

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO

**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Tecnologia em Logística**

A LOGÍSTICA NA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

LÚCIA CAMILO DE GODOY

Americana, SP
2013

A LOGÍSTICA NA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

LÚCIA CAMILO DE GODOY
lucinhacgodoy@gmail.com

Trabalho de Graduação apresentado ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, à Faculdade de Tecnologia de Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Logística.

Orientador: Professor Esp. Maricê Léo Balducci.

Dedico este trabalho ao meu marido e filhos,
fontes inesgotáveis de amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me colocar à prova e com isso me tornar forte o suficiente para chegar até aqui.

Ao meu querido marido por ser o maior incentivador de meus estudos, pois sem sua dedicação este trabalho não se realizaria.

Aos meus amados filhos pelo apoio e por compreenderem os momentos em que estive ausente dedicando-me aos estudos para que pudessem ter esse esforço como referência em suas vidas.

À minha mãe e irmãos, formadores de meu caráter e companheiros eternos escolhidos por Deus para caminharmos juntos nesta vida terrena.

Ao meu pai, *in memoriam*, por ter me transmitido o gosto pela leitura e pela educação, por ter sido a pessoa que mais acreditou na minha capacidade e me fez ter confiança.

Ao meu orientador Professor Maricê Léo Balducci por todo o conhecimento transmitido, preocupação e dedicação.

Ao meu amigo Guilherme pela grande colaboração e pelos livros emprestados.

Às minhas amigas por não me abandonarem nos momentos mais difíceis, entenderem minhas ausências e pela amizade verdadeira.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

Madre Teresa de Calcutá

INDICE

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos	
Resumo.....	
Abstract.....	
INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1 - LOGISTICA E DEFINIÇÕES	16
1.1 Logística.....	16
1.2 Modal Ferroviário	17
1.3 Modal Rodoviário	17
1.4 Modal Hidroviário	17
1.5 Modal Aeroviário	17
1.6 Modal Dutoviário	18
1.6.1 Histórico e Definição.....	18
1.6.2 Elementos do Sistema.....	19
1.7 Logística Reversa.....	20
1.8 Logística Verde.....	21
1.9 Transporte e Tratamento de Água	23
1.9.1 Captação e Adução	23
1.9.2 Tratamento e Reservatórios	24
1.9.3 Distribuição Física Domiciliar	25
1.10 Transporte e Tratamento de Esgoto.....	26
1.10.1 Coleta e Afastamento.....	26
1.10.2 Tratamento de Esgoto.....	27

CAPÍTULO 2 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS: LODO	30
2.1 Lodo de Esgoto	30
2.2 Estabilização do Lodo	30
2.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos PNRS	31
2.4 Indicadores da Geração de Lodo na Região do Consórcio PCJ	33
2.5 Características Físico-Químicas do Lodo.....	36
2.6 Formas de Manejo	37
2.7 Movimentação e Transporte Dentro da ETE	38
2.8 Movimentação e Transporte Fora da ETE	39
2.9 Armazenagem	42
CAPÍTULO 3 - REUTILIZAÇÃO DO LODO	43
3.1 Reuso do Lodo	43
3.2 Tratamento do Lodo - Equipamentos e Instalações	43
3.2.1 Adensamento	44
3.2.2 Desaguamento	45
3.2.3 Estabilização - Higienização	46
3.3 Principais Métodos de Descarte do lodo	48
3.4 Alternativas de Reuso	49
3.4.1 Reaproveitamento Industrial	51
3.4.1.1 Fabricação de Tijolos e Cerâmicas	52
3.4.1.2 Produção de Agregado Leve para Construção Civil.....	53
3.4.1.3 Produção de Cimento	53
3.4.2 Reaproveitamento Agrícola.....	54
3.4.2.1 Fertilizante Orgânico e Compostagem	55
3.4.2.2 Recuperação de Solos Degradados	56
3.5 Obrigações Legais e Ambientais.....	57
3.5.1 Responsabilidade Ambiental.....	57

3.5.2 Responsabilidade Legal	58
3.5.2.1 Norma Técnica CETESB P4.230 - São Paulo.....	59
3.5.2.2 Resolução CONAMA 375/2006.....	60
3.5.2.3 Resolução SEMA 001/2007 - Paraná	61
3.6 Viabilidade de Reuso	61
3.6.1 Viabilidade Técnica	62
3.6.2 Viabilidade Econômica.....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de transporte dutoviário	19
Figura 2 - Reservatório de Estação de Tratamento de Água	20
Figura 3 - Conceito de logística verde	22
Figura 4 - Estação de captação de água bruta	24
Figura 5 - Localização das Bacias PCJ	34
Figura 6 - Destinação atual do lodo de ETE na bacia do PCJ	35
Figura 7 - Caminhão para transporte de caçambas do tipo <i>Brook</i>	38
Figura 8 - Termo responsabilidade transportador do lodo ou produto derivado	40
Figura 9 - Modelo do Formulário de Controle e Retirada do lodo	40
Figura 10 - Pá carregadeira de rodas	42
Figura 11- Retroescavadeira com caçamba frontal	42
Figura 12 - Adensador por gravidade	44
Figura 13 - Centrífuga	44
Figura 14 - Leitos de secagem	45
Figura 15 - Filtros prensa de placas	46
Figura 16 - Filtro prensa	46
Figura 17 - Centrífuga	46
Figura 18 - Revolvedoras de leiras para compostagem	47
Figura 19 - Digestores Aeróbios	48
Figura 20 - Digestores Anaeróbios	48
Figura 21 - Fluxo de processamento de lodo para sua destinação final	51
Figura 22 - Aspecto geral de tijolos fabricados sem e com adição de lodo	52
Figura 23 - Representação esquemática processo reciclagem agrícola de lodo	55
Figura 24 - Aspecto geral lodo de esgoto e disposição em solo degradado	57
Figura 25 - Esquema para gerenciamento do tratamento e destino final do lodo	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa na Caracterização Quantitativa de Geração de Lodo de ETE na Bacia do PCJ por Sub Bacias	36
Tabela 2 - Composição típica do lodo de esgoto	37
Tabela 3 - Quantidade de biossólidos e n°viagens p/ transportar 6 ton. (m.s.)	38
Tabela 4 - Relação entre umidade e propriedades mecânicas do lodo	41
Tabela 5 - Principais alternativas disposição final, vantagens e desvantagens	49
Tabela 6 - Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ABML	Associação Brasileira de Movimentação e Logística
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRALOG	Associação Brasileira de Logística
ASLOG	Associação
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CGR	Centro de Gerenciamento de Lodo
cm	centímetro(s)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DN	Diâmetro Nominal
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETL	Estação de Tratamento de Lodo
km	quilometro(s)
m	metro
m.s.	matéria seca
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OSCIP	Organização da Sociedade Civil de Interesse Público
PCJ	Piracicaba, Capivari e Jundiaí
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de vinila
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
ton	tonelada
UGL	Unidade de Gerenciamento de Lodo
US\$	Dólar(es)
USA	<i>United States of America</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
USP	Universidade de São Paulo

RESUMO

O presente de estudo aborda as possíveis formas de reuso e destinação final do lodo resultante do processo de tratamento esgoto. São considerados aspectos econômicos e ambientais, bem como as restrições legais e técnicas que podem limitar as alternativas existentes. As atividades envolvidas no tratamento e disposição final do resíduo são abordadas com enfoque logístico objetivando identificar as vantagens econômicas e socioambientais, avaliar o custo-benefício, conhecer a infraestrutura, os equipamentos e materiais necessários. Estudos apontam diversas soluções para destinação final correta e reciclagem do lodo de esgoto, transformando-o de rejeito a matéria-prima com valor agregado. Dentre as formas de reuso do lodo de esgoto destaca-se sua aplicação na agricultura. No entanto, para que o lodo possa ser utilizado em plantações existem padrões de segurança estabelecidos em Normas, Resoluções e Leis que devem ser seguidos a fim de evitar contaminações do solo, de alimentos e até mesmo lençóis freáticos e águas de superfície. A análise se aplica tanto a logística reversa quanto a logística verde, área que busca refrear o aumento abusivo da geração de resíduos que prejudicam o meio ambiente e incentiva as ações de reaproveitamento.

Palavras-chave: Logística verde, logística reversa, bio sólidos, disposição final, reuso.

ABSTRACT

This study approaches to possible ways of final disposing and reusing sludge resulting from sewage treatment processes. Social and economic aspects are considered, as well a technical and legal restrictions that may restrict existing alternatives. The activities involved in sludge treatment and final disposing are discussed with logistical focus and have the purposes of identifying economic, social and environmental advantages, analyzing it's cost-benefit and knowing the necessary infrastructure, equipment and materials. Other papers point to many solutions for the sludge recycling and final destination issue that transform it into valued raw material. Among, sludge reuse alternatives and agricultural application is highlighted. However, in order to be used for this purpose, there must be followed stated safety Resolutions and Norms of soil contamination, agricultural crops and even underground and surface waters. This analysis applies to both reverse logistics and green logistics, a knowledge field that aims to restrain abusive increase of residual generation that harms the environment and encourages reuse actions.

Key words: reverse logistic, green logistic, biosolids, final disposal, reuse.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento urbano acelerado, a produção de lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) também aumenta, principalmente no estado de São Paulo, onde se encontra a maior parte da população urbana do país. Embora esse resíduo represente em média 1% a 2% do volume total do esgoto tratado, seu gerenciamento é bastante complexo e demanda custos elevados (ANDREOLI apud MAZIVIERO, 2011). Geralmente para destinação final do lodo são utilizados os aterros sanitários, no entanto, alguns estudos vislumbram sua aplicação como insumo agrícola, fertilizante ou mesmo na construção civil. É possível então, considerar o lodo resultante do tratamento de esgoto não apenas como um resíduo a ser descartado, mas também como um subproduto que após os devidos tratamentos, pode ser devolvido ao ciclo produtivo e reduzir impactos ambientais. Atualmente o processamento e a disposição final do lodo podem representar até 60% do custo operacional de uma ETE (VON SPERLING, 2001).

O **problema** que deu causa a este trabalho foi um estudo do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Consórcio PCJ), que alerta para a problemática do lodo tendo em vista a crescente demanda de área para disposição final adequada. Atualmente, a região produz em média 32 mil toneladas mensais, o estudo estima que em 2020 a produção atinja três mil toneladas diárias, o triplo do que hoje sai das estações. O aumento da produção do lodo tem um aspecto positivo, pois significa que o serviço de tratamento de esgoto também está se expandindo, atingindo mais regiões e beneficiando mais pessoas com o saneamento básico. É necessário, portanto, buscar soluções sustentáveis para a destinação do lodo.

Frente a esta problemática, o presente estudo traz uma abordagem logística e tenta responder à seguinte **pergunta**: existe destinação economicamente viável do lodo resultante do tratamento de esgoto capaz de diminuir o impacto ambiental? Este estudo analisa as seguintes **hipóteses**:

1 – A reutilização do lodo após processamento adequado pode apresentar benefícios ecológicos e justificar os custos de seu tratamento.

2 – Mesmo após processamento adequado, a reutilização do lodo não seria ambientalmente segura.

3 – A reutilização do lodo após processamento adequado não seria economicamente viável devido aos custos elevados do processo.

OBJETIVO

O objetivo geral é estudar as possíveis destinações do lodo resultante do tratamento de esgotos, visando conhecer as vantagens econômicas e ecológicas de sua reutilização. Os objetivos específicos são conhecer os processos logísticos das possíveis formas de reuso do lodo, a fim de comprovar vantagem socioambiental; estimar os custos, processos e equipamentos necessários para analisar a viabilidade técnica e econômica de modo a identificar, dentre as possíveis destinações, a mais utilizada.

JUSTIFICATIVA

Este estudo tem como justificativa a importância da preservação ambiental ao se destinar corretamente os resíduos sólidos resultantes do tratamento de esgoto. É necessário encontrar formas economicamente viáveis e ecologicamente seguras de reutilizar o lodo, reintegrando um produto de descarte ao ciclo produtivo. Segundo Leite (2009), dentro da logística empresarial, destaca-se a logística reversa e seus canais de distribuição no estudo do retorno dos bens de pós-consumo ao ciclo produtivo, agregando-lhes valor econômico, ecológico, de imagem corporativa, entre outros.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os métodos dedutivo e indutivo, através de pesquisa bibliográfica e documental sobre logística reversa, verde e empresarial, sobre os impactos dos resíduos sólidos resultantes dos processos de tratamento de esgoto no meio ambiente e estudos sobre alternativas de reuso. Trata-se de pesquisa quantitativa, descritiva e explicativa, que visa aprofundar o conhecimento teórico para implantação prática.

De acordo com Severino (2000, apud BOSAN, 2008), a pesquisa bibliográfica é uma busca apurada em livros, revistas, sites, jornais, documentários a respeito de um assunto, com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento da pesquisa. Para Richardson (1999) a pesquisa quantitativa:

Caracteriza-se pelo emprego de quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples como percentual, média, desvio-padrão, às mais complexas, como coeficiente de correlação, análise de regressão etc.

Vergara (2000) argumenta que a pesquisa descritiva “não tem o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação”. Nesse sentido, a pesquisa quantitativa e a descritiva se complementam, pois se uma apenas descreve os fenômenos a outra os quantifica através de técnicas estatísticas.

A pesquisa explicativa é vista por Gil (1999) como “a que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão das coisas”. Percebe-se, então, que o objetivo da pesquisa explicativa é esclarecer as causas, os porquês de determinada questão. Dessa forma, o estudo foi realizado com forte embasamento teórico a fim de agregar conhecimentos sobre o tema do projeto.

CAPÍTULO 1 – LOGÍSTICA E DEFINIÇÕES

1.1 LOGÍSTICA

O termo “logística” vem do grego *logos* e significa discurso, razão, racionalidade, mais especificamente de *logistiki*, relativo a organização financeira. Os oficiais militares da Grécia antiga, império Romano e Bizantino, com o título de *Logistikas* eram responsáveis pelos assuntos financeiros e distribuição de suprimentos. Posteriormente a palavra logística passou a ser usada para descrever a gestão do fluxo de materiais numa organização, desde a matéria-prima até os produtos acabados (LONDON, 2011). Segundo a Associação Brasileira de Logística - ASLOG, atual ABRALOG – Associação Brasileira de Logística, fusão da ASLOG – Associação Brasileira de Logística e ABML – Associação Brasileira de Movimentação e Logística, o conceito de logística é definido por:

Processo de planejar, implementar e controlar eficientemente, ao custo correto, o fluxo e armazenagem de matéria-prima, estoque durante a produção e produtos acabados, desde do ponto de origem até o consumidor final, visando atender os requisitos do cliente.

