



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Kaik Eduardo Silva Vilar

UTILIZAÇÃO DO LODO DA ETE VILA UNIÃO EM SOLOS DE PALMAS, UM ESTUDO DE CASO

Palmas-TO

2015

Kaik Eduardo Silva Vilar
UTILIZAÇÃO DO LODO DA ETE VILA UNIÃO EM SOLOS DE PALMAS, UM
ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada como requisito final da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Mestre José Geraldo Delvaux Silva.

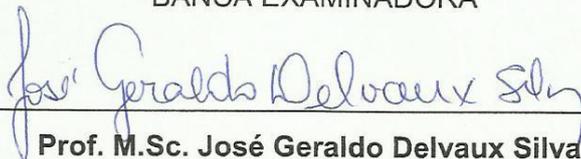
Palmas-TO
2015

Kaik Eduardo Silva Vilar
UTILIZAÇÃO DO LODO DA ETE VILA UNIÃO EM SOLOS DE PALMAS, UM
ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada como requisito final da
disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC
II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo
Professor Mestre José Geraldo Delvaux Silva.

Aprovada em 11 de Novembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA



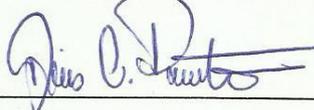
Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva.

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Fábio Moreira Spinola de Castro

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO
2015

RESUMO

VILAR, Kaik Eduardo Silva. **Utilização do lodo da ETE vila união em solos de palmas, um estudo de caso.** 2015, 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

O tratamento dos esgotos, que com certeza irá proteger o meio ambiente não poluindo os solos, rios e mares, resulta na produção de um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto ou biossólido. É necessário o desenvolvimento de alternativas seguras e factíveis para que este produto não venha a ser um novo problema ambiental, mas sim que se obtenha vantagens ambientais de sua disposição. As alternativas mais usuais para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterro sanitário; reuso industrial; incineração; conversão em óleo combustível; recuperação de solos; "landfarming" e uso agrícola e florestal. Este trabalho tem a finalidade de abordar formas de disposição final do lodo de esgoto, apresentar as características químicas do lodo, quantificar a contribuição de nutrientes do lodo da ETE Vila União, em um solo de uma área experimental no município de Palmas. A amostra de lodo foi encaminhada para o Laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, onde foram feitas as análises químicas. O lodo gerado na ETE Vila União, mostrou-se que a quantidade de metal no lodo é abaixo do limite estabelecido pela CETESB. O cálculo da quantidade de nutrientes para ser aplicado em um Latossolo Vermelho Amarelo resultou no valor de 2,04 t/ha de lodo de esgoto. A concentração de metal pesado no solo com a aplicação de 2,04 t/ha de lodo, também não atingiu o limite máximo estabelecido pela CETESB.

Palavras-chave: Disposição final, Lodo, Esgoto, Metal pesado.

ABSTRACT

VILAR, Kaik Eduardo Silva. **Sludge use the Effluent Treatment Plant Vila união in soil of Palmas, a case study**. 2015, 52f. Work Completion of course (Graduation) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center Palmas, Palmas / TO 2015.

The treatment of sewage, which is sure to protect the environment not polluting the land, rivers and seas, resulting in the production of a rich sludge in organic matter and nutrients called biosolids or sewage sludge. It is necessary to develop safe and feasible alternatives for this product will not be a new environmental problem, but rather to obtain environmental benefits of your service. The most common alternatives to the use or disposal of sewage sludge are: disposal in landfill; industrial reuse; incineration; conversion into fuel oil; soil remediation; "landfarming" and agricultural and forest use. This work aims to address ways of disposal of sewage sludge, display the chemical characteristics of the sludge, the sludge quantify nutrient contribution of ETE Vila Union in a solo of an experimental area in the city of Palmas. The sludge sample was forwarded to the Department of Soil Science Laboratory of the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, where they were made chemical analyzes. The sludge generated in ETE Vila Union, it was shown that the amount of metal in the sludge is below the limit established by CETESB. The calculation of the amount of nutrients to be applied in a Yellow Red Latosol resulted in the amount of 2.04 t / ha sewage sludge. The heavy metal concentrations in soil with 2.04 t / ha sludge also not reached the maximum limit established by CETESB.

