) e Enxofre (S) presentes no lodo são suficientes para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo se aplicado em quantidades modestas. Estes elementos estão presentes no lodo essencialmente na forma mineral,

Geralmente quando o lodo é aplicado em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio das culturas, as quantidades de micronutrientes fornecidas pelo lodo são suficientes para suprir a demanda das plantas. O lodo contém quantidades menores de boro, molibdênio e cloro e quantidades expressivas de cobre, zinco e manganês que são também metais pesados.

pH e PRNT

A cal virgem utilizada na desinfecção tem PRNT (poder relativo de neutralização total) acima de 150. Para se ter uma idéia, o calcário dolomítico, o principal produto corretivo usado na agricultura, tem uma PRNT em média de 75. Isto indica um potencial de alteração do pH duas vezes maior, para uma mesma quantidade de cada produto.

A terça parte de um lodo calado a 50% do peso seco é cal virgem, ou seja, se utilizarmos uma dose de 6 t/ha, estaremos aplicando 2 t/ha de cal virgem, cuja PRNT é o dobro do calcário dolomítico. No solo, em experimentos do PROSAB/SANEPAR, observou-se que o lodo calado promove uma reação inicialmente rápida de mudança do pH, e uma baixa manutenção deste pH ao longo do tempo. Ao contrário, os calcários apresentam reações mais lentas mas mais duradouras. Por esta razão é que o pH do solo onde o lodo calado vai ser utilizado é um fator importante a ser considerado. De maneira geral, recomendam-se doses maiores em solos ácidos (onde o pH é baixo) e doses tanto menores quanto maiores os valores de pH do solo. E sempre que doses elevadas são necessárias, recomenda-se verificar o efeito do lodo sobre o pH do solo (figura 2).



Fonte: Equipe de Pesquisa - Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo da SANEPAR

1.4 UMIDADE E CONSISTÊNCIA

Umidade em relação a eficiência do processo de higienização

Durante os trabalhos de campo do PROSAB/SANEPAR, percebeu-se melhor eficiência na calagem quando o lodo encontrava-se no teor de umidade de 65 a 75%. Esta faixa de umidade permite uma boa reação da cal com a água contida no lodo, promovendo boa reação exotérmica (aumento de temperatura) e boa plasticidade, o que é fundamental para homogeneização da cal com o lodo e, portanto, boa homogeneidade do pH.

Umidade em relação ao transporte

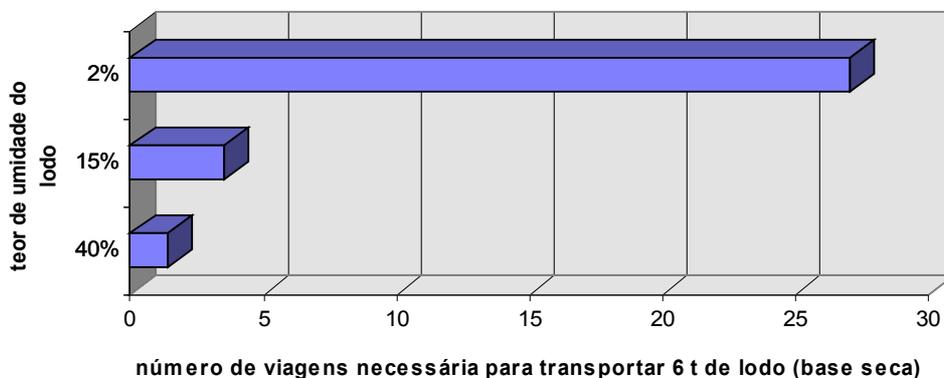
Um dos maiores obstáculos ao uso agrícola do lodo é o transporte do resíduo da ETE até a propriedade agrícola. Quando este transporte depende da utilização de veículos fretados, os custos são em geral bastante elevados.

A umidade está diretamente relacionada com o volume a transportar e, conseqüentemente, com o custo do deslocamento. Reduzindo o teor de sólidos (ver figura 1) de 100 para 85 %, o volume se reduz a 1/3 do volume inicial.

Quando a taxa de aplicação de lodo em uma área qualquer for de 6 toneladas por hectare (base seca), se o teor de umidade do lodo for 98 %, a quantidade do resíduo a aplicar será 300 t. Com um lodo com 85 % de umidade, serão necessárias 40 toneladas de lodo úmido. Caso o lodo esteja com 60 % de umidade, a necessidade se resume a 15 toneladas,

No primeiro caso, usando um caminhão caçamba com capacidade em torno de 11 a 12 toneladas, seriam necessárias 27 viagens para transportar a quantidade recomendada de lodo. No segundo caso, os deslocamentos se reduziram a 3,5, e a 1,4 na terceira situação, Numa correlação simples, o custo de transporte do primeiro caso é 17 vezes superior ao terceiro e 7 vezes em relação ao segundo (figura 3).

Figura 3. Necessidade de transporte em relação ao teor de umidade do lodo



Fonte: Equipe de Pesquisa - Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo da SANEPAR

Consistência:

No momento em que o lodo é despejado em um leito de secagem, dois processos iniciam-se: a percolação da água (com lixiviação de nutrientes) e a evaporação. Dependendo da região, e suas condições climáticas de temperatura e vento, o lodo vai secando e evolui da forma líquida para a pastosa e da pastosa para sólida (granular ou pó).

Observando-se o perfil do lodo, a parte superior seca mais rápido que a parte em contato com o fundo. Por esta razão, quando a umidade média do lodo atinge teores abaixo de 85%, a superfície do lodo no leito começa a apresentar rachaduras que vão evoluindo a medida em que a umidade média diminui.

A partir de 65 a 70% de umidade, a parte superior do lodo torna-se impermeável e sólida, o que diminui a influência das águas de chuva na umidade da massa de lodo, já que as fendas conduzem a água para o fundo do leito. Esta parte superior toma a forma de torrão, seco, apresentando baixíssimo peso em relação ao volume e relativa resistência ao quebramento. Esta característica é importante no momento da calagem, a cal não entra em

contato com a parte interior deste torrão, impedindo a perfeita homogeneização do lodo com a cal e mantendo intactos os patógenos ou as estruturas de disseminação ali presentes.

Portanto, a consistência ideal do lodo para a calagem visando o uso agrícola é o pastoso, quando a superfície no leito não estiver sólida. Na aplicação, após a maturação, a armazenagem e o transporte, o lodo calado estará com um teor de umidade mais baixo e uma estrutura mais granular. Isto ocorre devido a dois fatores: a menor umidade do cal que passa a fazer parte da mistura e a significativa evaporação de água em decorrência do aumento de temperatura.

Se o lodo for calado com teor de umidade entre 70 e 75%, o produto final da calagem - o lodo calado estabilizado - terá um teor de umidade em torno de 50 a 55 %. Neste teor o lodo estará na forma granular, o que facilita a aplicação com equipamentos simples.

1.5 ESTABILIDADE

Problemas como atração de insetos vetores e liberação de odores podem ser vivenciados nos locais de armazenamento do lodo, e podem causar a recontaminação do lodo por agentes patogênicos transmitidos por insetos. Estas ocorrências estão associadas a má condição de estabilização da matéria orgânica do lodo, que ainda apresenta grande conteúdo de sólidos voláteis, e que deveria ter sido eliminados durante o processo de tratamento do esgoto.

Existem vários parâmetros que permitem avaliar o grau estabilidade da matéria orgânica do lodo. Um deles é a própria emissão de odores, porém esta mas que só pode ser verificada após a descarga dos sistemas. Os métodos mais simples e diretos são: a verificação do teor de cinzas e a redução dos sólidos voláteis.

A norma técnica, adota o teor de cinzas como parâmetro de avaliação da estabilidade, não permitindo a utilização de lotes de lodo em que este parâmetro seja inferior a 30 %.

2 FATORES INERENTES AO AMBIENTE

A adequação da reciclagem de biossólidos depende das condições ambientais das áreas de aplicação. A definição de critérios de restrição foi estabelecida em relação ao macro ambiente, incluindo o entorno, e da área específica de aplicação.

2.1 CRITÉRIOS MACRO AMBIENTAIS

Distância da área de produção de lodo

A distância do transporte, da estação de tratamento onde o lodo foi higienizado até a área de produção agrícola, é o maior fator limitante sob o aspecto econômico para a viabilidade do uso agrícola do lodo. Dependendo do teor de umidade, o volume de lodo em relação à matéria seca e os nutrientes transportados pode ser significativamente alto, e assim, a distância viável a ser percorrida pode ficar bastante reduzida. Uma carga de 10 t de lodo calado a 50%, com teor de umidade na ordem de 85%, significa que está se transportando 8,5 t de água, 0,5 t de cal virgem e apenas 1 t de matéria seca de lodo. Portanto, do ponto de vista da viabilidade do uso do lodo em relação ao transporte, quanto mais seco estiver o lodo calado, menor a carga ou maior o raio de aplicação.

O problema está na secagem, quanto maior a redução do teor de umidade da massa do biossólido, maiores as perdas de nitrogênio na forma de amônia em função do tempo de armazenagem. Assim, a fração mais interessante do lodo para a agricultura, perder-se com o tempo de armazenagem após a secagem, principalmente lodos calados. No entanto, como exposto no item referente a umidade, o transporte de lotes com teor de umidade elevados se torna economicamente proibitivo,

Considerando o valor econômico dos nutrientes presentes no lodo, pode-se avaliar com precisão o teor de umidade que torna realmente viável a reciclagem de lodo. Um lodo com 2,5% de N, 0,38 % de P e 0,08 % de K, contém 25 Kg de N, 3,8 Kg de P e 0,8 Kg de K, por tonelada (base seca). A aquisição destes nutrientes na forma usual disponível para os agricultores (Uréia como fonte de N, Superfosfato simples, como fonte de P e Cloreto de Potássio como fonte de K) o valor desta tonelada de lodo é R\$ 32,43 (tabela 13),

Tabela 13: Cálculo do valor do lodo em função do conteúdo de nutrientes,

Nutriente	Conteúdo de Nutrientes (Kg/t - seca)	Produto comercial (Kg)	Produto	Valor Unit. R\$/kg	Valor Comercial
N	25,00	55,00	Uréia	0,30	16,50
P	3,8	54,38	Superfosfato simples	0,28	15,23
K	0,8	1,6	Cloreto de Potássio	0,44	0,70
TOTAL	29,6				32,43

FONTE: Consulta de Mercado

Considerando os valores históricos destes elementos (0,6 US\$/Kg de N, 1,4 US\$/kg de P e 0,48 US\$/kg de K), esta tonelada de lodo vale US\$ 20,66. Os cálculos de custos de transporte realizados segundo as quantidades equivalentes de NPK deste lodo possibilitam um raio de transporte de 200 km se o lodo for disponibilizado a 100 % de sólidos, a 50 % o raio se reduz para

100 Km, a 20 % para 40 Km e a 2 % o valor fertilizante do produto possibilita a aplicação a áreas que distam no máximo 4 km da ETE. Neste cálculo, o valor do frete corresponde a US\$ 0,10 por quilômetro e por tonelada a ser transportada,

O custo de aplicação do lodo de esgoto calado, deverá ser o menor possível para se obter o menor custo de aplicação. Não devemos perder de vista que o que importa é a quantidade de matéria seca que se aplica ao solo.

Lodos com teores de umidade muito altos (teores acima de 75%), além do aspecto do teor de água elevado, apresenta-se pastoso e tem o inconveniente da pegajosidade elevada, o que dificulta o espalhamento e aplicação homogênea. Neste caso, a aplicação exige implementos especiais ou o uso excessivo de mão de obra.

Por outro lado, quando o teor de umidade é mais baixo, 50% por exemplo, o lodo passa a ser sólido e granular, que permite o uso de calcareadeiras - implemento facilmente encontrado no meio rural. Neste caso, mesmo sob aplicação manual, o gasto de energia é menor, porque o volume é menor e praticamente não há pegajosidade do material.

Restrições

A incorporação do lodo no solo promove a rápida atividade biológica e a ciclagem de nutrientes, matéria orgânica e outros materiais contidos no lodo. Quando a incorporação é mal feita, o lodo concentra-se em alguns pontos da superfície e pode ser transportado pela água de escoamento superficial das enxurradas. Isto significa que o lodo, caso a desinfecção não tenha sido eficiente, irá concentrar-se em depressões do terreno ou será transportado para cursos d'água. É importante lembrar que, mesmo que a desinfecção tenha sido eficiente, assim como qualquer material, o lodo vai alterar a concentração de sais e matéria orgânica nas águas, e, dependendo da concentração, gerará poluição. Este fenômeno será tão mais significativo quanto maiores a proximidade da área de aplicação de cursos d'água e maior o risco de erosão da gleba em questão.

Da mesma forma, a proximidade da área de aplicação de locais de frequência pública, ou residências pode provocar situações indesejadas, como o contato de pessoas ou animais domésticos diretamente com o lodo, ou a liberação de odores quando o lodo não está bem estabilizado e a conseqüente atração de insetos vetores,

Mesmo conscientes do potencial do lodo na agricultura e que o uso controlado do resíduo não apresenta risco as pessoas ou ao meio ambiente, toda cautela é pouca, e evitar este tipo de situação certamente será positivo, pelo menos até que o lodo ganhe a confiança do agricultor e da população em geral.

Para evitar este tipo de inconveniente sem contudo inviabilizar o uso do lodo onde seu uso é benéfico existe um sistema de classificação de aptidão dos solos para receber lodo, Este sistema avalia a área quanto aos fatores macro ambientais e as restrições específicas da área

de aplicação, Assim, sempre que as condições ambientais se revelarem amplamente favoráveis ao uso do lodo, mesmo que alguns critérios específicos se mostrem limitantes, a possibilidade de uso poderá ser avaliada, O contrário também é verdadeiro, quando o ambiente não se mostra plenamente favorável, mas as condições específicas permitem o uso seguro do lodo, a decisão será de um técnico habilitado,

A tabela 14 apresenta as situações previstas na Norma Técnica Preliminar do Paraná em relação aos critérios macro-ambientais,

Tabela 14: Classificação das Glebas Quanto ao Nível de Restrição Ambiental para Reciclagem de Lodo

Fator Limitante	Distância mínima até a área de aplicação	Classe do solo
Proximidade de cursos d'água, canais, lagos, poços tipo cacimba, minas, áreas de produção olerícola, áreas residências e de frequência pública.		
	100 m	Para solos de classe de aptidão IV
	75 m	Para solos de classe de aptidão III e II
	50 m	Para solos de classe de aptidão I
Áreas de Mananciais		
	2.000 m	Área de influência direta sobre o manancial*
	200 m	Área de influência indireta sobre o manancia**I

FONTE: Norma Técnica Preliminar proposta pela SANEPAR

*Área de influencia direta compreende a área do semicírculo de raio 2.000m a montante do ponto de captação.

**Área de influencia indireta compreende a área de 200m a partir da cota de inundação máxima de cada lado do leito do corpo d'água.