A logística também tem a função de gerenciar os fluxos de informações que movimentam os produtos buscando atingir níveis de serviços satisfatórios aos clientes a preços razoáveis, preocupando-se inclusive com a destinação final dos produtos pós-consumo. Para destinar qualquer produto, há que se pensar em como transportar. É preciso analisar qual dos modais de transporte adequa-se melhor à carga a ser transportada. Para isso é essencial conhecer o que será transportado, qual será o trajeto e suas possíveis rotas, analisar os custos, vantagens e desvantagens de cada modal.

Segundo Alvarenga e Novaes (2000) apud Ferreira (2009), para que se tenha um sistema de transporte organizado é necessária uma visão sistêmica e planejada, onde pelo menos se conheça o nível de serviço atual e o nível de serviço esperado. A escolha certa do modal de transporte é uma das mais importantes estratégias de logística, mas os problemas com infraestrutura entre os modais, principalmente no que diz respeito às ferrovias, muitas vezes impossibilita a escolha certa. São cinco os modais de transporte que a seguir identificaremos brevemente.

1.2 MODAL FERROVIÁRIO

Apesar de oferecer maior capacidade de carga com custo menor que o modal rodoviário, a malha ferroviária brasileira é pouco explorada, apresenta falta de estrutura e de investimentos. Apresenta alto custo inicial, mas em longo prazo, o investimento inicial se justifica principalmente pela baixa manutenção e pelo baixo consumo energético. Outra vantagem é o tráfego sem congestionamento. Como desvantagem podemos citar a baixa flexibilidade devido à necessidade de transbordos e a rigidez nos horários.

1.3 MODAL RODOVIÁRIO

Para transporte de cargas é o mais utilizado no Brasil. Destina-se principalmente ao transporte de produtos acabados ou semi-acabados a curtas e médias distâncias. Possui frete mais caro do que o modal ferroviário e hidroviário, mas permite o transporte porta-a-porta e apresenta grande disponibilidade de horários.

1.4 MODAL HIDROVIÁRIO

Bastante utilizado no transporte de grãos líquidos, produtos químicos, areia, carvão, cereais em geral e bens de alto valor (máquinas) em contêineres, muito usado em cargas de tonelage a longas distâncias. É mais barato que o modal ferroviário e rodoviário em termos de custo e capacidade de carga, mas a infraestrutura portuária no Brasil limita bastante a utilização deste modal. Além disso, os custos por tonelada no embarque e no desembarque aumentam em cinco vezes o valor do transporte em relação aos países desenvolvidos.

1.5 MODAL AEROVIÁRIO

Utilizado principalmente no transporte de cargas de alto valor agregado com pouco peso e volume ou cargas perecíveis. É o modal que possui o custo mais elevado em relação aos outros modais, mas apresenta vantagens como diminuição de custos com embalagens; maior rapidez em entregas urgentes; acesso a lugares

difíceis de serem alcançados por outros modais; redução dos gastos de armazenagem; facilidade e segurança no deslocamento de cargas.

1.6 MODAL DUTOVIÁRIO

Realiza o transporte através de dutos (tubos) e é ainda muito limitado no Brasil. Destina-se principalmente ao transporte de líquidos e gases em grandes volumes (minérios, petróleo bruto e derivados). Contextualiza-se a seguir este modal que entre suas aplicações também é utilizado para levar água às residências e demais edificações e afastar o esgoto produzido até as Estações de Tratamento.

1.6.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO

O transporte dutoviário surgiu entre os povos da antiguidade para o abastecimento de água; os chineses utilizavam bambus, os gregos e romanos com tubos de chumbo, egípcios e astecas materiais cerâmicos. Posteriormente, este modal passou a ser usado principalmente para transportar petróleo e seus derivados, sendo tais dutos chamados de oleodutos e gasodutos. O primeiro oleoduto foi construído na Pensilvânia (USA), em 1865, para ligar um campo de produção a uma estação de carregamento de vagões e possuía extensão de 8 km (CORSON apud COPETTI, 2012). No Brasil, o transporte dutoviário teve início no estado da Bahia em 1942, a dutovia possuía 1 km de extensão e ligava a Refinaria Experimental de Aratu ao Porto de Santa Luzia.

Caracteriza-se como o meio de transporte realizado no interior de uma linha de tubos ou dutos, previamente preparados para determinado tipo de transporte, formando uma linha chamada de dutovia, onde se movimentam produtos de um ponto a outro por pressão ou arraste, por meio de um elemento transportador. As dutovias são constituídas de três elementos essenciais: os terminais, com os equipamentos de propulsão do produto; os tubos e as juntas de união destes. Uma das vantagens deste modal é que, diferente dos demais, o produto se desloca da origem ao ponto de destino, mas o veículo transportador é fixo e mantém-se imóvel. Tal fator, na maior parte dos casos, ocasiona a dispensa do uso de embalagens para o transporte.

As características técnicas, operacionais e econômicas, caracterizam o modal dutoviário como um meio seguro e econômico para o transporte de alguns produtos, tais como petróleo e seus derivados, gás, água e minério, reduzindo inclusive a necessidade de manuseio da carga (SANTANA apud MURTA, 2003). Além disso, o transporte pode ser realizado continuamente, sem considerar as alterações climáticas e atmosféricas, turnos diurnos ou noturnos, bem como problemas de tráfego, beneficiando a mobilidade urbana e diminuindo o risco de acidentes rodoviários.

1.6.2 ELEMENTOS DO SISTEMA

As dutovias podem ser de transporte ou transferência, dependendo do tipo de operação, rígidas ou flexíveis, enterradas, flutuantes, submarinas ou aéreas, sendo constituídas normalmente de aço ou materiais não metálicos, a união mais comum entre os dutos de aço é feita por soldas. Em redes de coleta de esgoto e emissários utilizam-se geralmente tubulações de concreto armado, também conhecidas como manilhas, que possuem diâmetros variados dependendo da vazão requerida, para tais dutos a união é feita com argamassa de cimento. Na distribuição de água potável e afastamento de esgoto em imóveis residenciais, comerciais e industriais os materiais mais empregados são os tubos de PVC e PEAD (polietileno de alta densidade), devido à facilidade de manuseio e utilização dos mesmos; a união destes é através de luvas coladas ou rosqueadas. O sistema de transporte pode ser forçado por um elemento de força que movimenta a carga dentro dos dutos ou utilizar somente a gravidade para movimentar o produto (FIGURA 1).

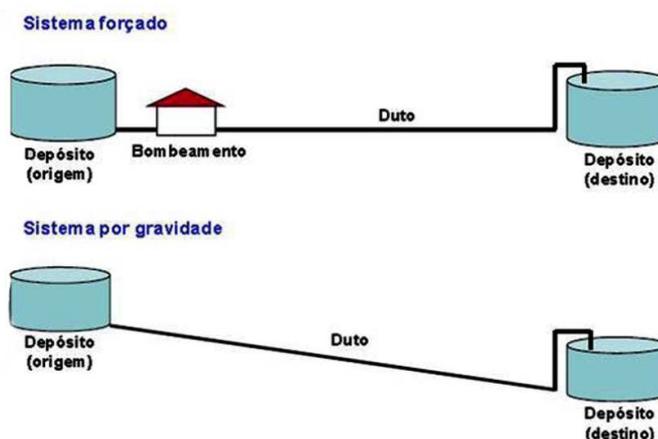


Figura 1 – Sistemas de transporte dutoviário. Fonte: COSTA et.al. (2009)

Os reservatórios (FIGURA 2), também chamados de tancagens, são instalados em pontos estratégicos para abastecer linhas de produção, realizar transferência para outros tipos de modais ou ainda para bombear o produto para tubulações menores de distribuição, como é feito, por exemplo, no abastecimento de água potável.



Figura 2: Estação de Tratamento de Água. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

1.7 LOGÍSTICA REVERSA

Apesar das definições tradicionais, atualmente a atuação da logística vai muito além de redução de custos e melhorias nos níveis de serviço. A logística reversa preocupa-se principalmente com o retorno dos resíduos de pós-consumo e pós-venda ao ciclo produtivo, agregando-lhes valor econômico, logístico e ambiental. Para Leite (2002), logística reversa tem a seguinte definição:

É a área da Logística Empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós - consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, através dos Canais de Distribuição Reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

Os canais de distribuição da logística reversa englobam a participação de diversos setores e divide a responsabilidade de destinar adequadamente os resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos define alguns setores da indústria

que devem recolher os produtos e embalagens de pós-consumo e retorná-los ao ciclo produtivo:

- agrotóxicos, seus resíduos e embalagens;
- pilhas e baterias;
- pneus;
- óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- produtos eletroeletrônicos e seus componentes;
- produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro.

A logística verde é muitas vezes confundida com a logística reversa, porém enquanto esta busca meios de reinserir ao ciclo de negócios os produtos já descartados, a logística verde planeja e diminui impactos ambientais da logística comum (RESENDE, 2004).

1.8 LOGÍSTICA VERDE

Atualmente, todo tipo de ação deve se preocupar com as questões ambientais; ecoeficiência, produtos verdes e sistema de gerenciamento ambiental são expressões comuns que podem rever posturas comercialistas (GIACOMINI, 2008). Com foco no desenvolvimento sustentável surge a Logística Verde que adiciona a todas as atividades logísticas uma preocupação ecológica, como por exemplo, fabricar garrafas plásticas mais finas utilizando menos matéria prima ou dar preferência ao transporte em lotes cheios. Dentro deste contexto, temos a ecologia industrial:

A ecologia industrial visa reduzir a demanda por matérias-primas, água e energia e a devolução de resíduos à natureza, por meio da integração de processos ou indústrias, de tal forma que resíduos ou subprodutos de um processo possam servir como matéria-prima a outro (GIANNETTI E ALMEIDA, apud GIACOMINI, 2008).

Um bom exemplo de ecologia industrial foi a parceria entre os jornais Folha de São Paulo e Estadão, para a distribuição de suas publicações que juntas somavam mais de um milhão de exemplares por dia entregues basicamente aos mesmos pontos de venda. Unificando a frota de entrega, a parceria favoreceu a redução de emissões de poluentes (GIACOMINI, 2008).

O Prof. Vitório Donato, engenheiro de materiais, mestre em Gestão das Organizações, especialista em logística e autor do livro “Logística Verde – Uma Abordagem Socioambiental”, em entrevista ao Site da Logística, definiu logística verde da seguinte forma:

É a área da logística que se preocupa com os aspectos e impactos da atividade logística sobre o seu entorno (comunidade e meio ambiente). Este é o termo usado para definir um instrumento de gestão que irá mensurar os aspectos e impactos da atividade logística e desta forma criar mecanismos para: conter o aumento abusivo de emissão de resíduos ao meio ambiente, o armazenamento desprotegido de materiais, seu mau uso e/ou ausência de reaproveitamento. Lembrando que estamos em um ambiente com recursos finitos.

Algumas ações da Logística Verde podem não reduzir tanto os custos, mas os consumidores estão a cada dia mais dispostos a dar preferência a produtos que indiquem a responsabilidade ecológica do fabricante. De acordo com o *Green Logistics Forum* realizado na Europa em 2010, as atividades logísticas devem estar equilibradas nos seguintes pilares: econômico/financeiro, social e meio ambiente, como demonstrado na Figura 3.

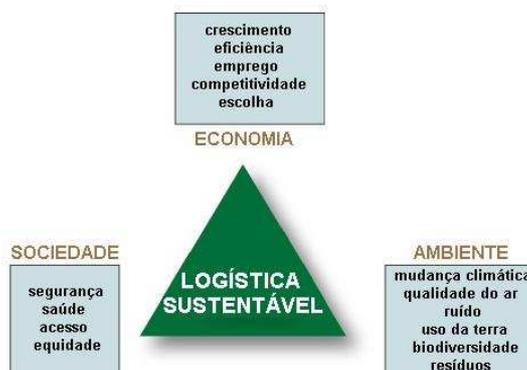


Figura 3 – Conceito de logística verde. Fonte: MCKINNON et.al. (2010)

1.9 TRANSPORTE E TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água para consumo humano é um processo indispensável para evitar a transmissão de diversas doenças. Estima-se que no Brasil 60% das internações hospitalares estejam relacionadas a problemas com saneamento básico (REINALDO, 2006). Nas estações de tratamento de água um conjunto de procedimentos físicos e químicos são empregados para garantir que a água se torne potável. Um sistema convencional de abastecimento de água é constituído das seguintes unidades:

- Captação
- Adução
- Estação de tratamento
- Reservatórios
- Redes de distribuição
- Ligações domiciliares.

1.9.1 CAPTAÇÃO E ADUÇÃO

A água bruta é captada em mananciais ou fontes e transportada por tubulações (adutoras de água bruta) até as estações de tratamento para depois ser distribuída para a população (adutoras de água tratada). Os dutos envolvidos na coleta e distribuição sem ramais são as adutoras. Dentro dos dutos, a água se movimenta por conduto forçado, onde a linha piezométrica fica acima da linha da água, devido à pressão interna ser superior à pressão atmosférica a água se movimenta tanto de modo ascendente quanto descendente; também pode se movimentar por recalque, através de bombeamento. Na captação às margens de rios (FIGURA 4) ou represas utilizam-se estações de recalque com bombas de sucção. A água captada (água bruta) é recalcada à Estação de Tratamento de Água (ETA) através da adutora.



Figura 4 - Estação de Captação de Água Bruta
Fonte: DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE AMERICANA (2013).