Keywords: Final provision, sludge, sewage, heavy metal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição do esgoto doméstico	22
--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Características físico-químicas do lodo de esgoto segundo alguns autores nacionais	22
QUADRO 2: Síntese das fontes de contaminação e efeitos sobre a saúde dos principais metais encontrados no lodo	24
QUADRO 3: Concentrações limites de metais no lodo	37
QUADRO 4: Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos.....	38
QUADRO 5: Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas.....	39
QUADRO 6: Concentração dos principais nutrientes gerado pela ETE - Norte.	42
QUADRO 7: Concentração dos metais pesados gerado pela ETE – VILA UNIÃO ...	44

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

CCBA	Coordinate Chemical Bonding Adsorption
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
LVA	Latossolo Vermelho Amarelo
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido

LISTAS DE SIMBOLOS

Ag	Prata
As	Arsênio
B	Boro
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cl	Cloro
Cr	Crômio
Cu	Cobre
F	Flúor
ha	Hectare
Hg	Mercúrio
HNO ₃	Ácido Nítrico
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
S	Enxofre
Sb	Antimônio
Se	Selênio
Si	Silício
t	Tonelada
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 Justificativa	14
1.3 Problema	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Tratamento de esgoto	16
2.1.1 Tratamento preliminar	16
2.1.2 Tratamento primário	16
2.1.3 Tratamento secundário	17
2.1.4 Tratamento terciário	17
2.2 Características do esgoto	17
2.3 Tipos de sólidos gerados no tratamento de esgoto	19
2.4 Características dos lodos nas ETEs	20
2.4.1 Metais Pesados	22
2.5 Tratamento do Lodo	25
2.5.1 Adensamento	26
2.5.2 Estabilização	27
2.5.3 Condicionamento	27
2.5.4 Desaguamento	28
2.5.5 Higienização	28
2.6 Disposição final do lodo	29
2.6.1 Incineração	30
2.6.2 Reciclagem Agrícola	30
2.6.3 Landfarming	31
2.6.4 Aterro Sanitário	32
2.6.5 Reuso Industrial	33
2.6.6 Disposição Oceânica	34
3 METODOLOGIA	35
3.1 Coletas e preparo das amostras	35
3.2 Análises de metais / Parâmetros para metais pesados (mg/kg de lodo seco)	36
3.3 Determinações de nutrientes (N, P, K)	36
3.4 Lodo a ser incorporado no solo	36
3.4.1 Quanto à composição do lodo	36
3.4.2 Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponível	37
3.4.3 Taxa de aplicação do lodo em relação aos metais pesados	37
3.4.4 Taxa de aplicação em função de outros nutrientes	38
3.4.5 Limites de acumulação de metais no solo	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Disposição final do lodo	40
4.1.1 Reciclagem agrícola	40

4.1.2 Indústria cerâmica.....	41
4.2 Aplicação do lodo da ETE-Vila União em um latossolo vermelho	42
4.2.1 Taxa de lodo a ser aplicada com base nos macronutrientes (N, P, K)	42
4.2.2 Metais pesados.....	43
5 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A sociedade está a cada dia se preocupando mais com as questões ambientais, exigindo do Estado e da iniciativa privada novas maneiras de reutilizar os recursos naturais. No saneamento uma dos maiores problemas é a destinação adequada dos resíduos sólidos, pois com o crescimento do número de estações de tratamento de efluentes (ETE), a produção de lodo também aumenta.

As estações de tratamento de efluentes (ETE) tem por finalidade recolher todo os resíduos líquidos proveniente de domicílios e indústrias, fazendo um tratamento para remover as impurezas, deixando o mais próximo possível das características originais para assim poder ser devolvida à natureza sem causar danos ambientais.

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

O tratamento dos esgotos, que com certeza irá proteger o meio ambiente não poluindo os solos, rios e mares, resulta na produção de um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto ou biossólido, havendo necessidade de uma adequada disposição final deste "resíduo". Entretanto, diversos projetos de tratamento de esgotos não contemplam o destino final do lodo produzido e com isso anulam-se parcialmente os benefícios da coleta e do tratamento de efluentes. Torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas seguras e factíveis para que este produto não venha a ser um novo problema ambiental, mas sim que se obtenha vantagens ambientais de sua disposição (ROQUE, 2002).