2.2 RESTRIÇÕES DA ÁREA DE APLICAÇÃO

Fertilidade

O pH do solo restringe a dosagem de lodo calado a ser utilizado em áreas agrícolas em decorrência do alto poder corretivo do lodo. Conforme citado anteriormente, o cal contido no lodo promove uma mudança mais drástica no pH do solo e em maior velocidade que o calcário. Isto explica, em parte, a razão do sucesso do uso do lodo em áreas degradadas - porque estas normalmente tem pH baixo. Porém, em áreas agrícolas isto normalmente não acontece. É necessário observar o pH das áreas agrícolas antes de definir as dosagens de lodo a serem aplicadas, evitando doses elevadas, capazes de elevar o pH do solo a níveis superiores a 7.

Solos com baixa fertilidade guardam uma relação íntima com o pH baixo (solos ácidos), em decorrência do fato de que a liberação dos nutrientes se dá com pH mais elevado (acima de 5,5). Embora o teor dos nutrientes no lodo calado não seja um fator limitante, as dosagens de lodo calado são restringidas pelo pH.

O alto teor de nitrogênio no lodo calado e incorporado ao solo, resulta em uma maior atividade biológica. Embora o lodo possua um teor relativamente alto de matéria orgânica, após sua aplicação há um expressivo consumo de matéria orgânica no solo até

novo equilíbrio da relação C/N. Este fato é conhecido por acontecer da mesma forma que ocorre quando aplicamos uréia. Estima-se que a mesma quantidade de matéria orgânica contida no lodo é consumida na reação, o que indica que o lodo, na grande maioria dos casos não se constitui como fonte de matéria orgânica em sí. O resultado do equilíbrio no solo e na produção de biomassa que será incorporada ao solo (principalmente raízes) é que efetivamente promovem o aumento da matéria orgânica - portanto, via ciclagem de nutrientes.

Neste aspecto, conclui-se que o lodo tem vantagens quando os solos são pobres em nutrientes e o fornecimento destes nutrientes se dá sob intensa ciclagem, regulada pela atividade biológica, com liberação de nutrientes de forma mais lenta que fertilizantes minerais ou sintéticos.

Textura

A textura do solo esta relacionada a sua capacidade de filtração e a facilidade de percolação dos componentes do lodo através do perfil do solo, e que podem contaminar as águas subterrâneas. Solos muito arenosos, muito permeáveis, permitem a lixiviação destes componentes com facilidade, solos muito argilosos, por outro lado, dificultam sobre maneira a drenagem, e a capacidade filtrante do solo. O solo ideal para uso de lodo contém entre 35 e 60 % de argila.

7.3.2.3. Declividade

Áreas agrícolas declivosas apresentam alta suscetibilidade à erosão, decorrente da maior velocidade do escoamento superficial das águas de chuva. Se o lodo for aplicado nestas áreas, o transporte para cursos d'água, ou a simples acumulação em áreas mais baixas, será inevitável e, conseqüentemente, a poluição destes ambientes. Assim, recomenda-se sua utilização em áreas com declividade até 8%, admitindo-se o uso em declividades até 20%, não sendo recomendado seu uso em áreas com declividades superiores.

7.3.2.4. Erosão

O grau de susceptibilidade a erosão do solo esta associado ao risco de transporte de componentes do lodo por escoamento superficial. A determinação do nível de restrição de um solo em função da susceptibilidade a processos erosivos é avaliada pela associação das características de relevo (forma, declividade e comprimento de rampa) e das características físicas (textura e agregação) deste solo.

As características de relevo estão diretamente associadas a velocidade de escoamento superficial das águas, e as características físicas sobre a possibilidade de arraste de partículas. Assim, um solo arenoso em relevo plano não oferece risco para uso do lodo. Porém um solo de textura média arenosa em declividade superior a 20 % indiscutivelmente terá problemas de erosão.

7.3.2.5. Drenagem e hidromorfismo

- Profundidade do solo

O solo é um bom meio filtrante, dificultando a lixiviação dos componentes do lodo e a consequentemente a contaminação do lençol freático, porém elementos com alta solubilidade como o nitrogênio e o potássio podem alcançar profundidades maiores e ocasionar problemas. Solos muito profundos apresentam menores riscos de translocação e distribuição do lodo e de seus subprodutos pelo perfil do solo. A distância mínima entre a superfície do solo e a rocha intemperizada deve ser de 1,5 m.

- Nível do lençol freático

Se o lençol freático estiver muito próximo a superfície do solo as chances de contaminação ambiental aumentam. O solo é um filtro físico, químico e biológico para o lodo, quanto maior o perfil maior será o contato dos elementos constitutivos do lodo com o solo, e menor a possibilidade de contaminação por lixiviação destes elementos. Quanto mais profundo o lençol freático melhor, devendo ser observada sempre uma distância mínima de 1,5 m da superfície do solo,

- Drenagem e Hidromorfismo

Solos mal drenados tendem a criar condições de anaerobiose e alta umidade, indesejáveis no uso agrícola do lodo. Estas condições são favoráveis a manutenção de alguns patógenos no solo e prejudiciais a atividade de degradação biológica da matéria orgânica.

As condições de má drenagem e hidromorfismo indicam uma forte tendência de acumulação de materiais nestes solos. A concentração e a lixiviação de elementos químicos e biológicos constituem-se no mecanismo de poluição do solo e do lençol freático.

- Estrutura do solo

Diz respeito à organização das partículas que formam os agregados do solo. Estruturas muito massivas restringem o movimento da água, a penetração das raízes e a aeração do solo. A restrição a infiltração da água facilita o transporte do lodo por erosão enquanto que a falta de aeração diminui a velocidade de biodegradação do lodo.

7.4. Classificação da aptidão dos solos para reciclagem agrícola

A avaliação e diagnóstico das potencialidades das terras para aplicação de lodo de esgoto tem duas funções:

a - não avaliar o uso do resíduo nas propriedades rurais em que este procedimento ponha em risco o meio ambiente e a saúde humana e animal.

b - planejar a relação produção/demanda de lodo, base para a solução de problemas relacionados com sua disposição final.

- critérios para classificação

Os solos devem ser classificados de acordo com suas características e propriedades e nas limitações que oferecem para aplicação do lodo (tabela 15).

Tabela 15: Critérios para classificação da aptidão dos solos para disposição agrícola do lodo.

FATOR	GRAU	CRITÉRIO
Profundidade	0-nulo	latossolos, cambissolos ou podzólicos profundos.
	2-moderado	cambissolos ou podzólicos com citação de pouca profundidade
	3-forte	litólicos ou outras unidades com citação de solos rasos.
Textura superficial	0-nulo	textura argilosa (35 a 60% de argila).
	1-ligeiro	textura muito argilosa (> de 60% de argila)
	2-moderado	textura média (15-35% de argila).
	3-forte	textura siltosa (<35% de argila e <15% de areia). textura arenosa (<15% de argila).
Susceptibilidade erosão	a 0-nulo	solos em relevos plano.
	1-ligeiro	solos argilosos ou muito argilosos em relevo suave ondulado
	2-moderado	solos textura média ou siltosa em relevo suave ondulado e solos com textura argilosa e muito argilosa em relevo ondulado.
	3-forte	solos de relevo ondulado com textura arenosa e/ou caráter abrupto. ou relevo forte ondulado associado à textura muito argilosa.
	4-muito forte	relevo forte ondulado, com textura média e arenosa. relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural.
Drenagem	0 nulo	solos acentuadamente e bem drenados
	1-ligeiro	fortemente drenados
	2-moderado	solos moderadamente
	3-forte	solo imperfeitamente e excessivamente drenado
	4-muito forte	solos mal e muito mal drenados
Relevo	0-nulo	relevo plano (0-3%)
	1-ligeiro	relevo suave ondulado (3-8%).
	2-moderado	relevo ondulado (8-20%).
	3-forte	forte: relevo forte ondulado (20-45%).
4-muito forte	relevo montanhoso ou escarpado (maior que 45%).	
Pedregosidade	0-nulo	solos sem fase pedregosa.
	2-moderado	citação de pedregosidade na legenda
	4-forte	solos com fase pedregosa
Hidromorfismo	0-nulo	solos sem indicação de hidromorfismo
	2-moderado	solos com caráter gleico
	3-forte	solos hidromórficos
Fertilidade	0-nulo	solos distróficos e álicos com horizonte A moderado ou fraco
	1-ligeiro	solos com horizonte A proeminente
	2-moderado	solos com horizonte A chernozêmico ou antrópico
	3-forte	solos com horizonte A húmico.
4-muito forte	solos com horizonte turfoso ou material orgânico	

- classes de aptidão

O programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto elaborou a partir do grau de limitação que cada um destes fatores oferece um sistema prático de classificação dos solos quanto a aptidão para a reciclagem (tabela 16). A idéia é que toda propriedade que deseje se cadastrar num programa de reciclagem de lodo seja avaliada segundo este sistema.

Tabela 16: Classificação da aptidão dos solos para reciclagem agrícola de lodo.

FATORES DE LIMITAÇÃO	GRAU DE LIMITAÇÃO	CLASSE DE APTIDÃO				
		I	II	III	IV	V
PROFUNDIDADE	0-NULO 2-MODERADO 3-FORTE	X	X	X	X	X
TEXTURA SUPERFICIAL	0-NULO 1-LIGEIRO 2-MODERADO 3-FORTE	X	X	X	X	X
SUSCETIBILIDADE A EROSÃO	0-NULO 1-LIGEIRO 2-MODERADO 3-FORTE 4-MUITO FORTE	X	X	X	X	X
DRENAGEM	0 NULO 1-LIGEIRO 2- MODERADO 3-FORTE 4-MUITO FORTE	X	X	X	X	X
RELEVO	0-NULO 1-LIGEIRO 2-MODERADA 3-FORTE 4-MUITO FORTE	X	X	X	X	X
PEDREGOSIDADE	0-NULO 2-MODERADO 4-FORTE	X	X	X	X	X
HIDROMORFISMO	0-NULO 2-MODERADO 3-FORTE	X	X	X	X	X
FERTILIDADE	0-NULO 1-LIGEIRO 2-MODERADO 3-FORTE 4-MUITO FORTE	X	X	X	X	X

Nas classes I, II e III o uso do lodo é permitido sem restrições, solos que estejam classificados como classe IV, não são recomendadas para uso de lodo, porém, acompanhadas de justificativa e a critério do órgão ambiental, poderão ser liberadas para uso. Os solos classe V não apresentam aptidão para uso de lodo. A tabela 17, resume estas informações.

Tabela 17: Aptidão das classes de solo para uso de lodo

CLASSE DE APTIDÃO	USO	OBSERVAÇÃO
CLASSES I, II e III	PERMITIDO	Permitida a utilização do bio-sólido sem restrições

CLASSE IV	NÃO RECOMENDADO	A critério do IAP, mediante apresentação de fatores atenuantes, poderá ser permitido o uso.
CLASSE V	VETADO	Não deve ser permitida aplicação

A avaliação de aptidão dos solos deve ser realizada por um Engenheiro Agrônomo, que deve ser responsável pelo suporte técnico ao agricultor, isto é, recomendação de dosagens, complementação mineral e seleção das culturas.

VI - USO DE LODO EM ÁREAS DE PRODUÇÃO

Ricardo G. K. Ilhenfeld & Cleverson V. Andreoli

Após a verificação dos níveis de metais pesados e a realização da higienização, o lodo estará pronto para o transporte e aplicação na agricultura. A análise de viabilidade e o planejamento estratégico desta operação estão descritos no Capítulo VII. A produção do lodo pode ser contínua ou por bateladas e, portanto, pode haver uma discordância entre a produção do lodo com a época de preparo e cultivo do solo. A rápida aplicação dos biossólidos traz vantagens para o gestor dos serviços de saneamento e para os agricultores: diminui a necessidade de áreas de armazenamento e também reduz as perdas de nitrogênio, que ocorre principalmente através da volatilização da amônia.

Assim, pode haver necessidade de armazenamento do lodo higienizado, entre a maturação do processo de desinfecção e a época de aplicação do solo. Recomenda-se que este armazenamento seja feito na própria estação de tratamento, onde o lodo foi higienizado, desde que haja espaço na área da estação. Caso seja necessário transportá-lo para as áreas agrícolas muito antes da sua aplicação, é imprescindível que os montes sejam dispostos longe da presença de crianças e animais, em locais altos e distantes de corpos d'água e de residências, e ainda devem sempre estar devidamente cobertos com lona plástica. Na estação de tratamento deve ser avaliada a economicidade da construção de galpões cobertos ou de áreas impermeabilizadas para a armazenagem dos biossólidos com cobertura de lona plástica.

Diversos autores tem demonstrado os resultados favoráveis ao uso agrícola de lodo de esgoto higienizado. Alguns trabalhos nas culturas de milho, feijão, aveia preta, girassol, cana-de-açúcar, café e também em fruticultura (maçã e pêsego), tem demonstrado os efeitos positivos e as limitações do uso dos biossólidos na produção agrícola.

A deficiência de potássio tem sido freqüentemente observada, em decorrência dos baixos teores deste elemento em praticamente todos os tipos de lodo de esgoto de origem doméstica, o que resulta na necessidade de complementação através de fertilizantes minerais ou da mistura ao lodo de outros subprodutos que possam suprir esta carência, tais como as cinzas resultantes da incineração de lenha. É imprescindível que seja observado o conteúdo de metais pesados destes materiais, para evitar a contaminação do biossólido. Há que se considerar que cada região produz lodos com características diferentes, conforme já citado anteriormente, inclusive no aspecto tipo e teor de matéria orgânica, disponibilidade das diferentes formas que os nutrientes, agentes patogênicos e contaminantes.

O uso de biossólidos na recuperação dos solos degradado, tem apresentado resultados muito promissores, devido principalmente:

- a) fato de que os solos degradados são ácidos, na grande maioria, o que é facilmente corrigido no caso do uso de lodo calado devido a alta PRNT do cal, que proporciona uma rápida reação de neutralização no solo;
- b) fornecimento de nitrogênio e fósforo nas formas orgânicas, com efeito residual mais prolongado, se comparado ao uso de fertilizantes sintéticos e,
- c) pela incorporação de matéria orgânica, capaz de condicionar os solos degradados, influenciando positivamente na sua estruturação o que facilita a penetração de água e das raízes.

Estes fatores, associados, promovem uma rápida mudança nas condições físico-químicas do solo, traduzidos no rápido e equilibrado fornecimento de nutrientes para as plantas.

A influência da reciclagem de biossólidos é variável segundo diferentes características dos solos tais como:

- a) pH do solo no momento da incorporação do lodo calado;
- b) CTC - capacidade de troca de cátions do solo, que é dependente do teor de argila, óxidos e teor de matéria orgânica, e
- c) nível de fertilidade que o solo se encontra.