1.9.2 TRATAMENTO E RESERVATÓRIOS

Se a captação for realizada em águas subterrâneas de poços profundos, o tratamento é bem simplificado, pois são águas naturalmente filtradas pelo solo e, na maioria das vezes, sem contaminação ou turbidez por não ficarem expostas. Nesses casos utiliza-se apenas a desinfecção com cloro e adição de flúor. Mas em águas captadas na superfície o tratamento consiste nas seguintes fases (DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE AMERICANA, 2013):

Oxidação - assim que a água chega à estação de tratamento, inicia-se o processo na calha de entrada com a adição de carvão ativado e cloro, a fim de oxidar metais como ferro e manganês, bem como controlar odores e agentes indesejáveis.

Coagulação – ainda na calha de entrada a água passa pela calha de adição e mistura (calha Parshall) onde ocorre a aplicação de coagulante, geralmente íons metálicos como, por exemplo, sulfato de alumínio que reage com a alcalinidade natural da água, promovendo a coagulação para transformar as impurezas da água em partículas que possam ser removidas pela decantação e filtração.

Floculação – nessa etapa, a água é movimentada moderadamente em câmaras de floculação, provocando a aglomeração das impurezas em flocos.

Decantação – em outros reservatórios, os flocos formados na etapa anterior depositam-se no fundo dos tanques e a água escoar por calhas, sendo direcionada para a etapa de filtração.

Filtração – a água decantada passa por filtros de areia de granulometria decrescente, ou seja, o tamanho dos grãos vai diminuindo para reter impurezas restantes.

Desinfecção – já limpa, a água recebe cloro ou ozônio para eliminar microorganismos causadores de doenças.

Correção do pH – sempre que for necessário, adiciona-se cal hidratada à água para corrigir o pH e evitar a corrosão da canalização das casas ou a incrustação.

Fluoretação – Atendendo à Portaria do Ministério da Saúde nº635/BSB de 26 de dezembro de 1975, a água recebe ácido fluossilícico (flúor) que reduz a incidência de cárie dentária na população.

Após o tratamento, a água é transportada através das adutoras de água tratada para os reservatórios secundários, localizados em pontos estratégicos nas cidades para posteriormente ser distribuída às residências. Os reservatórios podem ser subterrâneos, apoiados ou elevados e têm como objetivo principal manter a regularidade do abastecimento em períodos de variação da demanda ou mesmo quando é preciso paralisar a captação ou tratamento para manutenções.

1.9.3 DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DOMICILIAR

A rede de distribuição de água é formada por dutos normalmente aterrados sob a pavimentação e os materiais mais utilizados são o PVC e o polietileno de alta densidade (PEAD). A escolha do material depende das exigências do projeto e de um estudo econômico. Para o perfeito funcionamento de uma rede de distribuição é

necessário haver um nível de pressão satisfatório. Em locais de menor pressão, instalam-se bombas a fim de bombear a água para locais mais elevados.

Em alguns casos é necessário construir estações elevatórias de água, com bombas mais potentes. Em situações contrárias onde existe pressão em excesso, são instaladas válvulas redutoras. A interligação das tubulações principais assentadas nas ruas para os domicílios é chamada de ramal domiciliar, essa instalação une a rede de distribuição à rede interna de cada imóvel permitindo que a água chegue às torneiras.

1.10 TRANSPORTE E TRATAMENTO DE ESGOTO

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o "despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária". Esses efluentes requerem tratamento adequado para que possam ser devolvidos à natureza sem que causem danos ambientais ou à saúde humana.

Após o uso da água o esgoto começa a ser formado. Os efluentes oriundos das residências formam os esgotos domésticos, as fábricas formam os esgotos industriais e as águas servidas, que são aquelas que contenham algum tipo de poluição devido ao uso doméstico ou industrial, dão origem aos esgotos pluviais. Cada tipo de esgoto é formado por diferentes substâncias e exigem, portanto, processos específicos para o tratamento dos resíduos.

1.10.1 COLETA E AFASTAMENTO

A coleta e o tratamento de esgotos são muito importantes para a saúde pública, porque preservam o meio ambiente e evitam a contaminação e transmissão de diversas doenças. As instalações residenciais, comerciais ou industriais possuem ramais prediais que levam o esgoto produzido até a rede coletora pública instalada na rua. A rede coletora é geralmente executada com tubos de PVC, diâmetro DN 100mm a 200mm ou mais (NUVOLARI et al., 2011).

O transporte do esgoto se dá por gravidade (conduto livre), as redes possuem uma declividade mínima para assegurar o arraste de sólidos e evitar entupimentos. Quando a movimentação livre não é possível são utilizadas bombas em estações elevatórias de esgoto e esses trechos da rede coletora são chamados de rede de recalque. Segundo Nuvolari et al. (2011), em termos de transporte de efluentes temos o seguinte:

- Ligações prediais: compreendida entre o limite do terreno e a rede coletora. Normalmente utiliza dutos de PVC rígido.
- Rede coletora: corpo receptor das ligações prediais. Geralmente executada com PVC.
- Coletor Tronco de Esgoto: dutos da rede coletora que recebem contribuições de esgoto ao longo de seu comprimento. Utilizam-se normalmente dutos de concreto armado, com diâmetros variando de DN 450mm a 1.200mm, dependendo do volume de esgoto e da declividade da tubulação ou do terreno.
- Interceptor: Reúne e conduz os efluentes de coletores tronco a um ponto de concentração. Dutos de concreto armado, com diâmetros variando de DN 1.200mm a 2.000mm.
- Emissário: Destinado ao transporte das vazões reunidas pelos interceptores, tem a função de transportar o esgoto até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).
- Estação Elevatória de Esgoto: Tem a função de coletar esgoto das redes e transporta-lo para cotas mais elevadas com destino à ETE. São empregadas por conta da topografia do terreno e constituem-se por poço de sucção, bombas de recalque e redes de recalque.

1.10.2 TRATAMENTO

O esgoto, quando não contém resíduos industriais, é basicamente composto por 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de substâncias dissolvidas (NUVOLARI et al., 2011). O meio ambiente, em condições apropriadas, tem condições de promover o tratamento biológico de esgotos, denominado autodepuração. Porém, dependendo do tipo e do volume da carga lançada, pode provocar a degradação do solo, água e ar. De modo geral, o tratamento de esgotos é um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos aplicados para remover os sólidos sedimentáveis e a matéria orgânica das águas residuárias (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Uma estação de tratamento de esgotos (ETE) nada mais é do que um sistema que concentra e acelera o processo de depuração da matéria orgânica de maneira controlada. Explora os mesmos organismos existentes na natureza buscando otimizar os processos e minimizar custos para conseguir a maior eficiência possível, dentro das limitações dos recursos disponíveis (CAMPOS, 1994).

- **Pré-tratamento:** Também conhecido como tratamento preliminar, consiste na remoção de sólidos grosseiros através de grades grosseiras, grades finas, peneiras rotativas e/ou trituradores; desarenamento em caixas de areia (retirada de areias) e desengorduramento em tanques de flutuação para retirada de óleos e graxas.
- **Tratamento primário:** Após o pré-tratamento, os sólidos não grosseiros ainda contidos no esgoto são separados da água por sedimentação nos decantadores primários, formando o lodo primário bruto.
- **Tratamento secundário:** Consiste no processo de remoção biológica da matéria poluente que é consumida por microorganismos aeróbios ou anaeróbios em reatores biológicos. A eficiência do tratamento secundário pode chegar a 90%, produzindo um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental para a remoção de poluentes orgânicos.

- **Tratamento terciário:** O tratamento terciário é empregado como etapa complementar para atendimento à legislação em determinados casos. Possibilita a eliminação dos poluentes não degradados na fase secundária, remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis (SAAE, 2006). Aplica o processo de desinfecção que tem por objetivo remover os organismos patogênicos utilizando métodos como cloração, ozonização ou radiação ultravioleta. A cloração é o método que apresenta menor custo e elevado grau de eficiência em relação aos outros, mas pode gerar subprodutos tóxicos, como organoclorados.

CAPÍTULO 2 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS: LODO

2.1 LODO DE ESGOTO

O tratamento de esgoto por processo biológico resulta em dois tipos de produtos: o efluente líquido pronto para ser devolvido ao meio ambiente e o lodo (primário e secundário) que é um material pastoso com grande concentração de microorganismos e sólidos orgânicos e minerais (NUCCI et.al., 1978). Em média, estima-se que cada ser humano produza cerca de 120g de sólidos secos diários, lançados nas redes de esgoto (METCALF E EDDY, 1991, apud NUVOLARI et al., 2011). Em Kalundborg, na Dinamarca, o lodo gerado no tratamento de efluentes é utilizado como fertilizante em fazendas e também na criação de peixes (GIANETTI e ALMEIDA, apud GIACOMINI, 2008).

O lodo primário é composto de sólidos sedimentáveis e forma-se nos decantadores primários que recebem o esgoto bruto. O lodo secundário, ou biológico, é formado pelos microorganismos que se multiplicam através da matéria orgânica presente nos esgotos, durante a fase biológica do tratamento. Ambos precisam de tratamento adicional antes de sua destinação final, o mais comum é a digestão anaeróbia.

2.2 ESTABILIZAÇÃO DO LODO

Os processos de estabilização têm o objetivo de estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo para reduzir o risco de putrefação e consequentes odores ofensivos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Um dos métodos de estabilização mais utilizados é a biológica, que pode se dar por digestão anaeróbia ou digestão aeróbia.

A digestão aeróbia convencional estabiliza o lodo em digestores abertos não aquecidos, cujo ambiente interior é oxidante. Os digestores anaeróbios possibilitam a decomposição orgânica do lodo através de bactérias anaeróbias (sobrevivem na ausência de oxigênio), que conseguem rapidamente decompor os resíduos orgânicos. Esse processo visa à estabilização do lodo, diminuindo o potencial

patogênico e aumentando a concentração de sólidos. Em outros casos, o lodo pode ser disposto ao solo (método rampa), sendo este seu destino final (NUVOLARI et al., 2011). No entanto, a destinação final do lodo de esgoto não termina com estes processos. Existe o processo de adensamento que aumenta o teor de sólidos, a desidratação que reduz a quantidade de água na torta e depois, a disposição final que pode se dar em aterros, reuso na agricultura, incineração, coprocessamento, etc.

Segundo Leite (2009), a crescente dificuldade em dar um destino final aos resíduos sólidos deu origem às legislações ambientais, como forma de reagir aos impactos negativos que os excessos de tais resíduos causam ao meio ambiente. O aproveitamento do lodo já é feito em outros países há bastante tempo, no Brasil as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas, como descrita mais adiante no capítulo 3.

2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - PNRS

A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Também identifica as responsabilidades dos geradores de resíduos e do poder público. Foi regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que também criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa. Os principais objetivos desta lei são:

- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental estimulando padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços com desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas.
- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

- Gestão integrada dos resíduos sólidos que busca compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo todos da cadeia de comercialização, como fabricantes, distribuidores, consumidores e órgãos públicos.
- Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.
- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

A PNRS prevê a elaboração de planos estaduais de resíduos sólidos como condição para acesso a recursos da União e que terão prioridade os Estados que instituírem microrregiões para integrar ações de municípios limítrofes. O parágrafo 3º, do artigo 17 desta lei estabelece que:

Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, o plano microrregional de resíduos sólidos deve atender ao previsto para o plano estadual e estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e a reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos e, consideradas as peculiaridades microrregionais, outros tipos de resíduos.

Considerando que um dos objetivos principais desta Lei é o reaproveitamento dos resíduos sólidos, um plano microrregional que integre as ações de municípios limítrofes pode diminuir custos para o reaproveitamento adequado do lodo de esgoto. Principalmente porque o art. 36, alínea V, deixa claro que o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos será responsável por “implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido”.

Há que se investir em mecanismos logísticos como contratação de empresas especializadas em transporte de cargas perigosas ou mesmo em treinamento de funcionários para garantir a eficácia da operação. Para utilizar o lodo de esgoto em

processos de compostagem serão necessárias instalações adequadas e ambientalmente seguras, de acordo com o artigo 27, parágrafo 1º:

A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta os geradores de resíduos da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

A lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, tramitou no Congresso Nacional por quase 20 anos e mesmo depois de tanto atraso, a maioria dos municípios ainda não está preparada para elaborar e colocar em prática seus planos de gestão de resíduos. Segundo o Ministério de Meio Ambiente, apenas cerca de 10% dos municípios do país o fizeram no prazo estipulado pela referida lei.

Atualmente, sustentabilidade não pode ser encarada apenas como uma ideia a ser desenvolvida, ela deve se traduzir em ações imediatas e concretas para que seja possível existir um futuro, no mínimo, razoável. A PNRS direciona a responsabilidade da destinação ambientalmente adequada aos geradores dos resíduos e fixa prazo até 2014 para que a situação dos aterros esteja resolvida. Não será mais uma questão de escolha, mas uma determinação legal. Portanto, as estações de tratamento de esgoto precisam se adequar às novas exigências o quanto antes.

2.4 INDICADORES DA GERAÇÃO DE LODO NA REGIÃO DO CONSÓRCIO PCJ – PIRACICABA , CAPIVARI E JUNDIAÍ

O Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí é uma associação de direito privado sem fins lucrativos, composta por municípios e empresas, que foi fundado em 13 de outubro de 1989. Objetiva conscientizar a sociedade sobre os problemas dos recursos hídricos da região e atua no planejamento e fomento às ações de recuperação dos mananciais (CONSÓRCIO PCJ, 2013).