As alternativas mais usuais para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co - disposição com resíduos sólidos urbanos); reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento) ; incineração (incineração exclusiva e co - incineração com resíduos sólidos urbanos); conversão em óleo combustível; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração); "landfarming" e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético) (BETTIOL & CAMARGO, 2000).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Indicar formas de disposição do lodo de uma estação de tratamento de efluentes, minimizando a degradação do meio ambiente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Abordar formas de disposição final do lodo de esgoto.
- Apresentar as características químicas do lodo.
- Quantificar a contribuição de nutrientes do lodo da ETE Vila União, em um solo de uma área experimental no município de Palmas.

1.2 Justificativa

Uma disposição final de resíduos gerado por uma estação de tratamento de efluente (ETE) é de extrema importância para o meio ambiente. Com um destino adequado dos biossólidos conclui-se com sucesso um sistema de saneamento, diminuindo o impacto ambiental provocado e garantindo uma sustentabilidade com a sua reutilização em outras atividades.

1.3 Problema

A composição do lodo permite o seu uso na recuperação de áreas alteradas?

Muitas vezes o resíduo gerado pela esta estação de tratamento de efluente (ETE) é descartado de forma que degrade o meio ambiente e colocando em risco a saúde pública, esse resíduo é um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, portanto havendo uma necessidade de uma adequação final deste material.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tratamento de esgoto

Esgoto é o conjunto de todos os resíduos líquidos provenientes de indústrias, hospitais e domicílios que necessitam de tratamento adequado para que sejam removidas suas impurezas e assim possam ser devolvidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana (FARIA, 2009).

Os esgotos para retornarem aos corpos hídricos receptores em boas condições devem passar por estações de tratamento. Que após a remoção dos contaminantes será posteriormente lançado a um sistema hídrico a uma qualidade desejada ou a um padrão de qualidade vigente.

A Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é usualmente dividida nas seguintes etapas: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário.

Na divisão de tratamento citadas, existem duas pequenas divergências pelos autores. Macintyre (1996) e Campos (1999) acreditam que os tratamentos preliminares, como o gradeamento, façam parte do sistema de tratamento primário.

2.1.1 Tratamento preliminar

O Tratamento preliminar do esgoto é sujeito aos processos de separação dos sólidos mais grosseiros como sejam a gradagem que pode ser composto por grades grosseiras, grades finas e/ou peneiras rotativas, o desarenamento nas caixas de areia e o desengorduramento nas chamadas caixas de gordura ou em pré-decantadores. Nesta fase, o esgoto será desta forma, preparado para as fases de tratamento subsequentes, podendo ser sujeito a um pré-arejamento e a uma equalização tanto de caudais como de cargas poluentes (VON SPERLING, 1996).

2.1.2 Tratamento primário

Apesar do esgoto apresentar um aspecto ligeiramente mais razoável após a fase de pré- tratamento, possui ainda praticamente inalteradas as suas características poluidoras. Por isto a necessidade de novo tratamento. Nesta fase onde se separa a água dos materiais poluentes a partir da sedimentação nos equipamentos, através ação física pode, em alguns casos, ser ajudado pela adição de agentes químicos que através de coagulantes e floculantes possibilitando a obtenção de flocos de matéria poluente de maiores dimensões e assim mais

facilmente decantáveis. Após o tratamento primário, a matéria poluente que permanece na água é de reduzidas dimensões, normalmente constituída por coloides, devido a digestão do lodo, não sendo por isso passível de ser removida por processos exclusivamente físicoquímicos (SILVA, 2004).

2.1.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário, geralmente consistindo num processo biológico, do tipo lodo ativado ou do tipo filtro biológico, onde a matéria orgânica coloidal é consumida por microorganismos nos chamados reatores biológicos. Estes reatores são normalmente constituídos por tanques com grande quantidade de microorganismos aeróbios, havendo por isso a necessidade de promover o seu arejamento. O esgoto saído do reator biológico contém uma grande quantidade de microorganismos, sendo reduzida a matéria orgânica remanescente. Os microorganismos sofrem posteriormente um processo de sedimentação nos designados sedimentadores (decantadores) secundários. Terminado o tratamento secundário, as águas residuais tratadas apresentam um reduzido nível de poluição por matéria orgânica, podendo na maioria dos casos, serem admitidas no meio ambiente receptor (NEVES, 1974).

2.1.4 Tratamento terciário

Esta fase do tratamento tem como objetivo principal a remoção de contaminantes específicos (usualmente nutrientes N e P), geralmente fundamentada em processos biológicos realizados em fases subsequentes 16 denominadas de nitrificação e desnitrificação. Fazem parte também desta fase do tratamento os processos químicos, como desinfecção e precipitação do fósforo (CAMPOS, 1999).