Fatores climáticos, responsáveis pelo metabolismo das comunidades bióticas (do solo e das culturas), também interferem, assim como o regime hídrico.

O estabelecimento da sensibilidade destes parâmetros em cada região requer de resultados de pesquisas de longo prazo, não somente no aspecto agrônomo, mas também no aspecto sanitário e ambiental (patógenos e poluentes, como os metais pesados). Desta forma apresentamos parâmetros bastante restritivos para recomendação agrônoma, priorizando a segurança ambiental e sanitária em relação a definição de doses que apresentem melhores respostas na produtividade. Com o avanço dos estudos poderemos reduzir as restrições, definindo os parâmetros para dosagens menos conservadoras.

1 TRANSPORTE

Três fatores encarecem o transporte: o teor de sólidos (umidade), o número de operações de carregamento/descarregamento e o custo com o veículo (transporte propriamente dito). Assim biossólidos mais secos aumentam a eficiência econômica e viabiliza o transporte a distâncias maiores. Quanto menor o número de baldeios do lodo, onde se altera os locais de armazenagem do lodo, melhor a economicidade da prática.

Os custos de transporte têm apresentado uma grande variação, pois trata-se ainda de uma carga desconhecida dos transportadores e portanto com poucos parâmetros de avaliação de preços. Os custos de lavagem do caminhão são proporcionalmente maiores para pequenas cargas.

O planejamento da disposição do lodo é fundamental na eficiência econômica do processamento e transporte. Se não houver área disponível para armazenamento na estação, desde que se verifiquem condições seguras de armazenagem nas propriedades rurais, o lodo poderá ser armazenado no campo, até completar seu período de maturação. Se o lodo for armazenado até a maturação na estação de tratamento, deve-se evitar a mudança dos montes dentro da área da estação, evitando custos desnecessários.

O transporte do lodo poderá ser feito a granel ou ensacado. Inclusive, desde que bem homogeneizado, o lodo poderá ser ensacado assim que terminada a operação de mistura.

CUIDADOS COM O TRANSPORTE

1. O veículo utilizado para o transporte deverá ter a carroceria em boas condições.
2. No caso de caminhões caçamba a tampa traseira deve ter trava em funcionamento, prevenindo perdas no percurso.
3. Antes da saída da estação o caminhão deve ser observado, devendo ser vetada a saída de veículos onde haja vazamento de líquidos.
4. Na saída da estação deve haver ainda um dispositivo que permita a limpeza de pneus, para evitar que as estradas de acesso fiquem sujas.

2 ESPALHAMENTO

O espalhamento poderá ser feito manual (uso de pás, enxadas ou vangas), ou implementos agrícolas tais como os espalhadores de esterco ou calcareadeiras. No caso de espalhamento manual, o lodo ensacado tem a vantagem de se conhecer facilmente o peso de cada sacaria, e portanto a facilidade de dosagem na aplicação.

No caso do uso de implementos, como a calcareadeira, a calibração do equipamento segue os mesmos procedimentos utilizados para distribuição de calcário, que consiste:

- a) na aplicação do de uma quantidade (kg) previamente determinada do produto em uma área conhecida (produto da distância e largura do implemento),
- b) transformar a dose aplicada nesta faixa em kg /ha;

- c) comparar com a dose recomendada, se menor, abrir mais os orifícios de saída e/ou aumentar a velocidade de aplicação, dependendo do tipo de implemento.

Para eficiente aplicação do lodo, no caso de lodo anaeróbio proveniente de RALF (reator anaeróbio de leito fluidizado), é importante que a calcareadeira possua eixo rotativo dentro do compartimento de produto, próximo aos orifícios de saída. Estes implementos propiciam melhor distribuição e menor empastamento nos orifícios.

3 DISTRIBUIÇÃO E INCORPORAÇÃO

A forma de transporte, granel ou ensacado, influenciam a facilidade de distribuição do lodo na área. Para pequenas áreas e onde o lodo será distribuído manualmente, ou com o auxílio de carrinho de mão (carricola), o lodo ensacado é mais prático.

Para áreas maiores, onde a aplicação será efetuada com uso de carreta, ou calcareadeira, recomenda-se o transporte a granel, quando o descarregamento na propriedade rural deverá ser distribuído em montes ao longo da área onde será incorporado. A distribuição é semelhante a aplicação de calcário, buscando-se a maior homogeneidade possível. Existem ainda, equipamentos específicos que promovem uma boa distribuição de lodo, com bastante eficiência.

O teor de umidade na calagem, bem como da elevação da temperatura na calagem, determinarão o teor de umidade do lodo calado a ser aplicado. Se o lodo estiver na forma pastosa, haverá dificuldade de aplicação. Neste caso, há duas possibilidades de distribuição: o manual (que pode ser inviável em áreas médias e grandes) ou serão necessários aplicadores construídos ou implementos adaptados especialmente para esta operação.

Nos lodos digeridos anaerobicamente, calados a 70% de umidade, observa-se um lodo calado em torno de 50 a 55% de umidade. Neste caso é possível o uso de calcareadeiras que possuam facas rotativas no fundo do reservatório. Esta opção é a mais promissora já que tais implementos são de uso generalizado entre os agricultores.

Quanto às dosagens, devem ser observados especialmente o pH dos solos e o teor de nitrogênio contido no lodo. As quantidades recomendadas variam de 6 a 18 t/ha.

Logo após a distribuição, os biossólidos devem ser incorporados, para evitar as perdas de nitrogênio, para reduzir os riscos ambientais de escoamento do lodo para os corpos d'água através de enxurrada. Após a incorporação do lodo os riscos de episódios de maus odores e a consequente atração de vetores (causados por lodos que não apresentem uma boa estabilidade) são praticamente inexistentes. A incorporação deve ser feita através de uma gradagem leve, com revolvimento a 10 cm de profundidade. Profundidades maiores não são recomendadas, principalmente em solos com baixa aeração (solos pesados). Para boa incorporação, o solo deve se encontrar devidamente homogeneizado. Evidentemente que o

número de operações utilizadas no preparo prévio do solo para o recebimento de biossólidos dependem de diferentes fatores que podem resultar na sua compactação. Assim, é importante a assistência de Engenheiro Agrônomo.

4 RECOMENDAÇÕES PARA CORREÇÃO E ADUBAÇÃO DO SOLO

Enquanto os estudos a respeito das formas químicas que os nutrientes se apresentam no lodo, bem como sua dinâmica na solução do solo, não forem aprofundados, recomenda-se considerar a concentração de nutrientes na forma elementar ou pura. A partir disto, a transformação para diferentes formas de fertilizantes é simples. No caso do nitrogênio estamos considerando uma liberação de 50% de seu conteúdo na primeira safra. Como a liberação do nitrogênio é bastante influenciada por condições ambientais locais, é recomendável que sejam conduzidos ensaios específicos para definição deste percentual, especialmente para as aplicações de grandes quantidades de biossólidos.

Devemos considerar que, de maneira geral, o lodo tem teores altos de nitrogênio, médios em fósforo e baixo em potássio. Assim, a dose a ser aplicada pode ser calculada em função da necessidade da cultura em nitrogênio, seguindo da complementação mineral com fósforo e potássio. Ou seja, o N será suprido pelo lodo e o P e o K será fornecidos através do lodo e a complementação com fertilizantes minerais. Considerando que os nutrientes contidos no lodo não estão 100% em formas solúveis, como os sais dos fertilizantes minerais, recomenda-se acompanhamento da cultura para verificação dos sintomas de deficiência de nutrientes.

O cal virgem adicionado ao lodo na desinfecção tem uma PRNT - poder relativo de neutralização total - elevada, em torno de 150, o que significa que é o dobro da PRNT dos calcários dolomíticos (75). Assim é de se esperar que o cal promova uma mudança drástica no pH do solo. Outro aspecto a considerar é que o pH altera-se mais rapidamente e por um tempo mais curto, se comparado ao comportamento do calcário. Por esta razão recomenda-se a utilização do lodo calado em solos com pH ácido, principalmente em solos com baixa CTC - capacidade de troca catiônica.

Para uma verificação simplificada, se a dose de lodo a ser aplicada no solo não vai torná-lo básico (acima de 7,0), recomenda-se, antes da aplicação de lodo calado, verificar a dosagem de calcário dolomítico necessária para correção do solo, e dividi-la por dois. Se este valor for menor que a quantidade de cal contida no lodo calado, é de se esperar que o solo não tenha problemas de alcalinidade (o que pode resultar na queda de produção).



CÁLCULO DAS QUANTIDADES DE P e K

Para a cultura do milho são recomendados os seguintes passos para o cálculo das quantidades de lodo e P e K complementares:

PROCEDIMENTOS

1. Calcular a disponibilidade de nutrientes através da interpretação dos resultados da análise do solo;
 2. Verificar a recomendação de adubação para a cultura das instituições de pesquisa oficiais (IAPAR / EMBRAPA) para o cálculo da demanda de nutrientes;
 3. Verificar os teores de N, P e K médios do lote de biossólido a ser aplicado;
 4. Calcular a dosagem de lodo de forma a suprir 100 % do nitrogênio requerido pela cultura;
 5. Calcular, com base no teor de P do lodo e na dosagem previamente estabelecida em função do N, a quantidade equivalente de P_2O_5 que será fornecida através do lodo;
 6. Reduzir da recomendação de P_2O_5 para a cultura, a quantidade equivalente de P_2O_5 fornecida pelo lodo, o resultado é a quantidade a ser complementada com P_2O_5 na forma mineral;
 7. Repetir os itens 5 e 6 para o cálculo da necessidade de K_2O a ser complementado.
- verificar a dosagem de cal e verificar a compatibilidade com o pH do solo.

EXEMPLO DA RECOMENDAÇÃO DE P e K

O resultado da análise de um solo agrícola na região de Londrina, PR, apresentou os seguintes teores de nutrientes:

P = 5,3 ppm

K = 0,33 cmol/dcm³, respectivamente baixo em P e alto em K.

Para a cultura do milho, o IAPAR recomenda para estes níveis de nutrientes no solo:

100 Kg/ha de N

60 Kg/ha de P_2O_5

45 Kg/ha de K_2O .

O resultado da análise do lodo, apresentou os seguintes teores:

N 1,5%

P 1,8 (g/Kg)

K 0,2 (g/Kg).

1. Cálculo da dosagem de lodo / ha em função da necessidade de nitrogênio.

$$DR(t / ha) = \left(\frac{\text{recomendação N}}{\text{teor N}(\%).5} \right) \quad DR = \left(\frac{100}{1,5.5} \right) = 13,33(t / ha)$$

onde: **DR** – Dosagem recomendada de bio sólidos em t / ha.
Recomendação de N – 100 Kg/ha (ou 222,22 Kg/ha de uréia)
Teor de N – 1,5%
Disponibilidade – 50%

2. Cálculo da dose de P₂O₅ contida na dose calculada de lodo.

$$P_2O_5 \text{ lodo} (kg / ha) = \text{teor P} (g / Kg) \times DR (t / ha) \times 2,29$$

$$P_2O_5 \text{ lodo} = 1,8 \times 13,33 \times 2,29 = 54,94 \text{ kg } P_2O_5 / ha$$

3. Cálculo da quantidade de P₂O₅ necessária para complementação mineral.

$$\text{Compl. } P_2O_5 (Kg / ha) = \text{Rec. } P_2O_5 (Kg / ha) - P_2O_5 (Kg) \text{ lodo}$$

$$\text{Compl. } P_2O_5 = 60 - 54,96 = 5,04 \text{ Kg } / ha$$

4. Cálculo da dose de K₂O contida na dose calculada de lodo.

$$K_2O \text{ lodo} (kg / ha) = \text{teor K} (g / Kg) \times DR (t / ha) \times 1,20$$

$$K_2O \text{ lodo} = 0,2 \times 13,33 \times 1,2 = 3,20 \text{ kg } K_2O / ha$$

5. Cálculo da quantidade de K₂O ou KCl necessária para complementação mineral.

$$\text{Compl. } K_2O (Kg / ha) = \text{Rec. } K_2O (Kg / ha) - K_2O (Kg) \text{ lodo}$$

$$\text{Compl. } K_2O = 45 (Kg / ha) - 3,20 (Kg) \text{ lodo} = 41,8 \text{ Kg } K_2O / ha$$

$$\text{ou } \text{Compl. } KCl = \frac{41,8 \text{ Kg } K_2O / ha}{0,6} = 69,66 \text{ Kg } KCl / ha$$

6. Verificação da compatibilidade da dosagem de lodo calado com o pH do solo

Supondo que o pH do solo fosse 5,0; e a recomendação de calcário fosse 6 t/ha, a dosagem máxima provável de cal seria 3 t/ha (Rec. calcário = ½ Rec. Cal).

A dosagem de lodo calado a 50% do peso seco, de 13,33 t, contém 33% de cal virgem, ou seja, 4,44 t de cal virgem. Esta dosagem de cal provavelmente elevará o pH para níveis alcalinos, ou seja, acima do valor 7,0 (pelo menos por algum tempo).

Assim, devemos reduzir a dosagem de lodo e refazer os cálculos para P e K, e também recalcular a complementação de N com uréia ou outra forma de fornecimento de nitrogênio.

Neste exemplo, a dosagem máxima recomendada de lodo calado deverá ser de 9 t/ha, complementados com 22,9 Kg/ha de P₂O₅; 42,94 de K₂O e 72,2 Kg de uréia (45% de N).

5 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS NAS CULTURAS

A avaliação do uso de biossólidos em diferentes sistemas de manejo agrícola foi conduzido através de experimento financiado pelo FINEP/PROSAB. Este trabalho consistiu na avaliação de parcelas utilizando lodo de esgoto em diferentes dosagens, em comparação com a adubação química, nas culturas de milho e aveia, em seis regiões do Paraná. Avaliou também a aplicação do lodo em diferentes sistemas de cultivo, com o uso de biossólidos antes do cultivo da aveia, antes do cultivo do milho e com duas aplicações prévias a ambos os cultivos. Estas espécies foram escolhidas por serem boas indicadoras e de ampla utilização no estado.

Os experimentos foram implantados nas regiões de Paranavaí, Londrina, Ponta Grossa, Guarapuava¹, Curitiba e Morretes². O critério básico para implantação de experimentos nestas regiões foi pelas diferenças ambientais características, conforme tabela 18.

TABELA 18: Caracterização ambiental das regiões de implantação dos experimentos.