Possui 43 municípios consorciados: Americana, Amparo, Analândia, Arthur Nogueira, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Camanducaia, Campinas, Capivari, Cordeirópolis, Corumbataí, Cosmópolis, Extrema, Holambra,

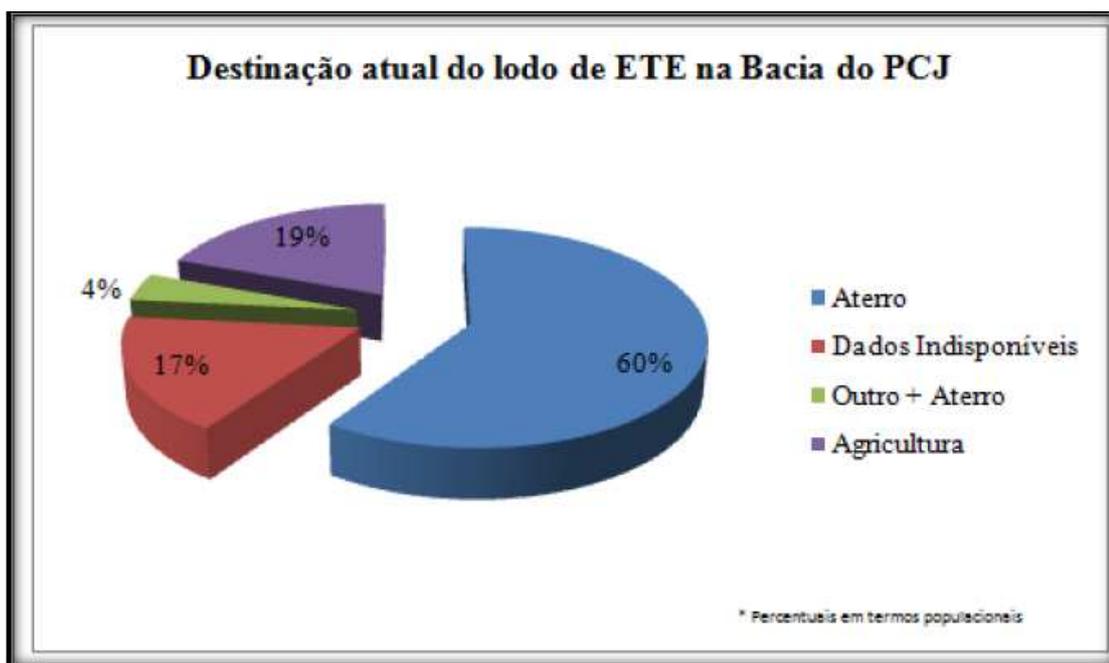


Figura 6: Destinação atual do lodo de ETE na bacia do PCJ. Fonte: BIOCICLO (2012).

No que diz respeito ao lodo de ETA, a cidade de Campinas já possui uma Estação de Tratamento de Lodo (ETL) e pretende futuramente tratar e reutilizar o bio-sólido como adubo nos canteiros do município, já que atualmente realiza apenas a secagem do material e gasta cerca de R\$3.000.000,00/ano para enviá-lo ao aterro de Paulínia. Este aterro, Centro de Gerenciamento de Resíduos de Paulínia - CGR Paulínia, é operado pelo Instituto Este de Responsabilidade Socioambiental, uma Organização de Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) que recebe o lixo de 33 cidades e de mais de mil empresas da Região Metropolitana de Campinas.

No Brasil, sistemas de tratamento de lodo aeróbios produzem cerca de 37g de lodo/hab/dia; enquanto que sistemas anaeróbios produzem apenas 15g de lodo/hab/dia (ANDREOLI et al., 1998). Em 1989 o índice de tratamento nas bacias do Consórcio PCJ era de 3% e hoje chega a 50%. A proporção de geração de lodo é de um litro de material orgânico para cada 10 mil litros de efluentes que entram nas estações de tratamento, esse material orgânico é o que dá origem ao lodo. Estudos apontam o crescimento na geração de lodo até 2020, os dados estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa na Caracterização Quantitativa de Geração de Lodo de ETE na Bacia do PCJ por Sub Bacias

ESTIMATIVA NA CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DE GERAÇÃO DE LODO DE ETE NA BACIA DO PCJ POR SUB-BACIAS.														
SUB-BACIA	GERAÇÃO DE LODO Base Seca (ton. de SST/dia)							Geração de lodo (base úmida em ton. ST/dia) em sólidos totais desaguados (20% de ST)						
	2008		2010	Projeção Tendencial 2014		Projeção Tendencial 2020		2008		2010	Projeção Tendencial 2014		Projeção Tendencial 2020	
	Limite Inferior	Limite Superior		Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior		Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior
Piracicaba	18,64	22,34	20,10	33,66	40,37	52,44	63,21	93,21	111,68	100,51	168,30	201,85	262,22	316,07
Atibaia	17,62	20,88	23,47	25,56	30,06	38,88	56,08	88,09	104,40	117,34	127,79	150,29	194,41	280,41
Jaguari	0,52	0,62	1,03	5,15	6,90	8,87	11,82	2,59	3,10	5,15	25,76	34,48	44,35	59,10
Jundiaí	14,24	16,23	20,10	23,05	27,10	27,12	31,90	71,22	81,13	100,48	115,25	135,48	135,61	159,48
Capivari	5,23	6,74	5,63	6,71	8,66	10,48	13,68	26,15	33,71	28,13	33,54	43,32	52,39	68,41
Corumbatai	0,87	1,19	1,04	2,35	3,20	2,71	3,68	4,36	5,94	5,22	11,75	15,98	13,53	18,41
Camanducaia	0,00	0,00	0,00	0,88	1,20	1,27	1,73	0,00	0,00	0,00	4,39	5,99	6,33	8,63
TOTAL	57	68	71	97	117	142	182	286	340	356,84	487	587	709	910,49

Fonte: BIOCICLO (2012).

2.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO

Mesmo após tratamento e processamento o lodo ainda possui alta carga de contaminantes e precisa passar por tratamento adequado para ser utilizado, por exemplo, na agricultura. O artigo 3º da Resolução C ONAMA nº 375/2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, determina que “os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem aplicação agrícola, deverão ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores, de acordo com o Anexo I desta Resolução”.

A mesma Resolução impõe restrições para o uso do resíduo, mesmo após tratamento, em áreas de pastagens, unidades de conservação, áreas para consumo *in natura* e em plantações que tenham contato direto com o solo, como batatas, cenouras e hortaliças. A Tabela 2 representa a composição química típica do lodo bruto e digerido.

Tabela 2 - Composição típica do lodo de esgoto.

Características	Lodo primário cru		Lodo digerido	
	Intervalo	Média	Intervalo	Média
Sólidos totais – ST (%)	2,0 – 8,0	5,0	6,0 – 12,0	10,0
Sólidos voláteis (% ST)	60 – 80	65	30 – 60	40
Proteínas (% ST)	20 – 30	25	15 – 20	18
Nitrogênio (% ST)	1,5 – 6,0	4,0	1,6 – 6,0	4,0
Fósforo (% ST)	0,8 – 3,0	2,0	1,5 – 4,0	2,5
Potássio (% ST)	0,0 – 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: FERREIRA et.al. (1999) apud PEREIRA (2012).

2.6 FORMAS DE MANEJO

Como em toda operação logística, os custos com transporte tem grande influência sobre os custos totais da operação. No caso do lodo, os custos com movimentação e transporte estão diretamente ligados ao teor de umidade do mesmo. A redução de 98% para 85% do teor de umidade do lodo reduz o volume de carga a ser transportada a apenas 13% do volume original (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). A Tabela 3 indica a variação do teor de umidade média, de acordo com o tipo de biossólido (termo usado para o lodo tratado que pode ser usado principalmente na agricultura) produzido e a significativa redução do número de caminhões necessários para o transporte de 6 ton. de lodo (matéria seca).

Tabela 3: Quantidade de biossólidos e número de viagens para transporte de 6 ton. (m.s.)

Tipo Biossólido	Teor de umidade (médio)	Quantidade biossólido úmido (toneladas)	Número de caminhões caçamba (12 ton.)
Lodo Bruto	98,00%	300	25
Lodo Adensado	92,00%	75	6,25
Prensa Desaguadora	85,00%	40	3,3
Centrífuga	70,00%	20	1,67
Filtro Prensa	60,00%	15	1,25
Secagem térmica	10,00%	6,67	0,56

Fonte: ANDREOLI; VON SPERLING e FERNANDES (2001).

2.7 MOVIMENTAÇÃO E TRANSPORTE DENTRO DA ETE

Antes de ser enviado ao destino final, o lodo tem que ser transportado dentro da própria ETE. Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) para essa movimentação, geralmente, são utilizadas esteiras transportadoras ou caçambas do tipo *Brook* com capacidade média em torno de 5m³ cada, acopladas a caminhões com dispositivos hidráulicos de carga e descarga (FIGURA 7). O carregamento de caminhões pode ser realizado com pás carregadeiras de rodas ou retroescavadeiras.



Figura 7: Caminhão para transporte de caçambas do tipo *Brook*. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

2.8 MOVIMENTAÇÃO E TRANSPORTE FORA DA ETE

O custo de transporte é um importante parâmetro para a viabilidade econômica do uso agrícola do lodo de esgoto. Quanto maior o volume transportado por viagem, menor o custo unitário de transporte (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Os caminhões para transporte de lodo devem possuir carrocerias totalmente vedadas, serem equipados com sistema de trava que impeça a abertura da tampa traseira, possuir lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e luvas de látex.

Além de respeitar a capacidade volumétrica da caçamba transportadora, outros cuidados devem ser tomados no transporte de biossólidos, lembrando que é de total responsabilidade da empresa geradora do resíduo. Deverão ser observadas também as condições das estradas a percorrer, distância, tipos de veículos, limpeza dos pneus ou de qualquer outra parte do veículo ao sair da ETE, não carregar nem transportar em dias chuvosos se a operação não puder ser realizada em ambiente e caminhões cobertos.

O art. 19, da Resolução CONAMA 375/2006 determina que a Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) é responsável pelo carregamento e transporte do biossólido. Estabelece que para retirá-lo da ETE, o motorista do caminhão deve apresentar um Termo de Responsabilidade e Formulário de Controle e Retirada devidamente preenchidos. Os documentos são emitidos pela própria UGL e deverão ser mantidos em arquivo para que possam ser apresentados aos órgãos fiscalizadores sempre que forem solicitados. Essa também é uma exigência do órgão ambiental Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Básico (CETESB) que serve para rastrear o resíduo, identificando o gerador, o transportador e o destino do lodo.

A Figura 8 representa um modelo de formulário do Termo de Responsabilidade do Transportador do lodo de esgoto ou produto derivado, também conhecido como manifesto de carga. Na sequência, a Figura 9 ilustra o Modelo do Formulário de Controle e Retirada do lodo.

Termo de Responsabilidade do Transportador do lodo de esgoto ou produto derivado

_____, de _____ de 200__.

Eu, _____, portador do documento de identidade nº _____, declaro ter sido contratado pela empresa _____ para realizar o transporte do produto lodo de esgoto ou produto derivado entre a Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento ou UGL _____ e a propriedade do usuário-aplicador situada _____

Declaro que farei o transporte, em conformidade com as recomendações da Companhia de Saneamento _____, utilizando caminhões com carrocerias totalmente vedadas, equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex.

Informo estar ciente de que o produto somente poderá ser entregue na propriedade definida no Projeto Agrônomo nº _____, sendo que qualquer problema que venha a ocorrer durante o transporte ou em decorrência dele será de minha inteira responsabilidade.

Figura 8: Modelo do termo de responsabilidade do transportador do lodo de esgoto ou produto derivado. Fonte: CONAMA, 2006

Logotipo Cia. de Saneamento		Projeto nº	
Controlador de Retirada do lodo de esgoto por Terceiros		Documento	
		Revisão/Data	
Data: ____/____/____ Nº. _____			
Destino: _____ Cidade: _____			
Volume Retirado: _____ m ³			
Local de Retirada: Aterro <input type="checkbox"/> Pátio Prensa <input type="checkbox"/>			
Motorista: _____			
RG: _____			
Transportadora: _____			
Placa do Veículo: _____			
Motorista declara estar ciente das precauções para o transporte de lodo de esgoto ou produto derivado descritas no verso:			
Assinatura do motorista transportador			
Via da portaria <i>Ao sair, é obrigatória a entrega deste boleto preenchido na portaria da ETE ou UGL.</i>			
Logotipo Companhia de Saneamento		ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO _____	
		Data: ____/____/____	
		Volume de lodo de esgoto ou produto derivado retirado: _____ m ³	
<p>Precauções para o transporte do lodo de esgoto ou produto derivado.</p> <p>1. O caminhão ou camioneta deverá ter trava de carroceria e a carroceria deverá ser totalmente vedada.</p> <p>2. A carroceria deverá estar coberta com lona plástica.</p> <p>3. O veículo deverá ter durante a viagem, uma pá e/ou enxada e um cone de sinalização.</p> <p>4. Para contato direto com o lodo de esgoto ou produto derivado, usar luvas, e após este contato lavar as mãos e o calçado com água e sabão.</p>			
ETE ou UGL: _____			
Endereço da ETE ou UGL: _____			
Via do motorista transportador			

Figura 9: Modelo do Formulário de Controle e Retirada do lodo. Fonte: CONAMA, 2006,

Ambos os documentos deverão ser emitidos pela UGL e preenchidos pelo motorista do caminhão transportador do lodo, que deve estar devidamente cadastrado e credenciado na empresa geradora do lodo de esgoto ou produto derivado (CONAMA, 2006). O principal meio de locomoção da carga de lodo é o modal rodoviário, através de caminhões. Os custos de transporte estão diretamente ligados ao peso, volume e distância a percorrer. Neste contexto, a desidratação do lodo tem grande importância, já que diminui o volume e o peso a ser transportado.

Os lodos úmidos com no máximo 5% de concentração de sólidos são transportados em caminhões tanque, do tipo “limpa-fossa” e os sólidos utilizam caminhões tipo basculante com capacidade entre 10 a 16 metros cúbicos (ou aproximadamente 8 a 12,8 toneladas de lodo por viagem), caçamba bem vedada e travada para evitar fuga do material, coberta por lona. O uso de caminhões do tipo semireboque com capacidade de transporte entre 20 a 25m³/viagem possibilitaria uma redução nos custos de transporte por tonelada (CANZIANI, 1999). O transporte do lodo deve ser bem gerenciado para evitar transtornos durante o percurso, tais como desconforto devido a odores desagradáveis tanto para o motorista, quanto para a comunidade por onde passar.

Segundo Andreoli et.al. (2006), o teor de umidade do lodo influencia diretamente no volume, tipo de manuseio e de disposição final. Um lodo com 2% de teor sólido possui 98% de umidade, ou seja, em cada 100 kg de lodo úmido, 2 kg são de sólidos e 98 kg são somente água. A tabela 4 demonstra a relação entre a umidade e a consistência do lodo.