2.2 Características do esgoto

Os esgotos são classificados em dois grupos principais: os esgotos sanitários e os industriais. Os primeiros são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração, e eventualmente uma parcela não significativa de despejos industriais, tendo características bem definidas.

Segundo Von Sperling (2005) no tratamento preliminar os principais parâmetros relativos a esgotos predominantemente domésticos a merecerem

destaque especial em face de sua importância são: sólidos; indicadores de matéria orgânica; nitrogênio; fósforo e indicadores de contaminação fecal.

Os sólidos são todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, e podem ser classificadas de acordo com seu tamanho, suas características químicas e sua decantabilidade. Na classificação por tamanho os sólidos podem apresentar-se como em suspensão (particulados) e dissolvidos (solúveis). Em relação às características químicas, os sólidos são submetidos a uma temperatura elevada, oxidando a fração orgânica (volatilizada), permanecendo após a combustão apenas a fração inerte a não oxidada. Determina-se, assim, os sólidos voláteis que é a matéria orgânica e os sólidos fixos que é a matéria inorgânica. Já os sólidos sedimentáveis são capazes de sedimentar no período de 1 hora, e a fração que não se sedimentar representa os sólidos não sedimentáveis (VON SPERLING, 2005).

A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição para os corpos d'água: há consumo de oxigênio dissolvido pelos micro-organismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídas principalmente por proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%) e uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas (típicos de despejos industriais) etc. (JORDÃO E PESSOA, 1995).

Um dos principais efeitos da poluição dos corpos d'água é o alto teor de oxigênio dissolvido causado pela respiração dos microrganismos que se alimentam da matéria orgânica. A análise de DBO é muito importante para quantificar teor de poluição orgânica, possibilitando assim, indicar o tratamento mais adequado, conduzindo o corpo hídrico em questão à estabilização da matéria orgânica biodegradável através de processos bioquímicos e conseqüentemente reduzindo a poluição local (VON SPERLING, 2005)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos parâmetros mais importantes na medição da contaminação orgânica, indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria biologicamente. Pelo motivo de que a oxidação da matéria orgânica demorar de 21 a 28 dias, o teste da DBO é realizado em 5 dias a 20°C, ou seja, determina-se a concentração de oxigênio dissolvido (OD) da amostra no dia da coleta e cinco dias após, com a amostra mantida em um frasco fechado e

incubada a 20°C, determina-se a nova concentração, já reduzida, devido ao consumo de oxigênio durante o período (VON SPERLING, 2005).

O teste da DQO visa medir o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de compostos orgânicos presentes numa água. Os valores obtidos são uma medida indireta do teor de matéria orgânica presente. A oxidação química do material orgânico é realizada com a utilização de agentes fortemente oxidantes, tais como dicromato ou permanganato de potássio (NUVOLARI, 2003)

O nitrogênio é um composto de grande importância em termos da geração e do próprio controle da poluição das águas, devido principalmente a aspectos como a poluição das águas, onde o nitrogênio serve como nutriente para crescimento de algas, conduzindo a eutrofização de lagos e represas, também converte amônia em nitrito e desta a nitrato (nitrificação), assim consumindo mais oxigênio dissolvido no corpo d'água, e na presença de amônia livre torna o ambiente tóxico aos seres aquáticos e doenças ao humano (ESTEVEZ, 1998).

2.3 Tipos de sólidos gerados no tratamento de esgoto

Embora o lodo biológico normalmente seja o maior e mais importante componente, outros tipos de sólidos são retidos em diferentes operações nos sistemas de tratamento. Estes sólidos se compõem dos seguintes tipos (SOBRINHO, 2006):

- Material gradeado ou sólidos grosseiros. Consiste no material que não deveria estar na água residuária, mas foi colocado por imperícia ou negligência. O material deve ser retido no tratamento preliminar de gradeamento, de modo a não provocar danos nos equipamentos mecânicos de bombeamento e pontes giratórias de decantadores, obstruções em tubulações, etc. Normalmente a disposição final do material gradeado é o aterro sanitário. No caso de esgoto bruto pode-se esperar em torno de 30 a 90 L de sólidos grosseiros por 1000 mpor 1000 m³ de esgoto;
- Sólidos inorgânicos como areia e silte. Este material é removido aproveitando-se a diferença de densidade (areia 2,65 kg/L, orgânicos 1 a 1,1 kg/m³), o que permite a separação por sedimentação simples em uma caixa de areia ou usando um ciclone. A sua remoção se torna importante por duas razões: (1) se a areia for acumulada no sistema de tratamento, o assoreamento poderá,