Região	Textura do Solo	Material de Origem	Unidade de Solo	Clima
Paranavaí	Arenoso	Arenito - Caiuá	Latossolo Escuro Distrófico textura média	Vermelho úmido Cfa - Sub-tropical
Londrina	Argiloso	Rochas Eruptivas Básicas - Basalto	Terra Roxa Estruturada Distrófica	Cfa - Sub-tropical úmido
Ponta Grossa	Média	Arenito Botucatú - Folhelhos e Argilitos	Latossolo Amarelo Distrófico textura média	Vermelho- super-úmido Cfb - Sub-tropical
Guarapuava	Argiloso	Rochas Eruptivas Básicas - Basalto	Terra Bruna Álica	Cfb - Sub-tropical super-úmido
Curitiba	Média-argilosa	Cristalino - Folhelhos e Argilitos	Latossolo Amarelo Álico argilosa	Vermelho- super-úmido Cfb Sub-tropical
Morretes	Média-argilosa	Depósitos Sedimentares da Planície Litorânea	Podzólico	Af - Tropical super-úmido

Na implantação das áreas experimentais, optou-se por experimentos com diferentes combinações sucessões de culturas inverno (aveia) e verão (milho): *LAM - Lodo-Aveia-Milho*, visando avaliar o efeito residual e/ou a ciclagem de nutrientes proporcionada pela cultura de aveia; *LALM - Lodo-Aveia-Lodo-Milho*, com mesmo objetivo da sucessão anterior, porém com uma sobredosagem de lodo (duas aplicações em um ano); e, *LM - Lodo-Milho*, visando avaliar os efeitos de uma aplicação de lodo precedendo a cultura de milho.

A sucessão de aveia-milho é uma prática bastante comum entre os sistemas de produção desta cultura no Estado do Paraná. Outro aspecto é a necessidade de parâmetros

¹ *Guarapuava e Curitiba*: embora 3 experimentos tenham sido implantados em cada localidade, os 2 experimentos com aveia e em sucessão com milho (LAM e LALM) foram perdidos, devido a problemas climáticos e erros de operação do tratorista incumbido das operações mecanizadas na área experimental, inviabilizando as áreas.

² *Morretes*: embora não estivesse previsto no projeto original, implantou-se um experimento apenas na cultura de milho (LM), otimizando os recursos financeiros e laboratoriais disponíveis.

de uso do lodo frente a duas épocas de preparo do solo (momentos de incorporação de lodo calado) e a contínua produção de lodo ao longo do ano nas ETEs distribuídas no estado.

Utilizou-se, em todos os experimentos, lodo calado a 50% do peso da matéria seca, com cal virgem, priorizando-se, dentro das possibilidades e disponibilidade de leitos de secagem, os lodos produzidos nas respectivas regiões das áreas experimentais. A tabela 19 caracteriza os produtos utilizados em cada região.

TABELA 19: Caracterização dos lodos calados utilizados.

Região	Tipo Lodo por sistema	Origem	Características Químicas g/100g		
			N	P	K
PARANAVAÍ	Anaeróbio	ETE Paranavaí	1,37	0,22	0,02
LONDRIINA	Anaeróbio	ETE Arapongas e Uraí	1,60	0,20	0,05
PONTA GROSSA	Anaeróbio	ETE Guarapuava	1,33	0,19	0,04
GUARAPUAVA	Anaeróbio	ETE Guarapuava	1,33	0,19	0,04
CURITIBA	Aeróbio	ETE Belém	2,5	0,9	0,2
MORRETES	Anaeróbio	ETE Paranavaí	1,37	0,22	0,02

A produção de lodo digerido aeróbiamente é expressiva na região de Curitiba. No interior do Paraná, os RALFs (reator anaeróbio de lodo fluidizado) são os sistemas mais comuns. Devido a este aspecto, associado à falta de informações agrônômicas a respeito do uso de lodos digeridos anaerobiamente, é que se priorizou a utilização deste tipo de lodo.

Os experimentos foram implantados no delineamento de blocos ao acaso, com 3 blocos (repetições) contendo cinco parcelas com os diferentes tratamentos³:

TE - Testemunha;

TA - adubação química, conforme recomendação do IAPAR para as respectivas culturas;

T6 - 6 t/ha de lodo calado;

T12 - 12 t/ha de lodo calado,

T18 - 18 t/ha de lodo calado.

É importante notar que para cada 6 toneladas de lodo calado a 50% do peso seco, há 4 t de matéria seca e 2 t de cal virgem, portanto, os tratamentos T6, T12 e T18 poderiam ser expressos em toneladas de matéria seca/ha, que equivalem às doses 4 t/ha, 8 t/ha e 12 t/ha.

As parcelas LAM (efeito residual via ciclagem) e LALM (sobredosagem ou duas aplicações ao ano com as mesmas dosagens), foram montadas no mesmo experimento, dividindo-se as parcelas em duas. O delineamento destas áreas está na figura 4 (área 1) e as parcelas LM seguiram o esquema demonstrado na figura 5 (área 2).

³ Em Curitiba utilizou-se lodo proveniente da ETE-Belém, que, por ser digerido aerobiamente, possui aproximadamente o dobro dos teores de N e P em comparação com os lodos de RALFs. Por esta razão, optou-se por dosagens de 4, 8 e 12 t/ha, o que equivale respectivamente a 2,67; 5,33 e 8,00 t/ha de matéria seca e 1,33; 2,67 e 4,00 t/ha de cal virgem.

FIGURA 4: Esquema do delineamento experimental aplicado em campo para a área 1.

Delineamento das Áreas Experimentais - Área 1

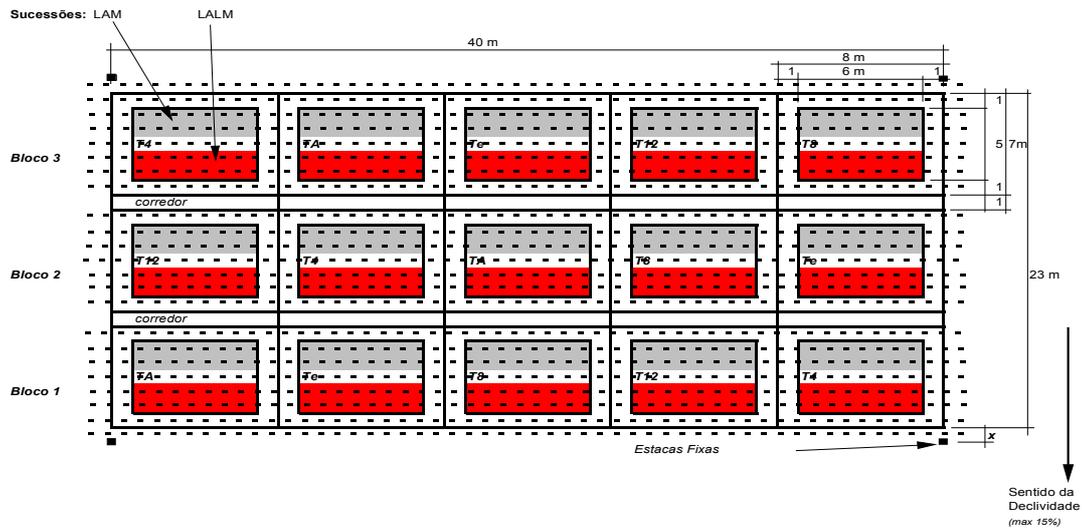
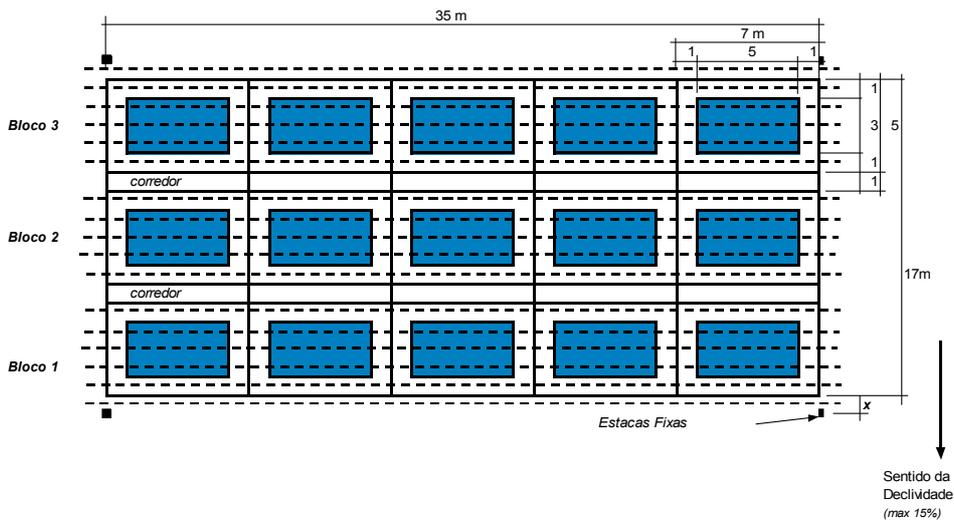


FIGURA 5: Esquema do delineamento experimental aplicado em campo para a área 2.

Delineamento das Áreas Experimentais - Área 2

Sucessões: LM



Coletou-se amostras de solos, plantas e grãos nas fases inicial (antes da implantação da cultura de aveia), média (após a aveia) e final (após o milho). Na cultura de aveia não houve complementação mineral, sendo apenas incorporadas as diferentes dosagens de lodo. Na cultura de milho, o critério básico adotado na complementação mineral nas dosagens com lodo foi a diferença entre os teores de fósforo e potássio no solo e a necessidade da cultura (com base na recomendação de adubação do IAPAR), deduzindo-se as quantidades destes nutrientes fornecidas através do lodo. Para isto, transformaram-se todos os teores em kg/ha no solo, no lodo e nos fertilizantes.

Os principais resultados obtidos com estes experimentos compreendem:

1. De maneira geral os resultados apresentaram elevação do pH nos tratamentos com lodo, proporcionais ao aumento da dosagem e a CTC natural do solo, evidentemente elevando os

teores de Cálcio e Magnésio, CTC e V%, com redução nos teores de potássio. A redução do teor de potássio é resultante do aumento do teor de cálcio, que remove aquele elemento. A CTC é característica de cada tipo de solo, dependente do teor de argila, óxidos e matéria orgânica. O aumento do valor V% teve correlação direta principalmente com os aumentos nos teores de Ca e Mg.

2. O fósforo apresentou-se sempre crescente com o aumento das dosagens de lodo e mudanças do pH, explicado pelo fornecimento através do lodo e pela solubilização do fósforo do solo (mineral e da matéria orgânica). Deve ser observado que adubos fosfatados não devem ser misturados com o lodo calado, pois pode haver a fixação do fósforo em formas não disponíveis para as plantas. A pesquisa recomenda ainda um estudo mais aprofundado sobre as formas de fósforo encontradas no solo após a aplicação de lodo calado.

3. O nitrogênio, por ser extremamente efêmero nas formas mineralizadas, foi sempre proporcional aos teores de matéria orgânica. Seu comportamento diferiu em função das quantidades aplicadas, nas diferentes sucessões lodo milho (LM), lodo, aveia milho (LAM) e lodo, aveia, lodo e milho (LALM). Nas sobre-dosagens, especialmente nas super-dosagens, onde o pH ultrapassou o limite da alcalinidade, teve uma correlação indireta com a produtividade, ou seja, em quando havia alto teor de nitrogênio a produção foi menor que doses menores de nitrogênio. Deve ser esclarecido que nas superdosagens o estoque de nitrogênio no sistema solo-planta estava muito acima dos níveis necessários e que explicam a produtividade, o que significa um alto nível de perda de N por lixiviação e/ou volatilização. Outro aspecto que deve ser cuidadosamente analisado é a relação da disponibilidade de potássio em relação ao aumento dos teores de cálcio do solo.

4. É importante destacar que um dos aspectos mais importantes do lodo é justamente o conteúdo de nitrogênio e de matéria orgânica. Porém, quando aplicado a solo, há um grande consumo de carbono (matéria orgânica) em função da presença de nitrogênio. Embora o fornecimento de carbono seja inexpressivo (nas dosagens utilizadas equivalem a 0,2% dos teores contidos nos solos), a reação de estabilização da relação C/N é responsável pelo consumo de quantidades equivalentes às aplicadas através do lodo. É esperado que em solos degradados estas relações sejam favoráveis ao aumento do teor de matéria orgânica com seu fornecimento via lodo, dado baixo nível deste parâmetro contido no solo.

5. Quanto a CTC natural dos solos, observou-se a maior resposta dos solos com CTC mais baixa, que já era esperada. Estes solos, com textura mais arenosa, apresentaram também um significativo aumento dos teores de carbono (ou de matéria orgânica), o que refletiu no aumento da CTC e do V%. O solos mais argilosos tiveram menores aumentos destes parâmetros, com maior estabilidade ao longo do tempo que os solos arenosos.

6. Em experimentos de campo não observou-se redução na produção em função de P e K quando estes foram fornecidos através de lodo e complementados com P_2O_5 e K_2O . Todavia, alguns poucos sintomas de deficiência de nitrogênio foram observados em dosagens menores

(6.000 Kg/ha), principalmente a partir da na fase de formação da espiga. Esta deficiência pode ser contornada com pequenas aplicações de uréia.

7. As características físicas analisadas não mostram aumentos significativos, embora a retenção de água tenha sido crescente com a dosagem de lodo, também com maior expressão em solos mais arenosos.

8. As maiores produtividades foram verificadas em solos arenosos no sistema de cultivo com aplicação do lodo antes da aveia . A explicação pode estar na ciclagem de nutrientes através da aveia e na maior estabilidade do complexo químico e orgânico do solo.

9. Em relação aos nutrientes analisados em solos, plantas e grãos (N, P, K, Ca e Mg), mostraram correlação entre teores no solo e teores nos grãos, ou seja, quando os teores destes elementos eram altos no solo, apresentavam-se altos nos grãos, principalmente N e P.

10. Os sistemas testados com a aplicação de biossólido imediatamente antes do plantio do milho e a sucessão de duas aplicações consecutivas, com a aplicação de lodo antes do cultivo da aveia e antes do milho tiveram decréscimo na produção quando o pH esteve próximo ou ultrapassou o nível 7,0. Fica evidenciado que o aumento do pH representa um dos fatores que deve ser considerado como limitantes de dosagens, quando os biossólidos forem tratados com cal. Esta limitação, nas condições do experimento foi observada em três situações, isolada ou associadamente: (a) nas dosagens mais elevadas de lodo; (b) em solos com pH inicial alto (c) em solos mais arenosos ou CTC baixa. Desta forma estes devem ser os pontos básicos que definirão os critérios de limitação de dosagens e que devem ser cuidadosamente considerados por ocasião da recomendação agrônômica.

11. Os níveis de metais pesados nos solos e nos grãos nos diferentes sistemas de cultivo não apresentaram diferenças significativas, mesmo nas áreas onde foram aplicadas superdosagens de biossólidos. É importante salientar que de maneira geral os lodos produzidos no Paraná apresentam níveis muito baixos de metais, o que confere grande qualidade a estes biossólidos, porém já foram observados determinados lotes de lodo, onde estes níveis alcançavam os limites definidos na normatização e conseqüentemente foram vetados para a reciclagem agrícola. A principal conclusão a este respeito é de que os níveis adotados na norma paranaense permitem a aplicação segura de lodo na agricultura, e que portanto devem ser cuidadosamente observados. Sugere-se ainda a implantação de uma normatização bastante rigorosa com relação ao recebimento de efluentes industriais em redes públicas, especialmente no que se refere ao conteúdo de metais pesados.