Tabela 4: Relação entre umidade e propriedades mecânicas do lodo.

Teor de sólidos	Umidade (%)	Consistência do lodo
0 a 25	75 a 100	Lodo fluido
25 a 35	65 a 75	Torta semi-sólida
35 a 60	40 a 65	Sólido puro
60 a 85	15 a 40	Lodo em grânulos
85 s 100	0 a 15	Lodo desintegrado em pó fino.

Fonte: VAN HAANDEL e LETTINGA (1994) apud ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES (2001).

2.9 ARMAZENAGEM

Somente após o processo de higienização é que o lodo estará pronto para ser transportado. O tempo para conclusão da higienização depende do tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30/60 dias na caleação. O processo de caleação consiste em misturar cal virgem (CaO) em proporções que variam em função do peso seco do lodo, de modo a promover o aumento do pH numa reação exotérmica que inativa até 90% dos organismos patogênicos e acelera o processo de evaporação, podendo atingir temperaturas de até 80°C.

Enquanto permanecer na unidade gerenciadora, o lodo deverá ser armazenado em local coberto para evitar encharcamento e diminuir o problema de odor. O local deve possuir piso de concreto armado ou asfalto, impermeabilizado de modo a evitar a infiltração do lodo no solo, e estruturas de coleta de chorume e de águas pluviais (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). O manual de estocagem de biossólidos da Agência de Proteção Ambiental Norte Americana – USEPA - considera necessário o investimento em obras adequadas, como galpões com piso de concreto ou asfalto e cobertura (USEPA, 2000, apud, SANTOS; JOHN, 2007).

No Brasil, a Resolução CONAMA 375/2006, seção VIII, preconiza que a estocagem do lodo numa propriedade deve ser feita em local com declividade máxima de até 5%, com distância mínima de segurança de rios, poços, lagos, minas e afins que varia de 15 a 100m e por período máximo de 15 dias. Também proíbe que a estocagem seja feita diretamente sobre o solo. O manuseio e carregamento de caminhões na área de estocagem poderão ser feitos com pás carregadeiras de rodas (FIGURA 10) ou retroescavadeiras com caçambas frontais (FIGURA 11).



Figura 10: Pá carregadeira de rodas.
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).



Figura 11: Retroescavadeira com caçamba frontal. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

CAPÍTULO 3 – REUTILIZAÇÃO DO LODO

3.1 REUSO DO LODO

A quantidade gerada de lodo de esgoto cresce proporcionalmente ao aumento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, que por sua vez, deve acompanhar o crescimento populacional. No Brasil, em 2010, estimativas apontavam uma produção de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano, considerando que o tratamento de esgoto atingia apenas 30% da população urbana (PEDROZA et. al., 2010).

Na maioria dos países já existem normas regulamentadoras para disposição final do lodo. No Brasil vigora a Resolução CONAMA 375/2006, mas o descarte ainda é normalmente realizado em aterros sanitários. Esse tipo de descarte agrava o problema com lixo urbano e vai contra a Política Nacional de Resíduos Sólidos que prevê a redução de resíduos sólidos urbanos úmidos dispostos em aterros sanitários. Outro fator a ser considerado é o alto custo da operação que pode chegar a 60% do custo operacional de uma ETE.

No item “Agricultura Sustentável” da Agenda 21, programa de ação resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, a utilização do lodo de esgotos na recuperação de solos empobrecidos é incentivada, mediante a garantia da inexistência de impactos ambientais negativos. A aplicação do lodo na agricultura parece ser a forma mais difundida de utilização do resíduo. No entanto, outras formas de aproveitamento também estão sendo estudadas conforme veremos a seguir.

3.2 TRATAMENTO DO LODO - EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES

No Brasil, os tratamentos de esgoto usualmente empregados produzem lodos de características e composições diferentes que devem ser submetidos aos devidos tratamentos antes da disposição final ou reuso. Os tratamentos necessários envolvem processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização, dependendo do destino final. (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

3.2.1 ADENSAMENTO

O objetivo deste processo é diminuir a quantidade de água do lodo para otimizar as atividades dos demais equipamentos utilizados no tratamento. Assim é possível reduzir o volume dos digestores, o tamanho das bombas, o consumo de produtos químicos no desaguamento, o consumo de energia no aquecimento dos digestores etc. (ANDREOLI et.al., 2006). Os equipamentos utilizados dependem do tipo de adensamento, sendo que os mais utilizados são por gravidade e por flotação.

- Adensamento por gravidade: Realiza-se em tanques de sedimentação circulares que possuem braços raspadores do lodo (FIGURA 12). Após sedimentação o lodo é retirado do fundo do tanque e o líquido sobrenadante escoo por vertedores e retorna ao início do processo de tratamento de esgotos.
- Adensamento por flotação: Através de uma câmara de alta pressão é introduzido ar numa solução de reciclo do próprio lodo que pode ou não receber uma parcela de água. Com a despressurização o ar dissolvido forma micro bolhas que ao emergirem arrastam consigo os flocos de lodo que podem ser removidos na superfície.
- Adensamento por centrífugas: Recomendado apenas para o lodo biológico de descarte. Caracteriza-se pela sedimentação das partículas de lodo pela força centrífuga em equipamento provido de tambores com rotação constante (FIGURA 13).



Figura 12: Adensador por gravidade.
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).



Figura 13: Centrífuga.
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

3.2.2 DESAGUAMENTO

Consiste em uma operação mecânica que reduz o volume do lodo por meio da redução do teor de água (ANDREOLI et.al., 2006). Essa redução de volume reduz os custos com transporte e a produção de chorume, facilita a manipulação e permite a incineração do lodo, caso essa seja uma opção. O desaguamento pode ser realizado por método de secagem natural ou mecânico.

- Secagem natural: é o método de secagem mais antigo e barato. O lodo úmido é despejado em tanques de pisos drenantes, chamados de leitos de secagem (FIGURA 14), a uma altura de aproximadamente 30cm. A água presente no lodo penetra no piso drenante e após ser removida retorna ao processo de tratamento. O restante da umidade evapora e o lodo que sobra atinge teores de umidade inferiores a 70%. Se os leitos não forem cobertos o processo pode ser bastante comprometido com as chuvas.



Figura 14: Leitos de secagem. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

- Secagem mecânica: em vantagem a secagem natural, apresenta menor tempo necessário para desidratação e menor extensão da área a ser utilizada. Porém, exige mão de obra especializada para operação e manutenção do equipamento. Os equipamentos mais utilizados são as centrífugas, os filtros prensas de placa (FIGURA 15) e de esteira (FIGURA 16). As centrífugas (FIGURA 17) são muito utilizadas nos USA e no Brasil, sendo o sistema de alimentação contínua (decanter) o mais comum. Os filtros prensa de placas apresentam maior acréscimo nos

volumes finais de lodo devido a maior necessidade de adição de produtos químicos. No entanto, são eficientes e relativamente fáceis de operar. Muito popular nos USA e Canadá, os filtros prensa de esteira produzem torta de esgoto manipulável através de um processo com pouca vibração e pouco ruído. Os custos operacionais e de investimento são menores do que os outros métodos de desaguamento. (ANDREOLI et.al., 2006).



Figura 15: Filtros prensa de placas. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).



Figura 16 : Filtro prensa de esteira.
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

Figura 17: Centrifuga. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

3.2.3 ESTABILIZAÇÃO - HIGIENIZAÇÃO

Estabilizar o lodo tem por finalidade reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação. Os métodos mais empregados são: estabilização com cal, compostagem, digestão aeróbia e anaeróbia, sendo esta última a mais comum em ETEs de médio a grande porte (ANDREOLI et.al., 2006). A higienização busca garantir um nível de patogenicidade que, ao ser disposto no solo, o lodo não cause riscos à população

nem ao meio ambiente. A Resolução CONAMA 375/2006 estabelece que para este fim, os lodos devem ser submetidos a processos de redução de patógenos e atratividade de vetores.

- Estabilização com cal: Adiciona-se cal ao lodo até obter pH acima ou igual a 12, impossibilitando a sobrevivência de microrganismos, evitando a putrefação e geração de maus odores e reduzindo riscos à saúde. A redução de agentes patogênicos pode ser superior a 99%.
- Compostagem: É a estabilização da matéria orgânica do lodo através de processo de decomposição controlada, pode ocorrer mistura de lixo urbano ou não. Ao ar livre, os montes de lodo (leiras) são revolvidos constantemente por máquinas revolvedoras de leiras (FIGURA 18) que possibilitam a entrada de oxigênio e a liberação do dióxido de carbono para que os microrganismos aeróbios promovam a decomposição.



Figura 18: Revolvedoras de leiras para compostagem. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

- Digestão Aeróbia: Prática normalmente utilizada por ETEs de pequeno porte, pois apresenta simplicidade operacional e baixo custo de investimento. Apesar de não ser necessário cobrir os tanques e poder ocorrer em locais de menor capacidade volumétrica (FIGURA 19), apresenta alto custo operacional devido aos gastos com energia. O objetivo principal é a redução de odores e dos sólidos biodegradáveis.
- Digestão Anaeróbia: É uma das práticas mais antigas e utilizadas devido ao seu baixo custo operacional, pois os próprios microrganismos presentes

no lodo se proliferam e realizam os processos bioquímicos (FIGURA 20). Seu objetivo é a redução do volume do lodo, dos sólidos voláteis e de organismos patogênicos.

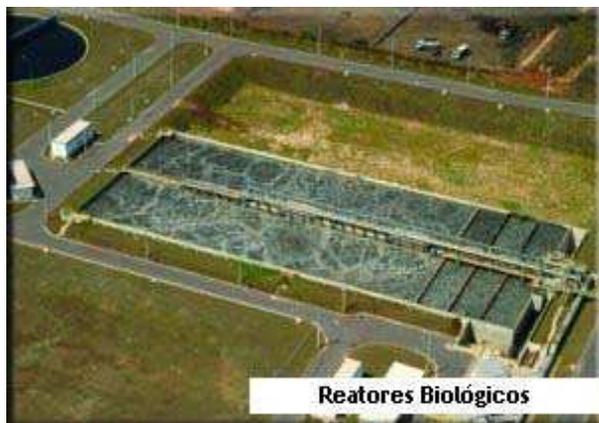


Figura 19: Digestores aeróbios. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

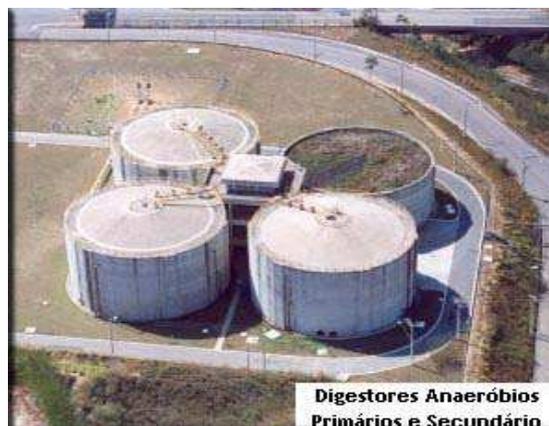


Figura 20: Digestores Anaeróbios. Fonte: GOOGLE IMAGENS (2013).

3.3 PRINCIPAIS METODOS DE DESCARTE DO LODO

A preocupação com o descarte correto do lodo de esgotos é algo relativamente recente no Brasil. Até poucos anos, a única referência ao lodo nos projetos das ETEs, após o tratamento, era uma seta e as palavras “disposição final”, sem identificar onde seria o descarte e nem como seria feito. Dessa forma, as empresas gerenciadoras de saneamento básico procuravam apenas se livrar do resíduo, sendo as formas mais utilizadas o descarte da torta de lodo em aterros sanitários - *landfill* e o descarte do lodo líquido, bombeado através de dutos até alto-mar - descarga oceânica (NUVOLARI et al., 2011).

Com a crescente preocupação de preservação do meio ambiente a descarga oceânica não é mais utilizada, sendo inclusive proibida nos USA e na Europa. Os processos que englobam a disposição final de 90% do lodo produzido no mundo são: incineração, disposição em aterros e uso agrícola. Estimativas apontavam que em 2010 os Estados Unidos empregariam mais de 61% do lodo no reuso agrícola (VANZETTO, 2012). A Tabela 5 demonstra e resume as alternativas de disposição final mais utilizadas no mundo:

Tabela 5 - Principais alternativas de disposição final do lodo, vantagens e desvantagens.

Alternativa	Descrição	Vantagem	Desvantagem
Descarga oceânica	Descarte no mar, após pré-condicionamento, através de emissários oceânicos ou navios lameiros.	Baixo custo	Poluição das águas, fauna e flora oceânica.
Incineração	Processo de decomposição térmica via oxidação, onde os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio e converte-se em dióxido de carbono e água, uma parcela dos sólidos fixos é transformada em cinzas.	Esterilização e redução drástica de volume	Custos elevados, disposição das cinzas e poluição atmosférica.
Aterro Sanitário	Disposição em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com solo até seu total preenchimento, quando então são seladas.	Baixo custo	Necessidade de grandes áreas, localização próxima a centros urbanos, características especiais de solo, isolamento ambiental, produção de gases e percolado, dificuldade de reintegração da área após desativação.
<i>Landfarming</i> – Disposição Superficial no solo	Áreas de disposição de resíduos onde seus substratos orgânicos são degradados biologicamente na camada superior do solo e a parte inorgânica é transformada ou fixada nesta mesma camada do solo.	Degradação microbiana de baixo custo, disposição de grandes volumes por unidade de área	Acumulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo, possibilidade de contaminação de lençol freático, liberação de odores e tração de vetores, dificuldade de reintegração da área após desativação.
Recuperação de área degradada	Disposição de altas doses de lodo em locais drasticamente alterados, como áreas de mineração, onde o solo não oferece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo.	Taxas elevadas de aplicação, resultados positivos sobre a recuperação do solo e flora	Odores, limitações de composição e uso, contaminação do lençol freático, fauna e flora.
Reciclagem Agrícola	Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas.	Efeitos positivos sobre o solo, grande disponibilidade de áreas, solução a longo prazo, potencial como fertilizante, resposta positiva das culturas ao uso.	Limitações referentes a composição e taxas de aplicação, contaminação do solo com metais, odores, contaminação de alimentos com elementos tóxicos e organismos patogênicos.