rapidamente, provocar sérios problemas operacionais e eventualmente inviabilizar seu funcionamento. e (2) o material é extremamente abrasivo, sendo necessário a sua remoção de modo a não provocar desgastes nos equipamentos mecânicos. Normalmente, a disposição final de aterro é feita em aterro sanitário. Em esgoto bruto espera-se na faixa de 20 a 60 L de areia por 1000m³, dependendo de vários fatores, entre eles a qualidade de rede de esgoto (introdução de água pluvial com arraste de sólidos das ruas);

- Material flutuante ou espuma, que se compõe de materiais com densidade menor que a água como oleos, graxas, plásticos, papel, resíduos de alimentos, etc. Este material é retirado através de raspagem superficial dos decantadores e da superfície de camarás de gás de reatores anaeróbicos e é encaminhado por bombas para bombas outros métodos de tratamento ou disposição como aterro sanitário, digestor anaeróbico, etc. A quantidade de material flutuante é pequena (3 a 12 kg/1.000 m³ de esgoto), mas pode ter um efeito negativo sobre o funcionamento de processos biológicos, notadamente a digestão anaeróbia;
- Lodo, termo utilizado para designar os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto. Distingui-se, lodo primário (material sedimentável no esgoto bruto gerado nos processos de tratamento primário e lodo secundário, produzido nos sistemas de lodo biológico. Estes materiais têm alto teor de material orgânico, nitrogênio e fósforo e, a principio, podem ser utilizados como fertilizantes na agricultura após tratamento adequado. Nas próximas seções se mostra que a massa de lodo volátil (a fração orgânica do lodo) produzida é em torno de 0,1 a 0,3 (sistemas aeróbios) kg de lodo por kg de DQO em esgoto bruto. A fração inorgânica produzida de lodo (sólidos fixos) é na faixa de 0,05 kg de lodo por kg de DQO aplicada no caso de esgoto bruto.

O lodo primário e secundário são os principais e mais problemáticos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto. devido ao seu grande volume de produção, difícil tratamento e disposição final, o lodo de esgoto constitui em um complexo problema enfrentado pela Engenharia Sanitária (DUARTE, 2008).

2.4 Características dos lodos nas ETEs

Segundo Fernandes (2000) a composição média do esgoto aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que, do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (partículas

minerais, sais e metais). Durante o processo de tratamento, ocorre a separação das frações sólidas e líquidas. A Figura 1 apresenta a composição básica de esgoto domiciliar, encontrada nas estações de tratamento (MELO & MARQUES, 2000, apud BETTIOL & CAMARGO, 2006). O lodo de esgoto pode ser caracterizado como um material rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade que possui concentrações elevadas de nitrogênio, fósforo, micronutrientes e outros minerais (AISSE et al., 1999 apud MORAES, 2005).

Para tratamento e disposição adequada do lodo é necessário o conhecimento de suas características e propriedades importantes. As características qualitativas e quantitativas do lodo estão relacionadas com (FERNANDES; SILVA, 1999):

- a) a densidade populacional;
- b) o tipo de urbanização;
- c) os hábitos sanitários;
- d) as condições ambientais;
- e) a estação do ano;
- f) o perfil de saúde da comunidade que gera o lodo;
- g) o tipo de sistema de tratamento existente.

O lodo de esgoto pode ser caracterizado como um material rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade que possui concentrações elevadas de nitrogênio, fósforo e micronutrientes e outros minerais; e por esse motivo passa a ter grande importância como insumo agrícola (AISSE et al., 1999 apud MORAES, 2005, p.8).

Segundo BETTIOL et al. (1989) o lodo de esgoto apresenta uma composição variável, pois depende da origem e do processo de tratamento do esgoto. Um lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e os demais macro (Mg, S e Ca) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Zn, Mo, Cl, Co, Si, Mn e Na). Note-se a ausência do potássio. No Quadro 1 são apresentados alguns dados de composição do lodo de esgoto encontrado na literatura brasileira.