VII - PLANEJAMENTO DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO

Eduardo S. Pegorini

A questão de disposição final dos lodos gerados nos processos de tratamento de esgotos urbanos, é um problema emergente no Brasil, à medida em que se implantam e se operam os sistemas de coleta e tratamento de esgoto no país. A perspectiva de aumento da população e a crescente concentração urbana vem exigindo do Estado e da iniciativa privada a definição de ações imediatas para equacionar uma demanda social com grande tendência ao agravamento: a limitação técnica e econômica da disposição final de resíduos.

Neste contexto, a prática de reciclagem na agricultura, alternativa consagrada em países desenvolvidos, se destaca como opção mais adequada tanto por reduzir a pressão sobre a exploração dos recursos naturais, como por evitar opções menos adequadas e mais impactantes sobre a população e o meio ambiente, além de proporcionar os melhores resultados econômicos.

Resultados de pesquisa e experiências práticas em todo o mundo tem demonstrado os benefícios do uso controlado de lodo na agricultura. Estes benefícios incluem não apenas o aumento de produtividade, a melhoria na qualidade das colheitas e a redução de custos, como também melhorias sobre as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, assegurando a longevidade da atividade agrícola.

A necessidade de adequação do problema não pode, no entanto, considerar a disposição no solo como forma de eliminar um problema eminentemente urbano. A reciclagem na agricultura exige a produção de insumo de qualidade assegurada, garantindo a adequação do produto ao uso agrícola, definindo restrições de uso aos solos e apresentando as alternativas tecnológicas visando maior rentabilidade ao produtor.

O sucesso do programa de reciclagem de lodo está associada justamente ao reconhecimento, pelos usuários e pelo público consumidor, dos benefícios que o uso do lodo traz e que os riscos associados ao seu uso controlado não serão maiores que aqueles associados ao uso de outros insumos de uso freqüente na agricultura.

A produção de insumo de qualidade excepcional, o apoio técnico aos usuários e o monitoramento contínuo da prática são aspectos fundamentais para garantir o sucesso e a longevidade de um programa de reciclagem de lodo na agricultura. A garantia da qualidade do lodo terá reflexos sobre a aceitação pública e receptibilidade por parte do produtor rural. O apoio ao agricultor assegura que o meio ambiente, a saúde humana, animal e das plantas não sejam submetidas a riscos desnecessários. E o monitoramento é a ferramenta que comprovará a qualidade da operação e a necessidade de adequações técnicas. Negligência em qualquer etapa pode inviabilizar a alternativa face às resistências que pode gerar na sociedade, decorrentes de potenciais danos ambientais, agronômicos ou sanitários. Assim, o Plano de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto pode ser considerado um instrumento que visa o planejamento e a otimização das atividades operacionais da disposição agrícola do lodo, avaliando a economicidade, a disponibilidade de área, os problemas sociais e a orientação agronômica do uso do lodo na agricultura.

1. O PROCESSO DE RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO

O processo de planejamento do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto inicia com a análise da produção do lodo nas ETEs e culmina com o acompanhamento dos efeitos da aplicação do lodo sobre o solo e a produção agrícola. A figura 6 apresenta um esquema genérico da reciclagem do lodo, partindo do fluxo do lodo desde a produção do resíduo a partir do esgoto até a colheita das culturas, Apresenta ainda as necessidades de monitoramento e os responsáveis.

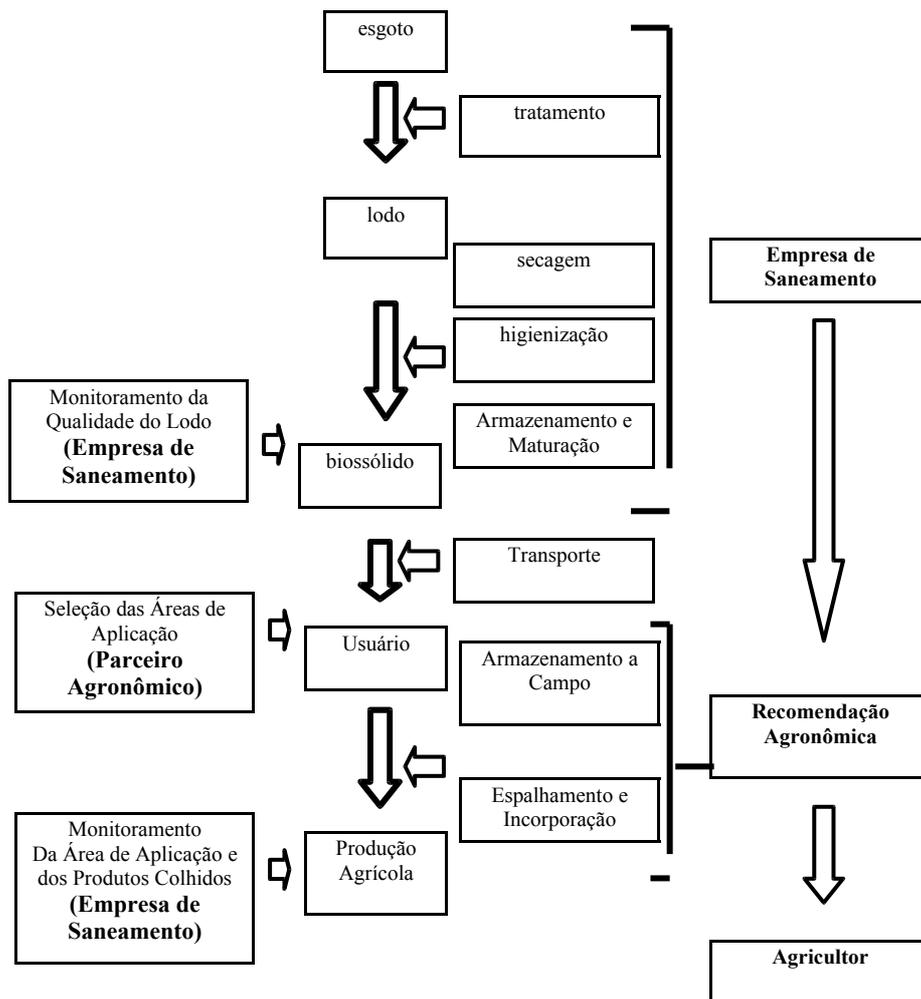
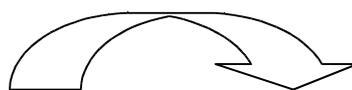


FIGURA 6: Representação esquemática do processo de reciclagem agrícola de lodo.

2. REQUERIMENTOS LEGAIS

No Brasil não existe uma Norma aplicável especificamente a questão de uso de lodo de esgoto como fertilizante na agricultura. Alguns Estados do país vem desenvolvendo estudos que visam orientar a definição de critérios normativos da atividade. No Paraná estes estudos



levaram a definição de critérios preliminares que devem servir de orientação ao órgão ambiental nos processos de licenciamento de projetos de reciclagem. Foram definidos parâmetros de restrição em relação a qualidade do lodo (teor de metais pesados, presença de organismos patogênicos e estabilidade do material), as culturas que podem ser produzidas nas áreas fertilizadas com lodo, as restrições ambientais e a aptidão dos solos para reciclagem do lodo. A figura 7 apresenta um esquema dos parâmetros estruturais que a normatização deve adotar no Estado do Paraná.

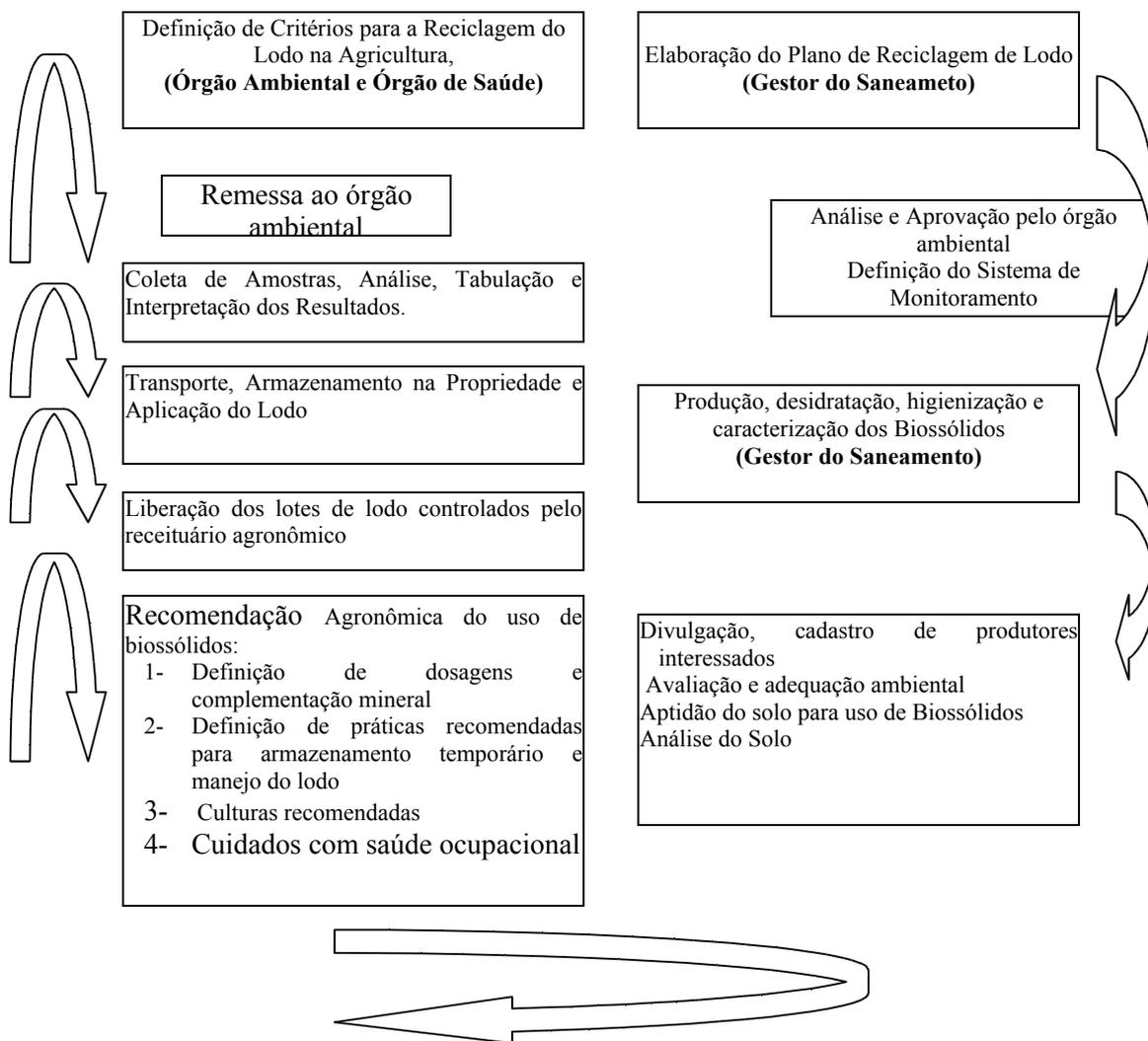


FIGURA 7. Estruturação do Licenciamento e da Norma para Uso Agrícola do Lodo de Esgoto.

3 ESTRUTURA DO PLANO DE RECICLAGEM AG'RICOLA DO LODO

Como pode ser visto na figura 8, sugerimos que a elaboração seja dividida em três fases.

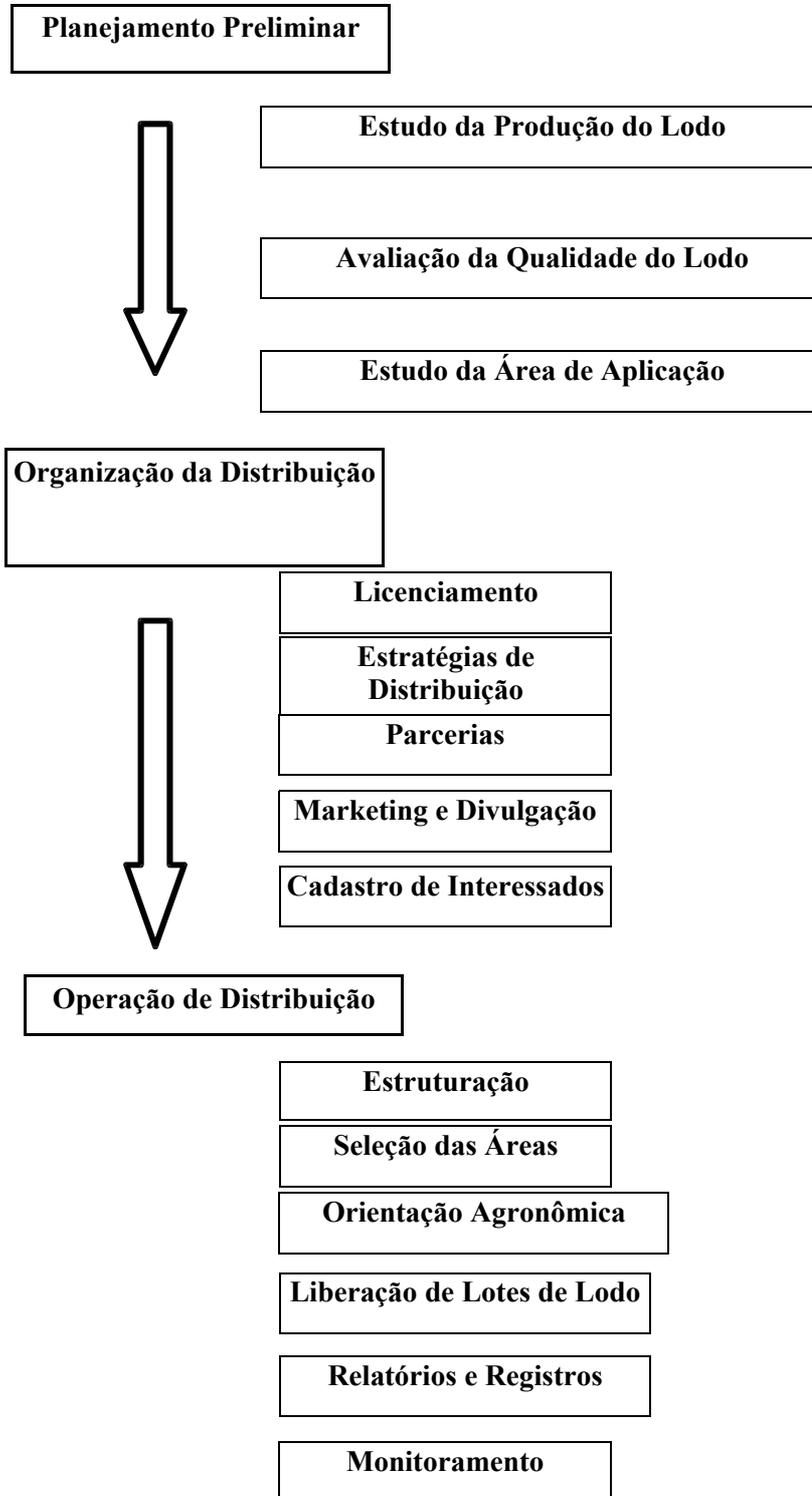


FIGURA 8: Fluxograma simplificado do planejamento de um programa de reciclagem agrícola de lodo.