Fonte: ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES (2001) adaptada.

3.4 ALTERNATIVAS DE REUSO

Diante do progressivo aumento populacional os problemas ambientais resultantes da geração de resíduos da atividade humana exigem ações que viabilizem o equilíbrio entre consumo e reuso. No caso do lodo de esgoto não é

diferente, pois além do grande volume que exigirá cada vez áreas maiores para descarte existe ainda o problema ambiental que a ausência de tratamento adequado pode causar à área onde é depositado.

Outro ponto importante é que o lodo pode deixar de ser apenas um problema sobre como e onde ser descartado para se tornar um produto que pode reduzir o uso de recursos naturais em processos produtivos, beneficiar solos degradados, entre outras aplicações que vão agregar valor a algo que até então gerava custos para ser dispensado.

Muitos estudos estão sendo realizados em busca de alternativas de reuso do lodo de esgoto, considerando a necessidade de reduzir o volume final a ser descartado e os riscos de contaminação ambiental. A avaliação das possíveis alternativas é complexa por envolver aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Dentre os métodos mais experimentados podemos citar:

- Reaproveitamento Industrial
 - Fabricação de tijolos e cerâmicas;
 - Produção de agregado leve para construção civil;
 - Produção de cimento.
- Reaproveitamento Agrícola
 - Fertilizante orgânico e compostagem;
 - Recuperação de solos degradados.

A Figura 21 apresenta um fluxograma dos processos para disposição final cuja aplicação pretende se beneficiar das propriedades do lodo, conhecido como uso benéfico.

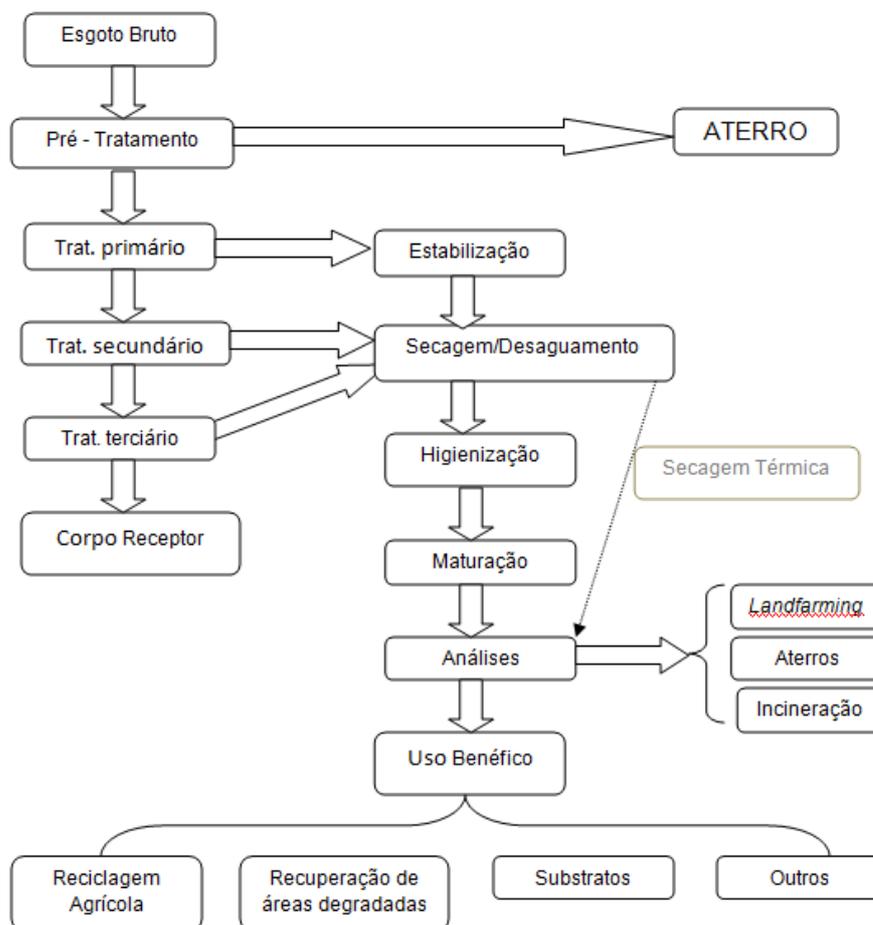


Figura 21: Fluxo de processamento de lodo para sua destinação final. Fonte: ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES (2001).

3.4.1 REAPROVEITAMENTO INDUSTRIAL

Na década de 80, preocupados com a destinação final ambientalmente adequada para determinados resíduos, os países industrializados começaram a emprega-los na construção civil (ANDREOLI et.al., 2006). O reaproveitamento do lodo em processos industriais como fabricação de tijolos, cerâmicas, cimentos, agregados leves e concretos é bastante interessante, pois reduz o consumo de recursos naturais e evita a disposição do lodo em aterros sanitários. Após o processo de secagem do lodo ele é destorroado e peneirado até atingir granulometria adequada.

3.4.1.1 FABRICAÇÃO DE TIJOLOS E CERÂMICAS

A incorporação do lodo de esgotos na fabricação de produtos cerâmicos tem se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. Como produtos cerâmicos entendam-se: telhas, tubos, tijolos, lajotas, entre outros. O lodo é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade. Isso pode ser feito manualmente, com pás carregadeiras ou, em olarias mais tecnificadas, utilizando-se equipamentos apropriados (ANDREOLI et.al., 2006).

A dosagem a ser adicionada varia de acordo com o tipo de resíduo e do processo em que está sendo empregado. Pesquisas demonstram que a dosagem varia de 5% com lodos de alto teor de umidade (80%) chegando a 30% com lodos secos a 110°C, condição em que ele perde toda a umidade. Na maioria das vezes, o percentual adicionado à massa fica em torno de 10% (em volume). A Figura 22 demonstra exemplares de tijolos sem adição de lodo (A) e com 10%, 20% e 30% de lodo adicionado à argila (B, C e D, respectivamente).



Figura 22: Aspecto geral de tijolos fabricados sem e com adição de lodo. Fonte: PIRES et.al. (2012)

A resistência mecânica dos tijolos e blocos cerâmicos deve atender às normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, conforme NBR 15270-1/05. De acordo com os estudos, as peças fabricadas com adição de lodo

conseguiram atender tais especificações. Após alguns testes, constatou-se que as amostras com 30% de lodo foram as que mais se aproximaram das características das peças sem adição de lodo.

Um estudo realizado pela SABESP comparou os custos para disposição final de lodos em aterros sanitários na Região Metropolitana de São Paulo e constatou que, incluindo o transporte, os preços variaram entre R\$49,00 a R\$76,00/tonelada. Um acordo firmado entre a empresa de saneamento de Cubatão e a Cerâmica Mônaco, fixou o preço em R\$35,00/tonelada para transporte e incorporação do lodo na produção de cerâmicas. Isso significou uma redução de 29 a 54% do custo em relação à disposição final em aterro sanitário (DAVID, et. al., 2002, apud, ANDREOLI et.al., 2006).

3.4.1.2 PRODUÇÃO DE AGREGADO LEVE PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Pesquisas demonstram que é possível utilizar o lodo de esgoto como substituto a agregados leves na fabricação de cimentos e concretos, bem como, peças feitas destes materiais. Os agregados leves seriam as areias, pequenas pedras, etc. Essa utilização justifica-se devido ao crescimento da indústria da construção civil e conseqüente aumento do consumo de agregados leves; aumento da produção de lodo; necessidade de encontrar alternativas para destinação final do lodo e conhecimento prévio de excelentes resultados de desempenho do lodo como agregado leve (MORALES, 1992).

O pesquisador da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), Álvaro José Calheiros da Costa (2011), utilizou o lodo na fabricação de concreto e aplicou na construção de calçadas. Ele utilizou uma parte de cimento para duas de agregado miúdo – lodo seco – e três de agregado graúdo, pedras em geral e concluiu que não houve perda sensível de qualidade nas calçadas construídas com o concreto misturado ao lodo.

3.4.1.3 PRODUÇÃO DE CIMENTO

No Brasil a técnica de adicionar lodo de esgoto na fabricação de cimento Portland ainda não é muito utilizada, nos USA, porém, a operação é realizada com frequência por diversas empresas de saneamento. Não apenas nos USA, mas também em outros países, o uso do lodo de esgoto é bem comum. Em Singapura, cinzas do lodo de esgoto adicionadas à massa asfáltica foram utilizadas com sucesso na construção de estradas (AZIZ & KOE apud ANDREOLI et.al., 2006).

Adicionar cinzas do lodo ao processo produtor de cimento reduz o custo de produção e como o cimento é o componente mais caro do concreto, também reduz os custos deste item indispensável na construção civil. É possível substituir 35% do consumo de cimento Portland por lodo calcinado entre temperaturas de 700°C a 800°C (MORALES apud PEREIRA, 2012).

3.4.2 REAPROVEITAMENTO AGRÍCOLA

No Estado de São Paulo, os critérios para reuso agrícola do lodo são estabelecidos pela Norma Técnica P4.230 da CETESB, observadas as cautelas legais da Resolução CONAMA 375/2006. O lodo para reaproveitamento agrícola é também chamado de bio sólido, o item 4, da referida norma técnica tem a seguinte definição para o termo:

Bio sólido: Refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atende as condições desta norma para uma utilização segura na agricultura.

Na opinião de Pegorini (1999), dentre as opções existentes para reciclagem do lodo o reaproveitamento agrícola demonstra ser a melhor opção, pois reduz a exploração de recursos naturais para fabricação de fertilizantes e proporciona os melhores resultados econômicos. No entanto, a qualidade do lodo utilizado na agricultura deve ser assegurada, de modo que promova melhorias às qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, sem risco de contaminações. A Figura 23 apresenta um fluxograma do processo de reciclagem agrícola de lodo.

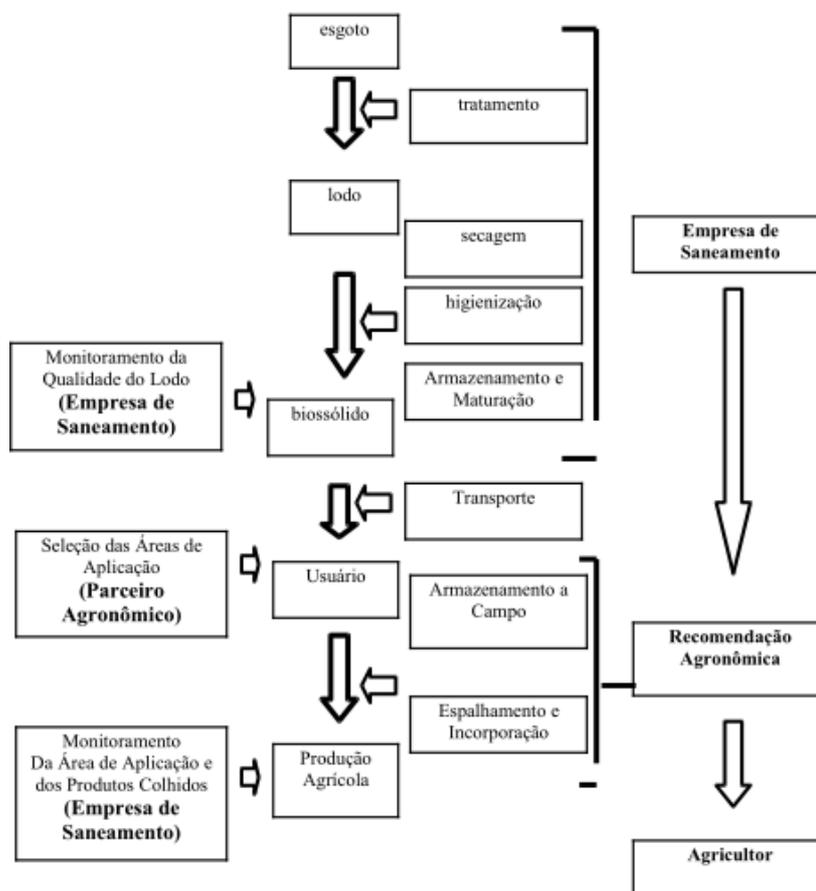


Figura 23: Representação esquemática do processo de reciclagem agrícola de lodo. Fonte: PEGORINI (1999).

3.4.2.1 FERTILIZANTE ORGÂNICO E COMPOSTAGEM

Os biossólidos apresentam em sua constituição quantidades significativas de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, sendo o nitrogênio e o fósforo os que normalmente se apresentam em maior quantidade. Considerando que o nitrogênio mineral presente no solo é logo absorvido ou perdido para a atmosfera, a matéria orgânica representa uma fonte contínua de nitrogênio, capaz de atender as demandas nutricionais das plantas e alcançar a máxima produção das culturas (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

A compostagem é um processo biológico de degradação da matéria orgânica. É considerada uma alternativa natural de tratamento do lodo, pois os microrganismos degradam a matéria orgânica e através de processos exotérmicos

promovem a desinfecção do resíduo, promovendo o lodo a um insumo de alto valor agregado.

3.4.2.2 RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

Solo degradado é aquele que sofreu, de alguma forma, perturbações em sua integridade. Como causas de degradação do solo podemos citar os desmatamentos, plantações e pastagens que não observam as técnicas de conservação da terra e da cobertura vegetal, queimadas, irrigações inadequadas, desenvolvimento urbano e atividades de exploração mineral. A erosão decorrente da ação das chuvas também é responsável pela perda de camadas superficiais férteis do solo (SKORUPA et.al., 2006). A disposição do lodo em áreas degradadas (FIGURA 24), por sua composição química, consegue aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água e a aeração do solo (TSUTIYA apud SKORUPA et.al., 2006).

Gilberto Colodro (2005), graduado e mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas e especialista em Ciências do Solo, defendeu tese de doutorado sobre o uso do lodo em solo degradado. Em suas pesquisas ele constatou que o gasto com o transporte de lodo será inferior ao gasto com compra de fertilizantes, desde que a distância entre o fornecedor do lodo e a área degradada não seja superior a 150 quilômetros.