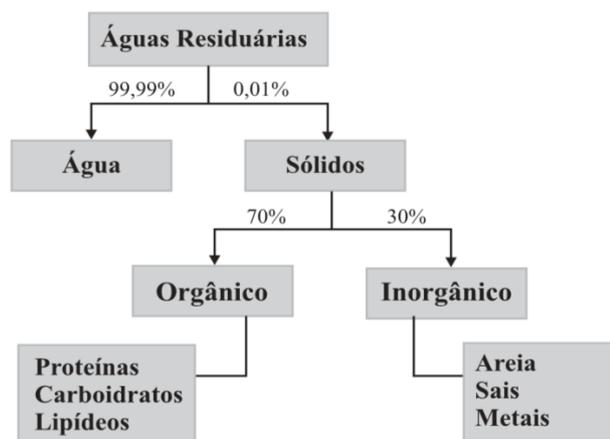


Figura 1: Composição do esgoto doméstico

(MELO & MARQUES, 2000, apud BETTIOL & CAMARGO, 2006)

QUADRO 1: Características físico-químicas do lodo de esgoto segundo alguns autores nacionais

Item	pH	CN	MATÉRIA ORGANICA	H2O	Cinzas	C	N	P	K	Ca	Mg
Unidade	-	-	%								
Fernandes et al., 1993 (Lodo fresco)	6	7	-	90 - 99	10 - 12	33	4,5 - 5	3,1	0,1	1	0,3
Fernandes et al., 1993 (Lodo digerido)	7	7	-	90 - 91	38 - 40	24	3 - 3,2	5,6	0,2	1,9	0,3
Fernandes et al., 1993 (Lodo ativado)	7	5	-	98 - 99	12 - 13	30	6 - 6,5	2,9	0,1	0,9	0,4
Berton et al., 1989	-	11	-	-	-	16	1,38	0,9	0,3	1,6	0,5
Carvalho, 1982	-	-	31,74	-	-	-	2,26	2,6	0,3	-	-
Bettiol et al., 1983	6	-	58,68	-	-	-	1,24	4	0,7	-	-

(ROCHA; SHIROTA, 2004, apud MORAES, 2005, p. 10)

2.4.1 Metais Pesados

O lodo, em função da composição do esgoto que lhe dá origem, doméstico ou industrial, pode apresentar maior ou menor quantidade de metais pesados.

Normalmente, as ETEs que recebem apenas efluentes domésticos contêm pouca quantidade de metais, sendo esses provenientes apenas das canalizações e da natureza do resíduo (PROSAB, 1999).

Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Estes elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações variáveis, porém são inferiores àquelas consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos. Estes elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações variáveis, porém são inferiores àquelas consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos. Dentre eles As, Co, Cr, Cu, Se, e Zn são essenciais aos organismos em certas quantidades, enquanto outros não desempenham qualquer função no metabolismo, sendo tóxicos às plantas e animais (ANDREOLI et al., 2001). O Quadro 2 mostra uma síntese das fontes de contaminação e seus efeitos sobre a saúde humana.

De acordo com Andreoli (1999), os metais pesados presentes no lodo podem ter três origens:

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

QUADRO 2: Síntese das fontes de contaminação e efeitos sobre a saúde dos principais metais encontrados no lodo

METAL	FONTE DE CONTAMINAÇÃO	EFEITOS SOBRE A SAÚDE
Antimônio	Ligas metálicas, extintores de incêndio, bactérias, pigmentos e materiais cerâmicos.	Náuseas, vômitos, diarreias, dores estomacais e úlceras. Problemas no coração e no pulmão.
Arsênio	Óleos combustíveis, pesticidas e herbicidas, conservantes de madeira, ligas metálicas de chumbo e latão.	Transtornos gastrintestinais, cardiovasculares e respiratórios, câncer, falência renal, desordem no sistema nervoso.
Cádmio	Materiais odontológicos, indústrias de aço, efluentes gasosos industriais, fertilizantes, pesticidas, materiais cerâmicos, processos de galvanoplastia, tintas, bactérias.	Cancerígeno, provoca elevação da pressão sanguínea, aumento do coração e da próstata. Anemia, osteoporose, enfisema pulmonar, perda do olfato.
Chumbo	Baterias de automóveis, tintas, combustíveis, alimentos enlatados, pesticidas, tintura para cabelos, papel de jornal, fertilizantes, cosméticos, poluição do ar.	Irritabilidade e agressividade, indisposição, dores de cabeça, convulsões, fadiga, dores abdominais, sangramento gengival, fraqueza, náuseas, osteoporose, anemias, etc.
Cobalto	Ligas metálicas, ímãs, revestimentos metálicos, pigmentos, secantes para pintura, eletrodos, cabos de aço.	Efeitos respiratórios, redução da ventilação, congestão, edema, hemorragia e coma. pode ser cancerígeno.
Cobre	Canalizações de água quente, fábrica de fios elétricos, radiadores de automóveis e tratamentos de superfícies metálicas.	Tosse, dor de cabeça e dor de garganta. Altas doses causam náusea, vômito e diarreia, prejudicam rins e pulmões.
Cromo	Curtição de couros, galvanoplastias	Dermatites, úlceras cutâneas, inflamação nasal, câncer de pulmão e perfuração do septo nasal.
Mercúrio	Termômetros, pesticidas e agrotóxicos, amálgama dentário, água, mineração, garimpos, ceras, tintas, pescado contaminado, lâmpadas	Depressão, fadiga, tremores, síndrome do pânico, descontrole motor, dificuldade de fala, perda de memória, estomatite, paralisia das extremidades,