3.1 PLANEJAMENTO PRELIMINAR

O planejamento da reciclagem inicia com um Estudo Preliminar sobre as condições de produção do lodo, levantando as características do sistema de tratamento que o produz, a capacidade de produção de lodo, a eficiência de produção, a disponibilidade e área para gerenciamento do produto. O passo seguinte é certificar-se de que o lodo produzido tem potencial para uso na agricultura, incluindo avaliação do valor fertilizante, do teor de contaminantes e do grau de estabilização do insumo.

A identificação cuidadosa e a avaliação das área de aplicação constitui a etapa final da fase de estudo preliminar do programa de reciclagem do lodo, tem como funções fundamentais prevenir futuros problemas ambientais, dimensionar a necessidade de monitoramento, minimizar os custos do projeto, e atenuar ou mesmo eliminar reações adversas do público.

Estudo da produção do lodo

A composição do lodo varia em função das características do esgoto que lhe dá origem, do sistema de tratamento empregado, do sistema de estabilização e higienização adotado e das condições de armazenamento deste produto na ETE. Assim, algumas informações que caracterizam a etapa de produção do lodo são importantes:

- regime de funcionamento e vazão de entrada
- sistema de estabilização e higienização: Calagem e/ou compostagem
- avaliação da quantidade produzida (potencial e real): importante na avaliação da eficiência da ETE.
- Tipo de tratamento: aeróbio ou anaeróbio
- Cálculo da área necessária para reciclagem do lodo: Em função das recomendações.
- processo de secagem: leito de secagem, por prensa desaguadora, centrífuga.
- Equipamentos: para os processos de secagem, estabilização e carregamento do lodo.
- Área para gerenciamento do lodo:

As ETEs devem ter áreas dimensionadas especificamente para o gerenciamento do lodo: processo de secagem, estabilização/higienização e armazenagem. Após o processo de higienização o lodo através da calagem tem que ser estocado na ETE por um período mínimo de 2 meses, para garantir a eficácia do tratamento sanitário. O tempo suplementar de estocagem será determinado, também, pela demanda do produto na região.

Avaliação da qualidade do lodo

A utilização agrícola do lodo deve ser vinculada aos resultados das análises dos parâmetros de qualidade do produto. Uma vez que a composição do lodo pode variar em função das características do esgoto, do sistema de tratamento (aeróbio ou anaeróbio) e do processo de higienização adotado, estas variações devem ser mensuradas com freqüência, a fim de assegurar qualidade e viabilidade do produto a ser utilizado na agricultura, e as possíveis restrições de uso que deverão ser estabelecidas.

- parâmetros agrônômicos: matéria seca, matéria orgânica, C, N, P, K, Ca, Mg, S, relação C/N, e pH.
- critérios sanitário: caracterizar o lodo em relação risco de contaminação do meio ambiente por patógenos e microrganismos prejudiciais à saúde humana: ovos viáveis de helmintos e coliformes fecais.
- níveis de metais pesados: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn.
- estabilidade: A questão da freqüência de insetos nos locais de aplicação e estocagem do lodo no campo está associada às más condições de estabilização do produto, e pode ser avaliado pelo teor de cinzas do lodo.

Estudo da área de utilização

O estudo da área de utilização envolve a discussão de características peculiares a cada região. No estudo destas características, o que se objetiva é encontrar parâmetros de avaliação do potencial da região para utilização agrícola do lodo, e da interferência de outras ETEs:

- localização geográfica e estrutura viária: Avaliação da interferência de outras ETEs;
- características climáticas: decomposição, liberação de odores, secagem natural
- hidrologia: Risco de contaminação de mananciais de abastecimento;
- características dos solos predominantes: Avaliação da capacidade de uso da área
- contexto agrícola: Área total para aplicação do lodo, principais culturas compatíveis com o uso de lodo, épocas de preparo e plantio (picos de demanda do resíduo e de equipamentos - carregamento, distribuição e incorporação), perfil dos produtores (aceitação e absorção de novas tecnologias) e grau de tecnificação dos produtores (disponibilidade de equipamentos para trabalho com o lodo).

3.2. ORGANIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

A organização da distribuição aos agricultores utiliza as informações obtidas na fase de Planejamento Preliminar, para a definição das estratégias que serão adotadas para a implementação do programa de reciclagem. É nesta fase que devemos providenciar o licenciamento ambiental para operação da atividade junto ao órgão ambiental. A identificação de parceiros que atuam mais próximos do produtor rural trará grandes benefícios ao programa, não apenas por ter relação mais efetiva junto ao agricultor mas por dar maior credibilidade ao programa para a população em geral. A divulgação do programa também se beneficiará com este sistema de trabalho. Os seguintes aspectos são importantes:

- divulgação: estratégias de marketing (imprensa e reuniões técnicas): A divulgação da utilização do lodo para fins agrícolas deverá ser feita através dos órgãos de imprensa e através de divulgação ativa, devendo ser realizadas reuniões técnicas proporcionando ao agricultor maiores informações sobre a manipulação, benefícios e conseqüências de sua utilização.
- cadastro de produtores interessados: áreas e culturas
A distribuição do lodo deverá ser realizada de acordo com um cadastro de todos os produtores interessados. O cadastro de cada produtor deverá conter a área e a cultura a ser implantada, devendo constar o período a ser utilizado com lodo.
- Obtenção de licenciamento ambiental: junto aos Órgãos competentes de cada Estado.
- outros usuários potenciais: Avaliação das alternativas potenciais de uso: recuperação de áreas degradadas, viveiros florestais, hortos municipais, paisagismo e outros.
- cálculo da área agrícola necessária
- períodos de aplicação e estocagem e culturas de utilização: Segundo extensionistas da EMATER - Pr, o período de utilização se estenderá pelos meses de maio a setembro, diretamente relacionado com o período de estocagem na ETE.
- levantamento de preços de transporte de lodo: Especial atenção deve ser dada à questão do transporte do lodo, que é o fator que mais onera a reciclagem agrícola.
- treinamento de técnicos locais: que deverão orientar os produtores rurais
- treinamento dos responsáveis locais das Estações de Tratamento: para o controle da gestão do lodo

3.3 OPERAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

A última fase envolve os preparativos para implementação da atividade, e compreende a definição de parâmetros de controle da qualidade do lodo, de avaliação do potencial das propriedades, de recomendação agrônômica e de monitoramento da atividade. Devem ser observados os seguintes aspectos:

- coleta de amostras de lodo: quantidade, frequência e parâmetros de amostragem;
- avaliação do potencial da propriedade: Mesmo aprovado pelos critérios sanitários e pelos teores de metais pesados e de cinzas, a utilização do lodo requer cuidados adicionais. É necessário que se estabeleçam critérios para a seleção de áreas que reduzam ao mínimo os riscos associados ao uso agrícola do resíduo e que propiciem as melhores respostas agrônômicas. Dentre outros fatores, aqueles que oferecem maior risco são os que resultam em movimentação dos componentes do lodo por lixiviação ou escoamento superficial.
- recomendação de adubação e complementação mineral: A determinação das doses de aplicação deve levar em consideração a capacidade de absorção de nutrientes pela cultura e a análise de solo. O uso do lodo e a complementação mineral devem seguir as recomendações do técnico responsável.
- carregamento, distribuição e incorporação do lodo: Empecilhos locais, problemas orçamentários, precauções no transporte, critérios para adequação de depósitos temporários nas propriedades, disponibilidade de equipamentos e instrução dos agricultores
- monitoramento ambiental: critérios e metodologias de monitoramento, definição de estratégias de avaliação dos impactos do uso do lodo sobre os caracteres bióticos e abióticos do meio.
- organização e manutenção de cadastro: todos os documentos, especialmente os relacionados às características qualitativa do lodo e da capacidade de uso das áreas de aplicação, devem ser arquivados e disponíveis para consulta pelos órgãos competentes e eventuais interessados.
- apoio a pesquisas: sempre que possível, o plano deve estabelecer convênios com instituições de pesquisa, fornecendo o material necessário para o desenvolvimento de pesquisas que venham a contribuir e otimizar a atividade,

De forma genérica o processo de planejamento da reciclagem agrícola do lodo é apresentado no quadro a seguir.

ESQUEMA RESUMIDO DO PLANO DE RECICLAGEM DE LODO

	Fluxo do Operação	Estudo e Gestão	Análise e Controle
1. Estudo da Produção do Lodo	Contato com o Órgão Ambiental para definição de parâmetros ambientais Produção de lodo calado	regime de funcionamento e vazão de entrada sistema de estabilização e higienização tipo de tratamento equipamentos área para gerenciamento do lodo avaliação da quantidade produzida cálculo da área necessária para distribuição treinamento dos técnicos do sistema de tratamento	Necessidade de Estruturação das ETEs: processo de secagem eficiência da ETE (produção real e potencial) sistema de estabilização e higienização área para gerenciamento do lodo treinamento dos técnicos de ETE
2. Avaliação da Qualidade do Lodo	Estocagem e Maturação de lodo (1,5 a 2 meses)	valor agrônômico metais pesados patógenos estabilização	Análise do lodo Registro dos dados
3. Estudo da Área de Distribuição do Lodo	Definição das zonas de valorização do lodo	localização geográfica estrutura viária características climáticas hidrologia características dos solos predominantes contexto agrícola	Definição das regiões mais aptas
4. Organização da Distribuição	Regularização junto ao Órgão Ambiental Contato com agricultores Contato com outros usuários Definição de estratégias de transporte	divulgação cadastro dos produtores interessados outros usuários potenciais períodos de aplicação e estocagem e culturas de utilização levantamento de preços de transporte treinamento dos técnicos obtenção de licença ambiental	Formação e apoio aos agricultores e técnicos Controle das Operações de Transporte e Distribuição
5. Operação de Distribuição	Carregamento, espalhamento e incorporação Plantio Colheita	coleta de amostra de lodo avaliação do potencial da propriedade recomendação de adubação e complementação mineral carregamento, distribuição e incorporação do lodo monitoramento ambiental relatório de operação e registro de dados	Análise do solo antes do espalhamento Recomendação de adubação Controle das aplicações de lodo Controle dos solos após a colheita

A elaboração do Plano de Distribuição do Lodo é a base técnica para a eficiente operacionalização da reciclagem agrícola do lodo. Uma das atividades previstas no Plano é o Monitoramento, entendido como um instrumento que comprove a qualidade de toda a operação de reciclagem através da definição de critérios, indicadores, métodos e estratégias de avaliação dos impactos do uso do lodo na agricultura.

O monitoramento de qualquer proposta de desenvolvimento procura avaliar os resultados das medidas recomendadas com objetivo de valorizar os impactos positivos e propor medidas para atenuar os negativos.

Para a atividade de reciclar o lodo de esgoto na agricultura os seguintes impactos ambientais podem ser identificados:

IMPACTOS POSITIVOS

Reciclagem de Resíduo: visando um desenvolvimento sustentado, os resíduos são recursos potenciais e as melhores alternativas de disposição de um subproduto são a minimização de sua produção combinada a sua reciclagem como insumo de novos processos.

Melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo: estabiliza a estrutura do solo aumentando a capacidade de retenção de água do solo e de nutrientes minerais. A matéria orgânica do lodo favorece a agregação das partículas, com benefícios sobre a infiltração e retenção de água e a aeração do solo. A mineralização do lodo fornece nutrientes para a planta e para a flora e fauna do solo cuja atividade influi diretamente na nutrição das plantas.

Aumento da produtividade agrícola: a matéria orgânica e nutrientes do lodo proporcionam um aumento na produtividade das culturas.

Benefícios econômicos: com o aumento da produtividade ocorre um aumento nos lucros obtidos com a venda do produto.

IMPACTOS NEGATIVOS

Contaminação por patógenos: o esgoto contém uma variedade de patógenos, incluindo bactérias, vírus, parasitos e fungos, muitos dos quais sobrevivem ao tratamento do esgoto e são concentrados no lodo. Embora os processos de estabilização, reduzam o número de patogênicos no lodo, alguns sobrevivem e podem representar um risco a saúde humana e animal.

Contaminação por metais pesados: os solos já contém metais pesados em função de sua formação geológica ou pelo aporte de insumos químicos, pesticidas e poluição atmosférica e hídrica. Deve ser considerado o efeito cumulativo no solo e a absorção de metais pelo solo e plantas.

Atração de insetos vetores: alguns insetos são potenciais transmissores de agentes infectantes quando do contato com o homem. O aumento da frequência de insetos a locais de aplicação de lodo pode ocorrer quando o lodo não está bem estabilizado.

Emissão de odores: consequência da má estabilização do lodo, a presença de odor ofensivo pode ser fator de não aceitação do produto pelos agricultores.

A empresa geradora do resíduo deve se responsabilizar pela fiscalização do gerenciamento e pelo monitoramento da operação de destino do lodo e o órgão ambiental deve aprovar o Plano de Distribuição do Lodo e proceder o acompanhamento e fiscalização do processo de monitoramento.

Um eficiente plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo deve monitorar os impactos ambientais provocados pelo produto. A avaliação deve se dar em dois níveis: no biossólido e na área de aplicação.

1 MONITORAMENTO DO BIOSSÓLIDO

A análise regular do lodo tem por objetivo determinar sua recomendação para a aplicação no solo e para manter o registro dos nutrientes e metais adicionados ao solo.

Cabe ao responsável pela ETE garantir a qualidade do biossólido a ser disponibilizado ao produtor rural mantendo registradas as informações de cada lote de lodo para fins de acompanhamento e fiscalização.

1.1 PRÉ-REQUISITOS AO MONITORAMENTO DE BIOSSÓLIDOS

Como atividade anterior ao monitoramento do biossólido devem ser seguidos os seguintes procedimentos:

- a) *Definição da produção de biossólido:* é uma atividade prevista para a elaboração do Plano de Reciclagem Agrícola de Lodo e é a base para o desenvolvimento de qualquer ação de disposição final do resíduo. Sabendo-se a produção pode-se estimar a área necessária para a disposição em solo agrícola e determinar o tamanho dos lotes de biossólido para monitoramento.
- b) *Higienização do lodo:* através de calagem (adição de cal), compostagem ou outro método eficiente de redução de patógenos.
- c) *Definição da frequência de amostragem do biossólido:* estabelecida em função da produção de lodo.