Figura 24: Aspecto geral do lodo de esgoto e sua disposição em solo degradado. Fonte: SKORUPA (2006).

3.5 OBRIGAÇÕES LEGAIS E AMBIENTAIS

Os crescentes problemas ambientais provocados pela ação do homem incentivam a busca por práticas sustentáveis e ocasionam a criação de leis, normas e afins que buscam preservar o meio ambiente para assegurar qualidade de vida às gerações futuras. Dessa forma, muitas obrigações legais tornam-se obrigações morais e de autopreservação. A destinação segura e ecologicamente correta do lodo de esgoto é uma medida necessária para preservação do solo e águas subterrâneas ou de superfícies.

No Brasil a legislação sobre gerenciamento e disposição de lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto necessita de ajustes, pois ao passo que a Lei 12.305/2010 impõe responsabilidades sobre a disposição final do resíduo à unidade geradora, a Resolução CONAMA 375/2006 impõe diversas restrições quanto ao reuso do lodo. É claro que parâmetros de qualidade devem ser exigidos e respeitados, até mesmo para garantir a segurança ambiental e sanitária do reuso, porém, os processos de reaproveitamento devem ser incentivados e facilitados.

3.5.1 RESPONSABILIDADE AMBIENTAL

Para que o lodo possa ser manipulado com segurança, seja qual for o destino final, devem ser executadas as etapas de tratamento já expostas neste estudo. Dentre as formas de disposição final do lodo, a redução do uso de aterros sanitários e o crescimento do reuso agrícola parecem ser uma tendência mundial. A aplicabilidade do lodo nos diferentes tipos de solo brasileiro requer ainda estudos de caso e aplicações práticas para garantir que não existirá risco à saúde dos homens, plantas e animais. Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), os seguintes critérios deverão ser observados:

- Análise do risco para saúde do homem, animais e plantas: deverão ser respeitados os limites sobre os poluentes químicos presentes no lodo e as respectivas concentrações máximas;

- Controle sobre vetores e patógenos;
- No caso de aplicação no solo, verificar a distância mínima entre o local a ser empregado e áreas protegidas, como poços, florestas nativas e águas superficiais;
- Proceder às análises de amostras do lodo com a frequência necessária, garantindo a qualidade;
- Transportar e armazenar com segurança e dentro dos padrões exigidos;
- Monitorar a área ou produto de aplicação do lodo.

3.5.2 RESPONSABILIDADE LEGAL

Para que as obrigações ambientais sejam conhecidas e respeitadas, a normatização para reuso seguro do lodo de esgoto precisa ser legalizada. As condições ambientais, sociais e econômicas de cada país ou região influenciam na forma adequada de disposição do resíduo (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). No Brasil, além da Resolução 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, apenas o Paraná e São Paulo possuem legislação específica para disposição do lodo de esgoto na agricultura.

Ao se pensar em responsabilidade legal, deve-se lembrar da Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como Decreto 7.404/2010, que a regulamentou. Apesar de não mencionar diretamente o descarte de lodo de esgoto, a Lei 12.305/2010 prevê a eliminação de aterros controlados até 2014 e incentiva a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

Essa medida afeta diretamente os processos logísticos ligados à disposição final do lodo de esgoto, já que grande parte do resíduo é atualmente depositada em aterros. Sabendo-se que muito em breve o método de disposição final deverá ser alterado e que novas técnicas deverão ser empregadas, as unidades geradoras e gerenciadoras do lodo de esgoto devem se reestruturar o quanto antes.

O Decreto 7.404/2010 criou o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa que dentre outras competências definirá as diretrizes metodológicas para avaliação dos impactos sociais e econômicos dos sistemas de logística reversa. No que diz respeito à logística e ao reaproveitamento e destinação adequada de resíduos como o lodo destacamos os artigos 13 e 35, transcritos a seguir:

Art. 13 A logística reversa é o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Art. 35. Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deverá ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Quanto às legislações específicas, será discutido brevemente sobre os critérios estabelecidos em cada uma delas, enfatizando apenas aqueles relacionados aos processos logísticos no gerenciamento do lodo de esgoto.

3.5.2.1 NORMA TÉCNICA CETESB P4.230 – SÃO PAULO

Trata-se de um manual técnico homologado em 1999 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) que estabeleceu critérios para aplicação de lodos provenientes de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas. Foi elaborada a partir das normas técnicas americanas e europeias e atualmente não está mais em vigor, mas serviu de base para a criação da Resolução CONAMA 375/2006. De forma resumida, citamos os seguintes itens:

- Item 8.1 - Critérios de estocagem – Lodos desaguados poderão ser armazenados diretamente sobre o solo, desde que cobertos. Se houver líquidos livres o piso deverá ser impermeabilizado e apresentar caimento do percolado.
- Item 8.4.1 – Exigências quanto à operação:

[...] O transporte do lodo deverá ser realizado de modo a atender ao estabelecido na Norma ABNT NBR 13.221 – Transporte Terrestre de Resíduos e na legislação vigente. O equipamento de transporte deve ser operado de forma a evitar derramamentos [...].

- Item 9.1 – Inspeções:

O gerador do lodo deverá inspecionar as instalações de armazenamento e o transporte do lodo de modo a prevenir deteriorações, erros de operação e descartes, os quais poderiam causar ou facilitar vazamentos de lodos no meio ambiente e apresentar riscos ou desconforto à saúde humana. Deverá ser mantido um registro de inspeção ou um sumário, que inclua, no mínimo, a data e hora da inspeção, as observações realizadas e quaisquer manutenções, reparos e/ou as ações corretivas tomadas pelo requerente. Este registro de inspeção deve ser mantido pelo responsável por um período de três anos contados a partir da data da inspeção, devendo estar disponível para consulta do Órgão de Controle Ambiental, ou de outra autoridade de licenciamento, quando solicitado.

3.5.2.2 RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução 375/2006 definiu critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. O Anexo VII estabelece as recomendações quanto ao transporte do lodo:

1. O lodo de esgoto ou produto derivado somente será carregado e retirado da ETE ou UGL mediante a apresentação pelo motorista do caminhão, do Termo de Responsabilidade (nº 1 carregamento) e do Formulário de Controle de Retirada.
2. O motorista deve estar devidamente cadastrado e credenciado na empresa geradora do lodo de esgoto ou produto derivado.
3. Para o transporte deverão ser utilizados caminhões com carrocerias totalmente vedadas, tais como os caminhões basculantes, equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex.
4. É proibido qualquer tipo de coroamento nos caminhões (altura da carga ultrapassando a altura da carroceria).
5. Os caminhões devem possuir algum tipo de sistema de comunicação para uso imediato em caso de ocorrência de sinistro.
6. Em caso de sinistro em vias públicas, com derramamento de lodo de esgoto, todos os procedimentos para limpeza são de responsabilidade da empresa transportadora do lodo de esgoto ou produto derivado.
7. Todos trabalhadores em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado deverão sempre utilizar luvas de proteção plásticas ou de couro. Também é requerido o uso de calçado adequado, sapatos ou botas de couro ou plástico, sendo proibido o uso de sandálias e outros calçados abertos.
8. Ao término dos serviços, lavar com água e sabão as luvas, os calçados e as mãos.
9. Deverá ser observada a limpeza dos pneus na saída dos caminhões da ETE ou UGL.

Seção VII, Do Carregamento, Transporte e Estocagem:

Art. 19. A UGL é responsável pelo procedimento de carregamento e transporte do lodo de esgoto ou produto derivado, devendo respeitar o disposto no Anexo VII desta Resolução. Art. 20. A estocagem do lodo de esgoto ou produto derivado na propriedade deve se restringir a um período máximo de 15 dias, devendo atender aos seguintes critérios: I - a declividade da área de estocagem não pode ser superior a 5%; e II - a distância mínima do local de estocagem a rios, poços, minas e cursos d'água, canais, lagos e residências deverá respeitar o disposto no art. 15 desta Resolução. Parágrafo único. É proibida a estocagem diretamente sobre o solo de lodo de esgoto ou produto derivado contendo líquidos livres, cuja identificação deverá ser feita pela norma brasileira vigente.

3.5.2.3 RESOLUÇÃO SEMA 001/2007 – PARANÁ

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná publicou a Resolução 001/2007 que dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Dentre essas providências, define a utilização agrícola do lodo de esgoto, as UGLs – Unidades de Gerenciamento de Lodos e os critérios para transporte e armazenagem do lodo. Abaixo, transcrevemos o item 12, Carregamento, Transporte e Estocagem:

A UGL é responsável pelo procedimento de carregamento e transporte do lodo de esgoto ou produto derivado, devendo respeitar o disposto no Anexo 6G desta Resolução. A estocagem do lodo de esgoto ou produto derivado na propriedade deve se restringir a um período máximo de 15 dias, devendo atender aos seguintes critérios: I - a declividade da área de estocagem não pode ser superior a 5%; e II - a distância mínima do local de estocagem a rios, poços, minas e cursos d'água, canais, lagos e residências deverá respeitar o disposto no item 8, deste Anexo. É proibida a estocagem diretamente sobre o solo de lodo de esgoto ou produto derivado contendo líquidos livres, cuja identificação deverá ser feita pela norma brasileira vigente.

3.6 VIABILIDADE DE REUSO

Como forma de reciclagem do lodo, o reuso agrícola é a alternativa que tem sido mais empregada no mundo todo. Porém, efluentes industriais contaminados por metais pesados ou outros poluentes podem encarecer o tratamento e inviabilizar o reuso agrícola. Por isso é muito importante que as empresas de saneamento estabeleçam critérios para o recebimento de efluentes industriais na rede pública (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

A análise de viabilidade para o gerenciamento e reciclagem do lodo de esgoto deve considerar os aspectos legais, ambientais, econômicos e técnicos. Implantar os processos adequados dentro de uma ETE que normalmente utiliza aterros sanitários como destinação final do lodo, requer primeiramente uma avaliação das estruturas já existentes e da área disponível para possíveis novas construções. Os aspectos legais e ambientais já foram apresentados no item 3.4, restando, portanto, as análises de viabilidade técnica e econômica.

3.6.1 VIABILIDADE TÉCNICA

Implantar uma UGL dentro de uma ETE requer a análise da estrutura física e da capacidade operacional, levando em consideração o tipo de destinação final escolhida. As características dos efluentes recebidos influenciarão diretamente nas etapas de tratamento necessárias e conseqüentemente, na quantidade e na qualidade de lodo gerado. Sendo assim, é necessário conhecer as características dos efluentes recebidos para definir a melhor forma de destinação final do lodo e prever os custos de cada etapa.

Um processamento flexível permite diferentes tipos de destinação final e valorização do lodo, destinações finais flexíveis permitem variações na quantidade e qualidade do lodo. O desempenho operacional satisfatório também está relacionado à simplicidade técnica operacional. O tratamento do lodo com cal para reuso agrícola, por exemplo, é uma técnica simples, de baixo custo e de sucesso comprovado pelas ETEs de Curitiba e Brasília (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001), tecnologias desconhecidas devem ser evitadas.

Se a reciclagem agrícola for a destinação final escolhida será preciso definir onde o lodo será aplicado, saber se existem áreas próximas com culturas onde a legislação permita a aplicação de biossólidos. A distância entre a ETE e a área agrícola onde o lodo será aplicado é fator determinante no custo da operação e o teor de sólidos determinará o tipo de transporte mais adequado.

Portanto, a viabilidade técnica depende da análise de diversos fatores como: áreas disponíveis (para processamento e aplicação), instalações existentes e

adequações necessárias, tipo de transporte e manuseio, existência de mão de obra especializada ou treinada e a gestão e controle da UGL. A Figura 25 demonstra as principais etapas do gerenciamento de lodo na ETE (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

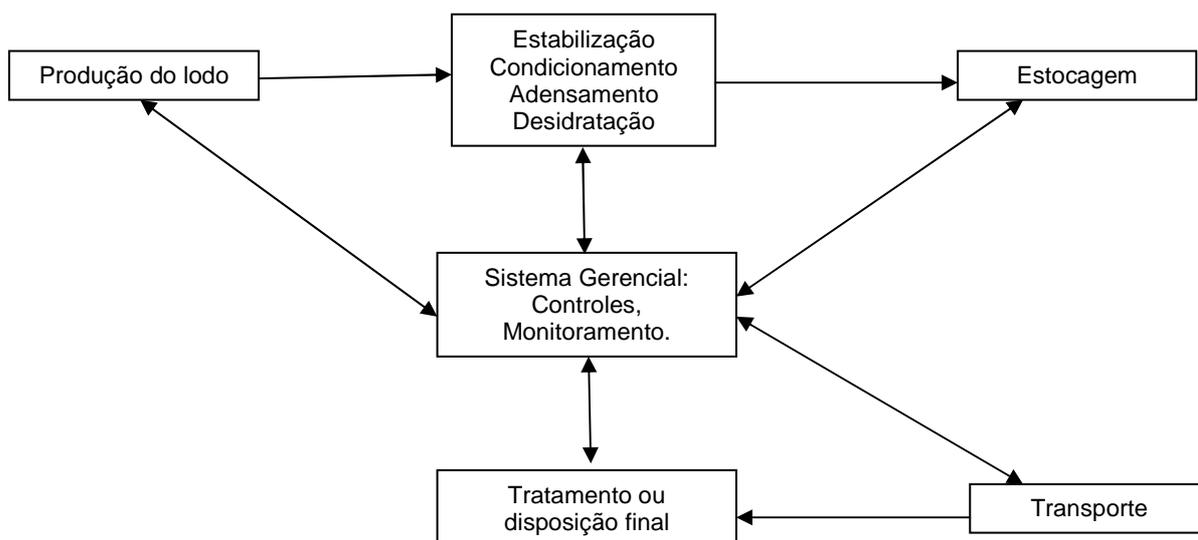


Figura 25: Esquema básico para gerenciamento do tratamento e destino final do lodo de esgoto. Fonte: ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES (2001).

3.6.2 VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica de implantação de uma UGL está diretamente relacionada à escolha da alternativa de disposição final escolhida e dos métodos de processamento do lodo (ANDREOLI et.al., 2006). Afinal, esses processos representam de 20 a 60% do custo operacional de uma ETE e são extremamente importantes para garantir que o tratamento de efluentes não seja realizado de forma incompleta ou inadequada.