	fluorescentes, galvanoplastias.	alucinações.
Níquel	Utensílios de cozinha, baterias, cosméticos, óleos hidrogenados, soldas.	Cancerígeno, pode causar dermatite de contato, gengivites, estomatites, etc.
Prata	Subprodutos da mineração de chumbo, processamento de minério, manufatura de cimento e a queima de combustível fóssil.	Argiria, problemas respiratórios, irritação dos pulmões e da garganta, dores estomacais.
Selênio	Fabricação de tintas e pigmentos, vidro, industria de semicondutores, inseticidas, ligas metálicas.	Náusea, vômitos e diarreia, selenose, perda de cabelo, irritação do trato respiratório, bronquite, dores de estomago.

Fonte: (SILVA *et al.*, 2001, *apud* ALAMINO, 2010, p. 49)

Além de determinados metais pesado, os bio sólidos contêm microrganismos patogênicos como fungos, vírus, bactérias e parasitas. normalmente, nos sistemas de tratamento de esgoto, os microrganismos ficam adsorvidos às partículas sólidas e tendem a se precipitar durante a fase de decantação, concentrando-se no lodo de esgoto. No entanto, a densidade de patógenos presentes no lodo é variável, pois está ligada às características da comunidade e ao tipo de tratamento a que o lodo foi submetido (FERNANDES; SILVA, 1999).

2.5 Tratamento do Lodo

Durante o tratamento da fase líquida e dos processos de estabilização, há a geração de um material com elevado teor de umidade, cuja desidratação é extremamente necessária caso haja necessidade de qualquer operação subsequente ao tratamento. apesar de não ser o único subproduto gerado em uma estação de tratamento de esgoto, o lodo tem uma importância maior por ser um resíduo de difícil tratamento e disposição final (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

O lodo gerado em sistemas de tratamento de águas residuárias (particularmente sistemas de tratamento de esgoto sanitário) pode exibir três aspectos indesejáveis (ANDREOLI *et al.*, 2006):

- a) instabilidade biológica: normalmente uma parte do lodo gerado se compõe de material biodegradável e se esta fração for alta, o lodo se torna putrescível;

- b) a qualidade higiênica do lodo é péssima, tendo uma grande variedade de vírus, bactérias e parasitas (protozoários, ovos de nematoides e helmintos) que constituem uma ameaça para a saúde pública;
- c) a concentração dos sólidos suspensos no lodo é baixa (na faixa de 5 a 50 g.L⁻¹, dependendo da natureza do lodo) de modo que o volume de lodo produzido é grande.

Um dos objetivos finais do tratamento é converter o lodo em biossólidos, com operações simplificadas que tenham bom custo benefício e sejam ambientalmente seguras (AMUDA et. al, 2008). Segundo Andreoli et al. (2001) as principais etapas do gerenciamento do lodo, com os respectivos objetivos, são:

- Adensamento: remoção de umidade (redução de volume)
- Estabilização: remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis)
- Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
- Desaguamento: remoção de umidade (redução de volume)
- Higienização: remoção de organismos patogênicos
- Disposição final: destinação final dos subprodutos

2.5.1 Adensamento

O adensamento ou espessamento tem por finalidade concentrar os sólidos no lodo visando reduzir sua umidade através de meios físicos, reduzindo os custos de etapas subsequentes. As alternativas de adensamento incluem o adensamento por gravidade e por flotação.