Para o Estado do Paraná, considerou-se o estabelecimento de Unidades de Gestão de Disposição Final de Lodo definidas como uma ou mais ETEs que, para a reciclagem de biossólido, são gerenciadas conjuntamente para fins administrativos. Assim, a frequência de amostragem para fins de caracterização do biossólido é orientada de acordo com o porte da Unidade de Gestão conforme o quadro a seguir:

PORTE DA UNIDADE DE GESTÃO TONELADA DE LODO/ANO (BASE SECA)	FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM
Até 60 toneladas . ano ⁻¹	Anual (anterior a safra de maior demanda pelo bio sólido)
De 60 a 240 toneladas . ano ⁻¹	Semestral (uma anterior à safra de verão e outra anterior à safra de inverno)
Acima de 240 toneladas . ano ⁻¹	A cada lote de 240 toneladas de matéria seca

d) *Definição dos limites de qualidade do bio sólido:* devem ser estabelecidos principalmente os limites de metais pesados e patógenos que garantam a proteção à saúde humana, animal e do meio ambiente.

A legislação norte-americana da Agência de Proteção de Ambiental – USEPA de 19/02/1993 (40CFR Part 503) estabelece os limites máximos aceitáveis. Uma legislação brasileira encontra-se em discussão e, para o Estado do Paraná, foram adotados os seguintes limites:

PARÂMETRO	VALOR LIMITE NO BIOSSÓLIDO
Cádmio - Cd	20 mg/kg matéria seca
Cobre - Cu	1.000 mg/kg matéria seca
Níquel - Ni	300 mg/kg matéria seca
Chumbo - Pb	750 mg/kg matéria seca
Zinco - Zn	2.500 mg/kg matéria seca
Mercúrio - Hg	16 mg/kg matéria seca
Cromo - Cr	1.000 mg/kg matéria seca
Helminhos – viabilidade de ovos	0,25 ovos /g matéria seca
Coliformes Fecais	10 ³ NMP / g matéria seca

1.2 BASES PARA O MONITORAMENTO DE BIOSSÓLIDO

O monitoramento do lodo de esgoto é realizado junto a estação de tratamento compreendendo os seguintes procedimentos:

- Amostragem do lote de lodo:* deve ser realizada uma amostragem composta de 15 pontos do lote de lodo higienizado a ser analisado.
- Parâmetros para monitoramento da qualidade do Bio sólido:* o controle da qualidade do bio sólido deve ser realizado para os aspectos de valor fertilizante do lodo, seu teor de metais pesados, sanidade e estabilidade.

Valor fertilizante: o resultado da análise físico-química fornece elementos para o cálculo de adubação complementar. Os parâmetros que devem ser mensurados compreendem:

- pH
- Matéria seca
- Matéria orgânica
- Carbono
- Relação C/N
- Nitrogênio
- Fósforo
- Potássio
- Cálcio
- Magnésio
- Enxofre

Teor de Metais Pesados: a seleção dos metais a serem monitorados passa pelo conhecimento do tipo de esgoto que está sendo tratado. Lançamento de efluentes que contenham determinado metal pesado junto ao esgoto doméstico pode comprometer o uso do lodo na agricultura. Partindo-se desta análise pode-se definir os metais que devem ser monitorados. No estado do Paraná são analisados: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr. Já o Estado de São Paulo propõem o estudo destes elementos e inclui ainda o Arsênio (As), Molibdênio (Mo) e Selênio (Se).

Uma vez estabelecidos os metais a serem analisados e seus limites no biossólido, o monitoramento do teor de metais pesados irá garantir que apenas sejam liberados os lotes de lodo adequados a disposição na agricultura.

Sanidade: diz respeito ao monitoramento dos patógenos presentes no lodo. O Paraná adotou como parâmetros a análise de coliformes fecais e a contagem de ovos viáveis de helmintos considerando-se que uma vez reduzidos estes patógenos os demais são eliminados ou estão em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários e ao meio.

Para a reciclagem agrícola devem ser liberados apenas os lotes de lodo que atendam os limites estabelecidos para a garantia da qualidade do lodo.

Estabilidade: a estabilidade da matéria orgânica do biossólido deve ser avaliada pelo seu teor de sólidos fixos que deve ser superior a 29% em relação ao peso seco de lodo.

- c) *Definição quanto a liberação do lote:* serão liberados os lotes de lodo que atenderem as especificações quanto a qualidade do lodo. No caso de não conformidade com algum dos parâmetros estabelecidos deve ser verificada a possibilidade de um tratamento específico. Caso não haja alternativa o lote deve ser desconsiderado para o uso na agricultura e encaminhado para outra forma de disposição.
- d) *Cadastro das Informações:* os dados referentes ao monitoramento do biossólido devem ser cadastrados e mantidos em arquivo para o acompanhamento da qualidade do produto, registro das características físico-química e biológica do produto que será incorporado ao solo e para os procedimentos de fiscalização do órgão ambiental.



AMOSTRAGEM DE LOTE DE LODO

O objetivo de qualquer amostragem é o de sempre coletar uma porção representativa, cujo resultado fornecerá uma imagem real do universo estudado.

COLETA: coletar frações do lote do lodo em 15 pontos distintos, escolhidos ao acaso, e em diferentes profundidades obtendo-se uma amostra composta de 1000 g. Homogeneizar com misturador ou espátula.

QUANTIDADE: para a análise dos parâmetros de sanidade (coliformes e ovos de helmintos) a amostra deve conter 1000 g de lodo. Para a análise de parâmetros agronômicos e de metais pesados são necessários 500 g para cada caso.

ACONDICIONAMENTO: a amostra de lodo deve ser acondicionada em saco plástico limpo. Para a análise dos parâmetros de sanidade a amostra deve ser mantida a temperatura de 4°C por no máximo 24 horas para conservação e transporte ao laboratório.

IDENTIFICAÇÃO: as amostras devem ser encaminhadas aos laboratórios com uma etiqueta de identificação contendo as seguintes informações:

AMOSTRA Nº:	Local da Coleta:	Data: / / .	Hora:
Origem do Resíduo: Lodo Digerido Aeróbio Lodo Digerido Anaeróbio		Bruto Calado Compostado	
Parâmetros a serem analisados:			
AGRONÔMICOS			
- pH em água		- Enxofre total (em SO ₃)	
- matéria seca e matéria orgânica (%)		- Fósforo total (em P ₂ O ₅)	
- Nitrogênio total (em N)		- Potássio Hidrossolúvel (em K ₂ O)	
- Carbono total (em C)		- Cálcio total (em CaO)	
- Magnésio total (em MgO)		- Relação C/N	
SANITÁRIOS			
- coliformes fecais (presença/ausência e quantitativo)			
- ovos de helmintos viáveis (%)			
METAIS PESADOS - expressos em mg/kg			
Coletado por:			
Instituição encarregada da análise:			
Observações:			

O mesmo procedimento deve ser adotado para a amostragem e caracterização de solo.

CADASTRO DE INFORMAÇÕES DO LOTE DE LODO

1. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO			
1.1. Município:		1.2. Nome da Estação:	
1.3. População Atendida:		1.4. Vazão de Entrada (l/s):	
1.5. Sistema de Tratamento de Esgoto:		1.6. Sistema de Secagem:	
1.7. Produção de Lodo Esperada (m ³ /mês):		1.8. Área para Armazenagem de Lodo (m ²):	
1.9. Croqui de Localização:			
1.10. Endereço: Rua: _____ N.º _____			
Bairro:		CEP:	
Tel.: (____) _____		Fax. (____) _____	
2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE DESINFECÇÃO			
2.1. Sistema Empregado:			
() Calagem () Compostagem () outro (especificar)			
2.2. Quantidade de cal aplicado por tonelada de M.S.:			
2.3. Sistema de mistura: <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Betoneira <input type="checkbox"/> Misturador			
Tempo Mínimo de Estocagem após a Calagem: 60 Dias			
3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO LODO HIGIENIZADO			
Data de coleta:			
Laboratório que realizou a análise:			
3.1. Parâmetros agrônômicos			
Matéria Seca (M.S.) (%)		Cálcio (Ca++) (%)	
Matéria Orgânica (M.O.) (%)		Magnésio (Mg++) (%)	
Carbono (C) (%)		Enxofre (S) (%)	
Nitrogênio (N) (%)		Relação C/N	
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)		pH	
Potássio (K ₂ O) (%)			
3.2. Sanidade			
Ovos de Helmintos viáveis (ovos / g M.S.)		limite permitido 0,25 (ovos / g M.S.)	
Coliformes Fecais		limite permitido 10 ³ NMP/g M.S.	
3.3. Metais Pesados			
Teor na Amostra		Teor Permitido	
Cd (ppm)	20	Ni (ppm)	300
Cr (ppm)	1000	Pb (ppm)	750
Cu (ppm)	1000	Zn (ppm)	2500
Hg (ppm)	16		
3.4. Avaliação da Estabilização			
Teor de Cinzas (%) (Sólidos Fixos)		limite mínimo 30 %	
Termo de Compromisso:			
Responsável pela Estação:			
Nome:			
Assinatura:			

2 MONITORAMENTO DAS ÁREAS DE APLICAÇÃO

As áreas de aplicação devem ser monitoradas regularmente para avaliar o desempenho do uso do lodo e determinar seus efeitos no ambiente. Tem por objetivo proteger o produtor, a população e o ambiente.

Cabe a um engenheiro agrônomo ou técnico agrícola a responsabilidade pelo monitoramento das áreas de aplicação e da manutenção do registro das informações para o controle por parte do órgão ambiental.

2.1 PRÉ-REQUISITOS AO MONITORAMENTO DAS ÁREAS DE APLICAÇÃO

As áreas selecionadas ao recebimento de lodo devem permitir o melhor aproveitamento do insumo com garantia de manutenção e/ou melhoria da qualidade do ambiente, de segurança para o produtor e consumidor dos produtos produzidos. Estas áreas devem ser previamente definidas no Plano de Reciclagem Agrícola de Lodo, procurando atender as seguintes orientações:

- a) *Seleção do Local:* a área de distribuição do lodo é definida em função da disponibilidade de área agrícola para um programa de reciclagem agrícola do lodo e sua distância da estação de tratamento. Análises econômicas indicam que todo solo potencialmente disponível dentro de um raio de 50 km da planta de tratamento pode ser considerada para a aplicação de lodo, sendo economicamente viável o transporte do material até os sítios de disposição.
- b) *Seleção das áreas aptas:* os sítios de disposição de lodo ou áreas aptas serão aqueles locais onde a possibilidade de risco com o uso do produto seja a menor possível e que ao mesmo tempo propicie a melhor resposta agrícola para otimizar o uso do lodo. Alguns critérios básicos devem ser definidos para a seleção das áreas aptas como:
 - distância mínima de 100 m de cursos d'água, poços e minas,
 - distância mínima de 200 m de áreas residenciais e de frequência pública,
 - distância mínima de 2000 m da área de manancial de abastecimento,
 - declividade inferior a 20%,
 - textura do solo entre 35 – 60% de argila e pH entre 6,0 e 6,5,
 - distância mínima de 1,5 m entre a superfície do solo e a rocha intemperizada.
 - lençol freático a uma profundidade mínima de 1,5 metros.

Mapas de aptidão dos solo e de uso e ocupação podem ser usados para determinar a potencialidade das áreas.

- c) *Seleção das culturas*: o uso do lodo tem sido testado em várias culturas e algumas se prestam mais que outras em função do melhor aproveitamento da composição química do lodo, da liberação lenta de nitrogênio e por eliminar os riscos associados a presença de patógenos no lodo. São ideais ao uso do lodo as grandes culturas cujos produtos não são consumidos *in natura*, como milho, feijão, soja, sorgo, canola, trigo, aveia, cevada, forrageiras, dentre outras. O lodo pode ser usado ainda em reflorestamentos, na implantação de pomares e em áreas degradadas. A liberação do uso do lodo para outras culturas deve ser decidida em função do processo de redução de patógenos. Quanto mais eficiente o processo menos restritivos podem ser os critérios.
- d) *Definição da dose de aplicação*: a quantidade de lodo a ser aplicada a cada hectare deve ser fixada em função da capacidade de assimilação da cultura em elementos fertilizantes, principalmente nitrogênio e fósforo, e da capacidade de absorção dos solos, de modo a evitar lixiviação de nitratos. Para as culturas agrícolas, estudos apontam o uso de doses entre 3 e 9 t/ha de lodo seco e recomendam que as doses devem ser iguais ou inferiores a 50 t/ha de matéria seca de lodo para um período de 10 anos.

2.2 BASES PARA O MONITORAMENTO DAS ÁREAS DE APLICAÇÃO

O monitoramento das áreas de aplicação compreende os seguintes procedimentos:

- a) *Caracterização do solo*: a avaliação dos parâmetros agronômicos do solo tem por finalidade a definição da fertilidade original da área, a indicação correta dos nutrientes a serem fornecidos para a cultura em vista, definindo a dosagem de lodo e de adubo mineral complementar necessário.

Os parâmetros a serem analisados compreendem:

- pH
- Matéria orgânica
- Fósforo
- Cálcio
- Potássio
- Magnésio
- Carbono
- Relação C/N
- Capacidade de Troca Catiônica (CTC)
- Porcentagem de saturação de bases
- Acidez potencial (H+Al)
- Nitrogênio

- b) *Frequência de monitoramento para parâmetros agronômicos*: deverá ser anual ou anterior a cada aplicação de biossólido e deve constar na recomendação agronômica.

- c) *Avaliação do Teor de Metais Pesados*: os metais a serem monitorados deverão ser os mesmos considerados para a análise do biossólido. Para o Estado do Paraná foram adotados os seguintes valores limite de concentração de metais pesados em solos para a incorporação do lodo:

PARÂMETRO	VALOR LIMITE NO SOLO
Cádmio - Cd	1,0 mg/kg matéria seca
Cobre - Cu	50,0 mg/kg matéria seca
Níquel - Ni	30,0 mg/kg matéria seca
Chumbo - Pb	50,0 mg/kg matéria seca
Zinco - Zn	150,0 mg/kg matéria seca
Mercúrio - Hg	1,0 mg/kg matéria seca
Cromo - Cr	100,0 mg/kg matéria seca

d) *Definição quanto a incorporação do biossólido na área selecionada:* após a verificação da aptidão da área ao recebimento de lodo de esgoto a área poderá receber o biossólido se os limites de metais pesados no solo não excederem aos valores máximos definidos.

e) *Frequência de monitoramento para metais pesados:* a frequência de monitoramento de metais no solo pode ser estabelecida de diversas formas, sempre com anuência do órgão ambiental. Pode ser estabelecida em função da existência de elementos considerados limitantes da taxa de aplicação; realizada anualmente nas áreas que tenham recebido a maior dosagem de biossólido; realizada a cada cinco anos; ou a cada 100 ha de utilização do biossólido em solos de mesmo material de origem.