Realizada a análise de viabilidade técnica torna-se possível estimar os custos para implantação de uma UGL, através da elaboração de um projeto que defina quais serão os equipamentos e instalações que devem ser adquiridos ou adequados. Atualmente, a maioria das ETEs utiliza aterros sanitários para dispor o

lodo resultante do tratamento de efluentes. A Tabela 6 apresenta dados comparativos de custos da disposição final de lodo:

Tabela 6 – Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto

Alternativas de disposição final	Custo (US\$/t)
Oceânica	12 a 50
Aterros Sanitários	20 a 60
Incineração	55 a 250
Reciclagem Agrícola	20 a 125

Fonte: CARVALHO & BARRAL (1981) apud ANDREOLI et.al. (2006).

De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), os custos devem ser divididos em custos de processamento do lodo, transporte e disposição, considerando para cada um destes itens, os custos de investimento, operacionais e administrativos. Os custos de investimento são basicamente compostos pelos equipamentos a serem utilizados; pelos materiais de manuseio (bombas, esteiras, caminhões, tratores, etc); os custos por m² de terreno do local de instalação da UGL; os gastos com obras civis e os gastos com instalações elétricas.

Alguns equipamentos e materiais de manuseio necessários para o gerenciamento do lodo já estão presentes nas Estações de Tratamento de Esgotos. Portanto, após a análise de viabilidade técnica para definir o tipo de processamento e de destinação final, se faz necessária uma análise logística do projeto. Essa análise definirá critérios de aproveitamento e adaptação dos materiais, instalações e equipamentos já existentes para que os custos com novas aquisições ou construções sejam minimizados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que a necessidade de encontrar alternativas seguras para o descarte do lodo de esgoto vai além das obrigações legais e se torna cada vez mais urgente. Considerando o crescimento urbano acelerado e o consequente aumento do volume de lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos, as ações relacionadas à sustentabilidade e à responsabilidade ambiental estão interligadas e definirão hoje a qualidade de vida das gerações futuras. O desafio de encontrar o equilíbrio entre produção, consumo e descarte deixou de ser um ideal ecológico e passou a ser medida de autopreservação.

Com a homologação de leis como a Política Nacional de Resíduos Sólidos que buscam a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final ambientalmente segura dos resíduos sólidos e da crescente demanda de área para descarte, as Estações de Tratamento de Efluentes devem se reestruturar e incluir em suas atividades o processamento do lodo para fins de reuso. Ficou claro que para isso, as empresas de saneamento também precisam estabelecer critérios para o recebimento de efluentes industriais em suas redes públicas de coleta de esgoto.

Afinal, as características dos efluentes recebidos definirão qual será a melhor forma de reutilização e influenciarão diretamente nos custos do tratamento necessário para garantir qualidade ao lodo para reuso. Diante disso, a responsabilidade compartilhada preconizada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos deverá estar presente na gestão integrada do lodo de esgoto. Cabe às indústrias geradoras de efluentes que não atendam aos padrões pré-estabelecidos, implantar sistemas de gestão ambiental capazes de garantir o despejo de dejetos menos poluentes nas redes públicas de coleta e afastamento de esgotos.

Comprova-se com este estudo que o lodo pode ser inserido nos processos de logística reversa, pois existem diversas soluções economicamente viáveis para transformar um rejeito de descarte ambientalmente perigoso, em um subproduto com valor agregado, capaz de ser reinserido ao ciclo produtivo como matéria prima que minimiza impactos ambientais. Cabe a cada Unidade Gerenciadora de Lodos

identificar quais os métodos são os mais indicados, respeitando-se sua capacidade técnica e operacional, bem como os aspectos econômicos, legais e ambientais.

A hipótese de que mesmo após processamento adequado a reutilização do lodo não seria ambientalmente segura foi descartada. Ao contrário, constata-se que é perfeitamente possível o reaproveitamento seguro do lodo de esgoto, desde que sejam atendidos os padrões de segurança e qualidade exigidos pelas legislações vigentes. Como exemplos de sucesso em reaproveitamento seguro podemos citar os Estados Unidos, a Dinamarca e Singapura, onde o reuso do lodo já se tornou comum e tem sido cada vez mais difundido.

Da mesma forma, também não se mostrou verdadeira a hipótese de que a reutilização do lodo após processamento adequado não seria economicamente viável devido aos custos elevados do processo. Verifica-se que grande parte das instalações e equipamentos necessários para o reaproveitamento do lodo de esgoto já se encontram nas atuais Estações de Tratamento em funcionamento. Um planejamento logístico adequado sobre instalações, equipamentos para manejo, materiais para o tratamento e alternativas de transporte pode garantir a eficiência do processo com o mínimo custo operacional.

Portanto, das hipóteses aventadas no início deste estudo apenas uma se confirmou. Conclui-se que a reutilização do lodo de esgoto após o processamento adequado, pode apresentar diversos benefícios ecológicos que justificam os custos do tratamento. Para isso é necessário que a forma de reuso seja escolhida levando-se em consideração as limitações da Unidade Gerenciadora de Lodos ou das Estações de Tratamento de Esgotos e que as etapas do tratamento sejam executadas com responsabilidade, a fim de garantir a qualidade do produto e a segurança no reuso.

Confirma-se que os itens que mais encarecem a reutilização do lodo, principalmente no que diz respeito à disposição final, são o transporte e o manejo. Através de uma visão sistêmica e planejada é possível identificar os veículos e equipamentos mais adequados em cada etapa do processo, buscando alcançar um sistema logístico organizado e eficaz.

Sendo assim, para destinar corretamente o lodo de esgoto, além do conhecimento técnico sobre os tratamentos envolvidos, são necessários também conhecimentos logísticos. O emprego da logística para planejar, manusear, armazenar e transportar os resíduos é essencial para o sucesso do processo. Consta-se que os conceitos de logística reversa estão presentes em toda a cadeia de reuso do lodo, bem como os preceitos da logística verde que se preocupa, entre outros aspectos, com a ausência de reaproveitamento e com o crescente aumento da emissão de resíduos ao meio ambiente.

Conclui-se, diante de todo o exposto, que conhecer os processos logísticos para identificar as alternativas existentes em equipamentos, materiais e instalações é fator determinante para garantir a máxima eficiência do processo com o mínimo custo. Da mesma forma, conhecer e aplicar os conceitos relativos à logística reversa e à logística verde é igualmente necessário para que se alcance o equilíbrio entre economia, meio ambiente e sociedade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICANA/SP. Departamento de Água e Esgoto. **Histórico, Missão e Valores**. Americana: Governo Municipal, 2012. Disponível em: <<http://www.daeamericana.com.br/portal/sobre-o-dae/historico-missao-visao-e-valores>>. Acesso em: 20 set 2012. 20h33.

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.

ANDREOLI, C.V. et al. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 417 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento: NBR-9648/nov.1986**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. **Informação e documentação - Referências - Elaboração: NBR-6023/ago.2002**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____. **Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação: NBR – 10520/ago.2002**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____. **Componentes Cerâmicos: NBR-15270-1/set.2005**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **Transporte terrestre de resíduos: NBR-13221/maio 2010**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BARBOSA, A. et al. **Logística Reversa – O Reverso da Logística**. Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/ARTIGO394.htm>>. Acesso em 12 nov 2012. 08h32.

BIOCICLO; CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Estudo de viabilidade para instalação e operação de centrais de lodos nas Bacias PCJ**. Americana/SP. 2011. Disponível em: <<http://www.agua.org.br/apresentacao-arquivos.aspx?id=73>>. Acesso em: 29 ago. 2012. 12h20.

BOSAN, A.N. **As características do comportamento empreendedor**. 2008. 14f. Projeto de Pesquisa (Curso Administração de Empresas). FIO/Ourinhos/SP/2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional**. Brasília: Governo Federal, 2004. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/consulta2edicao.pdf>. Acesso em: 25 abr 2013. 11h45.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375 de 29 ago 2006**. Brasília: Governo Federal, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 20 abr 2013. 12h30.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Governo Federal, 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 out 2012. 14h20.

BRASIL. **Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Brasília: Governo Federal, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 10 out 2012. 14h35.

CAMPOS, J.R. **Alternativas para tratamento de esgotos: Pré-tratamento de águas para abastecimento**. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994. 112p.

CANZIANI, J.R.F. et al. Análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém. **Sanare Rev. Técnica da Sanepar**. Curitiba/PR: 1999. v.11. n 11. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v11/Editorial/editorial.html>>. Acesso em: 05 abr 2013. 13h40.

COLODRO, G. **Tratamento com lodo de esgoto faz nascer “oásis” em área desértica**. Jornal da UNICAMP. Campinas/SP: 2005. Edição 307. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/outubro2005/ju307pag09.html>. Acesso em: 20 mar 2013. 13h30.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Localização e Consorciados**. 2013. Disponível em: <<http://www.agua.org.br/conteudos/41/localizacao.aspx>>. Acesso em: 09 mar 2013. 08h20.

COPETTI, J.S. **Propostas de gestão para manutenção e conservação ambiental da faixa do gasoduto Urucu – Manaus**. 2012. 110f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial). Universidade Federal do Paraná/Curitiba/2012.

COSTA, A.J.C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol – SP**. 2011. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). USP/São Carlos/SP/2011.

COSTA, E.B. et al. **Modal de Transporte Dutoviário**. 2009. Trabalho Acadêmico (Curso Técnico em Exploração de Petróleo e Gás). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia/Simões Filho/BA/2009.

FERREIRA, M.A. Modais de Transporte. **Rev. Virtual Techoje, Instituto de Educação Tecnológica**. set. 2009. Disponível em <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/670>. Acesso em: 23 ago. 2012. 08h20.

GIACOMINI FILHO, G. **Meio ambiente e consumismo**. Série Meio Ambiente (8), São Paulo: Senac, 2008. 254p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas. 159p. 1991.

GOOGLE IMAGENS. 2013. Disponível em <https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>. Acesso em 18 abr 2013. 12h20.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 250p.

_____. **Logística reversa: nova área da logística empresarial.** Rev. Tecnológica, Ano VII, n. 78, p. 28-29. 2002. Disponível em <<http://meusite.mackenzie.br/leitepr/LOG%CDSTICA%20REVERSA%20-%20NOVA%20%C1REA%20DA%20LOG%CDSTICA%20EMPRESARIAL.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2013. 10h15.

LONDON, L.P.A. **Logística aplicada ao transporte aquaviário como vantagem competitiva ao comércio exterior brasileiro.** 2011. 46f. Monografia (Pós-Graduação em Logística Empresarial). Universidade Candido Mendes/Rio de Janeiro/2011. Disponível em: <http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/T207310.pdf>. Acesso em: 14 nov 2012. 09h45.

MAZIVIERO, G.T. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de lodo de esgoto por meio dos sistemas – teste *allium cepa* e *tradescantia pallida*.** 2011. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). UNESP/Rio Claro/SP/2011.

MCCKINNON, Alan et al. (Orgs.). **Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics.** 2010. Disponível em: <<http://www.greenlogistics.org/>>. Acesso em: 05 fev 2013. 09h10.

MORALES, G. **Caracterização do agregado leve obtido a partir do lodo de esgoto de Londrina.** São Paulo: EPUSP, 1992. 20f. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil). USP/São Paulo/SP/1992.

MURTA, A.L.S. **Subsídios para o desenvolvimento de estudos de impactos ambientais para projetos de transporte dutoviário.** 2003. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia/Rio de Janeiro/2003.

NUCCI, N.L.R.; COSTA e SILVA, R.J.; ARAÚJO, J.L.B. **Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no Estado de São Paulo.** São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima - Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal, 1978. 70p.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. **Resolução nº 001/07 – Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento.** Paraná: SEMA/2007. 73p.

PEDROZA, M.M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato.** v.11, n.16, p. 89-188, jul/dez. 2010. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0121121014101925.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2013. 08h25.

PEGORINI, E.S. et al. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Curitiba: SANEPAR, 1999. 92p.

PEREIRA, K.L.A. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos.** 2012. 102f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). UFRN/Natal/RN/2012.

PIRES, G.T.; GERALDO, R.H.; ZECHINATTI, V.H. **Adição de lodo de esgoto da ETE do município de Jaguariúna em tijolos cerâmicos: estudo de viabilidade.** Revista Intellectus. a.8, n.22, p. 143-158, 2012. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/941306/1/2012AP36.pdf>>. Acesso em: 18 mar 2013. 13h20.

REINALDO, M.V.A.A. **Avaliação do processo fotocatalítico na desinfecção de efluentes anaeróbios de águas residuárias.** 2006. 100f. Dissertação (Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal da Paraíba/Campina Grande/PB/2006.

RESENDE, E.L. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso.** 2004. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial/Rio de Janeiro/2004.

RICHARDSON, R.J. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 1999. 334p.

SANTOS, A.D.; JOHN, V.M. **Reciclagem do lodo de esgoto da região metropolitana de São Paulo – RMSP.** São Paulo: EPUSP, 2007. 19f. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil). USP/São Paulo/SP/2007.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Norma Técnica P4.230 - Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico.** São Paulo: CETESB, 1999. 33p.

SERVIÇO AUTONOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. **Sistemas de Tratamento de Esgoto.** Aracruz/ES. jun 2006. Disponível em: <http://www.cepuerj.uerj.br:8080/insc_online/itaguai_2011/edital/superior/biologo/Tra%20tamento%20de%20Esgoto.pdf>. Acesso em: 15 jan 2013. 12h30.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico.** 21 ed. São Paulo: Cortez, 2000.

SKORUPA, L.A. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável** [base de dados na internet]. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente. dez 2003. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/busca?b=pc&busca=autoria:%22SKORUPA,%20L.%20A.%22&qFacets=autoria:%22SKORUPA,%20L.%20A.%22&biblioteca=vazio&sort=&paginacao=t&paginaAtual=2>>. Acesso em: 22 abr 2013. 13h15.

VANZETTO, A.S. **Análise das alternativas tecnológicas de desaguamento de lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto.** Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 185f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília/Distrito Federal/2012.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 92p.