O monitoramento subsequente serve como uma checagem destes constituintes no solo e assegura que o teor máximo recomendado não seja excedido.

f) *Acompanhamento da Produtividade:* é recomendável a realização do monitoramento da produtividade das áreas de aplicação utilizando-se as áreas com lodo incorporado em comparação a parcelas testemunha (sem aplicação de lodo). O resultado deste acompanhamento, além de testar a eficiência do lodo na agricultura, poderá aperfeiçoar os critérios utilizados visando o uso mais econômico do produto e fornecer outros indicadores a serem monitorados ampliando as avaliações, controle e a confiabilidade da população e dos órgãos ambientais nesta alternativa de disposição final de resíduos.

A manutenção de uma área testemunha junto a área de aplicação de biossólido pode também ser utilizada como área demonstrativa para outros produtores. No Estado do Paraná esta estratégia de convencimento do produtor rural foi utilizada através da realização de atividades denominadas "dia de campo". Nestes dias o agrônomo responsável por determinada área de aplicação convidava outros produtores para conhecer a área e procedia a exposição do produto, a correlação com a aplicação de resíduos animais (esterco), os benefícios na produtividade e os cuidados a serem tomados com a aplicação. Este tipo de atividade pode ainda colocar a reciclagem agrícola como fator de envolvimento do produtor no sentido de conservar as propriedades de fertilidade da terra - uma vez que a prática exige controle estrito e orientação técnica constante. Com

isto poderão estar em verdade sendo criadas condições a que práticas de conservação de solos associadas ao uso de lodo atinjam mais produtores rurais.

- g) *Cadastro das Informações*: os dados referentes ao monitoramento das áreas de aplicação, bem como os do biofóssido, devem ser cadastrados e mantidos em arquivo para o acompanhamento do desempenho da área e dos efeitos do uso do lodo no ambiente e para os procedimentos de fiscalização do órgão ambiental.

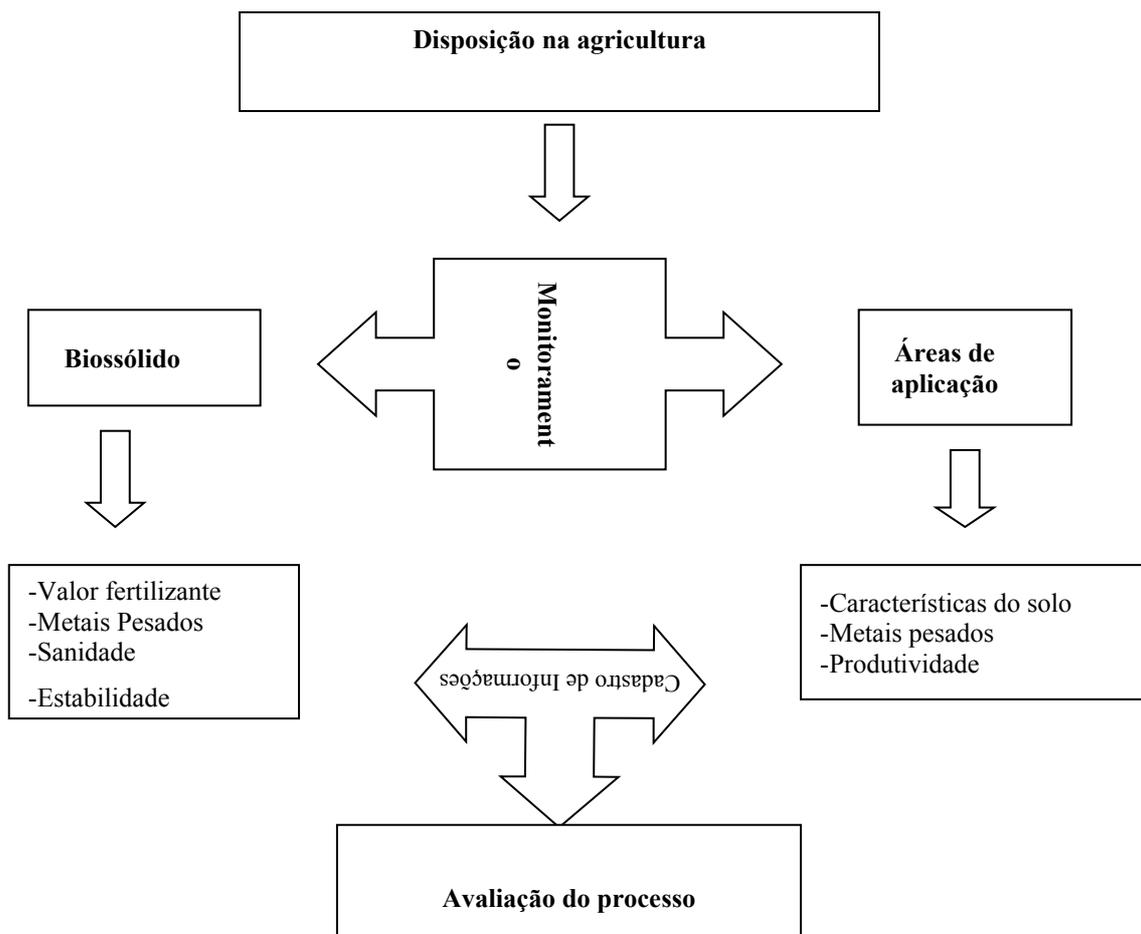
Além da manutenção das fichas com as informações sobre a área, aporte de lodo, características do lodo e do solo é fundamental que as áreas de aplicação sejam mapeadas gerando uma visão global das propriedades envolvidas e orientando a execução do Plano de Distribuição de Lodo. Uma forma mais ágil de proceder o monitoramento envolve a manutenção do cadastro das propriedades e demais informações sobre cada aporte de lodo na forma de um banco de dados sobre o processo. Este banco de dados servirá para a alimentação de um sistema geográfico de informações visando facilitar o acompanhamento espacial e temporal dos procedimentos de reciclagem agrícola do lodo. Estas informações deverão ser repassadas aos produtores, como forma de manutenção da confiança no insumo utilizado, e aos órgãos estaduais de meio ambiente, saúde e agricultura para o devido acompanhamento e avaliação dos procedimentos adotados.

- h) *Outros parâmetros de monitoramento*: o plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo pode incluir outros parâmetros de avaliação. Estes parâmetros são definidos quando da elaboração do plano baseiam-se nos impactos positivos e negativos, ao ambiente e a saúde humana e animal, identificados para o processo de uso de lodo na agricultura. Além do acompanhamento das características do biofóssido e das áreas de aplicação pode-se avaliar a presença/ausência de insetos vetores e a emissão de odores. O procedimento consiste em verificar a presença constante e em grandes quantidades de insetos, atraídos pelo odor, junto ao lodo higienizado e estocado e nas áreas de aplicação. A presença dos insetos possibilita inferir sobre o padrão de qualidade da operação de tratamento e higienização do lodo. Alterações na operação da estação de tratamento, como o aumento do tempo de residência dos esgotos nos tanques de aeração contribuem para o equacionamento do problema. A calagem é outro procedimento que promove a estabilização química do lodo.

3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO

O cadastramento das informações e o acompanhamento das atividades nas áreas de aplicação e junto a estação de tratamento subsidiam a avaliação constante do processo para a tomada de decisão sobre a continuidade de aplicação de biossólido em determinada área.

De forma geral o processo de monitoramento pode ser observado no fluxograma abaixo.



A reciclagem dos lodos tratados, ou biossólidos, em áreas agrícolas é viável e desejável. Da mesma forma que os efluentes provenientes do tratamento do esgoto voltam aos rios com o menor impacto ambiental possível, os lodos devem ser tratados e reciclados na natureza, com impacto ambiental dimensionado e gerenciado de forma responsável e segura. Esta a obrigação de uma companhia de saneamento básico.

Para isso é necessário que se estabeleçam normas para controle da qualidade na produção e na aplicação e a definição de um eficiente e prático plano de monitoramento. Programas estaduais de regulamentação podem especificar os requisitos para o

monitoramento dos sítios de aplicação do lodo de esgoto e os órgãos ambientais devem ser contatados para identificar a aplicabilidade dos requisitos de monitoramento.

O uso do lodo na agricultura vem sendo mundialmente pesquisado. Experimentos de campo e laboratório realizados nos Estados Unidos com o uso sucessivo de biossólidos por 30 anos demonstraram a ausência da degradação ambiental ou impactos desfavoráveis sobre a saúde humana sendo as plantas e animais melhorados por causa do aumento da fertilidade do solo. Levantamento recentes apontam que nenhum efeito adverso do uso controlado do lodo foi encontrado em mais de 50.000 artigos científicos pesquisados, sobre o assunto.

Estes dados demonstram que a reciclagem do lodo na agricultura é uma prática segura mas, a implantação de procedimentos de controle são fundamentais para o sucesso da atividade.

- ANDREOLI & BONNET (coord.) **Manual para Análise Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Curitiba: Sanepar, 1998.
- ANDREOLI, C. V. **Disposição final do lodo de esgoto da ETE Belém**. Curitiba : Sanepar, 1988 (Datilografado). 90 p.
- ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S. **Reciclagem Agrícola do lodo de esgoto**. Estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, ed. SANEPAR, 1997. 84p.
- ANDREOLI, C. V.; SOUZA, M. L. P.; COMIM, J. J. *et al.* Bases para o uso agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém. In : **SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL** (4 : 1994 : Florianópolis). **Anais...** Florianópolis : ABES/APRH, 1994b. v. 1, t. 1, p. 389 - 402.
- ANDREOLI, C.V. DOMASZAK, S FERNANDES, F LARA, A. I. Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná. **Sanare**; Curitiba, 1997, **7** (7):53-60
- BISCAIA, R.C.M. & MIRANDA, G.M. Uso de lodo de esgoto calado na produção de milho. **Sanare**, Curitiba, 1996, **5**(5):86-89.
- BONNET, B.R.P. **Diagnóstico situacional e proposição preliminar do plano de monitoramento dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola de lodos de esgoto no Paraná**. Curitiba, Monografia (especialização em Análise Ambiental) Setor de Tecnologia, UFPR. 1995. 153 p.
- CANZIANI, J. R., Economicidade do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto na Região Metropolitana de Curitiba, In: **III Seminário de Estudo da Reciclagem Agrícola do Lodo**, (4.1998. Curitiba), não Publicado
- CAST - Council for Agricultural Science and Technology. Application of Sewage Sludge to Cropland: Appraisal of potential Hazards of Heavy Metals to Plants and Animals. **Report n. 64**, 1976.
- CAST - Council for Agricultural Science and Technology. Effects of sewage sludge on the cadmium and zinc content of crops. **Report n. 83**, 1980.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR: **Manual Técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba. Sanepar, 1997. 96 p.
- Conferência da Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21. Brasília: câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472 p.
- DESCHAMPS, C. FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. **Sanare**, Curitiba, 1998, **8** (8):33-38
- ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE OF CANADA - EPS. Environment Canada. **Manual for and application of treated municipal wastewater and sludge**. Ontario : EPS, 1984. 216 p. (6-EP-84-1).
- EVANS, Assessing the risks of recycling. Water & Environmental International, 27-30. England, 1998.
- FERNANDES, F., COELHO, L. O., NUNES, C. W., SILVIA, S. M. C. P. Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos. **Sanare**, Curitiba, v. **5**, n. 5, 1996. p. 36 - 45
- HEALTH and WELFARE CANADA. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Supporting Documentation, Ottawa, 1980.
- IMHOFF, K. R. Desenvolvimento das Estações de Tratamento de Esgotos. In: **Manual de tratamento de águas residuárias**, São Paulo, cap. 2, p. 127-129. 1986.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995, 720 p.
- MENDES, J. T. G. **Determinação de parâmetros operacionais para ETEs e pesquisa quanto à disposição do lodo excedente : análise econômica do lodo da ETE Curitiba**. Curitiba : SUREHMA / FINEP, 1981. 43 p. (Relatório, 9).]
- METCALF e EDDY. Desind of Facilities for the Treatment and Disposal of Sludge. In: **Wastewater Engineering**. New York, Mc Graw - Hill, 1991.

- OUTWATER, A. B. **Reuse of sludge and minor wastewater residuals**. Lewis Publishers. Boca Raton, Flórida. USA. 1994. 179p
- SHANNON, E. E.; LUDWIG, F. J.; VALDMANIS, I. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in municipal wastewater: An assessment of the problem in the Canadian lower Great lakes. Canada - **Ontario Agreement Research Report n. 49**. Canada Ottawa, 1976.
- SHEAFFER, C. C.; DECKER, A. M.; CHANEY, R. L.; DOUGLASS, D. L. Soil temperature and sewage sludge effects on metals in crop tissues and soils. **J. Environ. Qual.** **8**, 1979.
- SOUZA, M. L. P.; ANDREOLI, C. V.; PAULETTI, V. *et al.* Desenvolvimento de um sistema de classificação de terras para disposição final do lodo de esgoto. *In* : *SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL* (4 : 1994 : Florianópolis). *Anais...* Florianópolis: ABES/APRH, 1994. v. 1, t. 1, p. 403 - 419.
- United State Environmental Protection Agency - USEPA. **Sludge Treatment and Disposal**. Cincinnati: EPA, v 1 e 2 , 1979.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Land Application of Biosolids: Process Design Manual Disposal**. Cincinnati : EPA, s.d
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Sludge Treatment and Disposal**. Cincinnati : EPA, v. 1 e 2, 1979.
- WEBBER, M. D.; SHAMESS, A. **Land utilization of sewage sludge: a discussion paper**. Toronto: Expert COMMITTEE on Soil and Water Management, 1984. 48p.

ADERLENE INÊS LARA

Bióloga, MSc. em Zoologia, pesquisadora consultora junto ao Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto da SANEPAR

ANDRÉIA CRISTINA FERREIRA

Engenheira Agrônoma, bolsista CNPq na categoria Aperfeiçoamento (AT) no âmbito do PROSAB - Continuidade / SANEPAR. Mestranda em Ciências do Solo.

CLEVERSON VITÓRIO ANDREOLI

Engenheiro Agrônomo, MSc em Agronomia, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, Coordenador do Programa Interdisciplinar de Pesquisas em Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto, Engenheiro Técnico da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.

EDUARDO SABINO PEGORINI

Engenheiro Agrônomo, pesquisador consultor junto ao Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto da SANEPAR

RICARDO GERMANO KURTEN ILHENFELD

Engenheiro Agrônomo, MSc em Ciências do Solo, ex-bolsista RHAЕ no âmbito do PROSAB - Continuidade / SANEPAR. Professor do Universidade Tuiuti do Paraná.

Endereço para contato

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR

Grupo Específico de Consultoria, Intercâmbio e Pesquisa - GECIP

Rua Engenheiros Rebouças, 1376

Curitiba - Paraná 80215-900

Tel (041) 330 3263 Fax (041) 333 9952 e-mail c.andreoli@sanepar.pr.gov.br