Os adensadores por gravidade apresentam melhor eficiência quando utilizados no lodo proveniente de tratamento primário. Estas unidades são semelhantes a um decantador primário, no qual o lodo sedimenta e adensa no fundo do tanque, sendo removido por raspadores e encaminhado para a etapa de estabilização. O líquido sobrenadante retorna ao início do processo de tratamento primário (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Já os adensadores por flotação são utilizados com maior eficiência quando o lodo é proveniente de tratamento secundário ou de lodo ativado(excedente). Esse processo consiste na injeção de bolhas de ar no meio líquido, que aderem às partículas sólidas, fazendo com que a sua densidade diminua e as mesmas sejam

arrastadas para a superfície, onde são removidas por raspadores (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

2.5.2 Estabilização

De acordo com Turovskiy e Mathai (2006), a estabilização de lodo de esgoto tem a finalidade de eliminar o potencial de putrefação, inibindo ou reduzindo odores e patógenos e, portanto, convertendo-o em um produto estável para uso ou eliminação.

Para estabilizar o lodo originado nas ETEs aplica-se quase somente métodos biológicos: digestão anaeróbia ou, em raros casos, a digestão aeróbia (ANDREOLI, 2006).

O método mais empregado para estabilizar o lodo é a digestão anaeróbia, onde o lodo bruto é encaminhado para o interior de digestores biológicos totalmente fechados onde bactérias anaeróbias e facultativas estabilizam a matéria orgânica produzindo gás carbônico, metano, massa celular e outros micronutrientes (ANDREOLI et al., 2001).

A digestão aeróbia também é um processo de oxidação bioquímica dos sólidos biodegradáveis contidos nos esgotos, com abundância de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida, favorecendo a atividade de bactérias aeróbias e a formação de subprodutos, tais como matéria orgânica estabilizada (lodo digerido), gás carbônico e água (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

2.5.3 Condicionamento

O condicionamento de lodo é uma etapa prévia ao desaguamento e influencia diretamente a eficiência dos processos mecanizados. É um processo composto por uma etapa de coagulação seguida de outra de floculação. A coagulação tem a função de desestabilizar as partículas por meio da diminuição das forças eletrostáticas de repulsão entre elas. A floculação permite a aglomeração dos colóides e dos sólidos finos por meio de baixos valores de gradientes de agitação (GONÇALVES et al., 2001).

No condicionamento são adicionados produtos químicos tais como a cal, o cloreto férrico ou polieletrólitos, visando facilitar a separação líquido-sólido, resultando em um acréscimo bastante significativo na redução do volume do lodo (JORDÃO & PESSOA, 2009)

Conforme Von Sperling e Andreoli (2001), o condicionamento químico seguido do desaguamento pode auxiliar a redução da umidade do lodo de 90 a 99% para 65 a 80%, dependendo da natureza dos sólidos tratados.

2.5.4 Desaguamento

Em algumas referencias o termo desaguamento também pode ser trocado por desidratação e secagem. Dessa forma esses termos são também considerados equivalentes.

A desidratação de lodo é uma operação unitária que reduz o volume do lodo em excesso por meio da redução de seu teor de umidade. A capacidade de desidratação varia com o tipo de lodo. Um lodo ativado, por exemplo, é mais difícil de ser desaguado do que um lodo primário digerido anaeróticamente. Essa variação na capacidade de desidratação está diretamente ligada ao tipo de sólido e à forma pela qual a água está ligada às partículas do lodo (ANDREOLI et al., 2001).

Os motivos que justificam esta redução de volume são . (METCALF & EDDY, 1991 apud MANZOCHI, 2008): (1) Custos de transporte para o local de disposição final tornam-se significativamente menores devido a redução de volume de lodo; (2) O lodo desaguado é normalmente mais fácil de ser manipulado que o lodo adensado ou líquido; (3) O desaguamento, isto é, a redução do conteúdo de umidade do lodo, permite incineração mais eficiente, se for o caso; (4) Redução de agentes aditivos, caso a compostagem seja utilizada posteriormente como opção de reuso do lodo desaguado; (5) Diminui a produção de chorume caso a disposição final seja em aterro sanitário; (6) Garante uma certa redução na geração de mau odores, ou o torna menos ofensivo.

Fazem parte do processo de desaguamento por método natural os leitos de secagem e as lagoas de secagem de lodo. Filtros (prensa e esteira) e centrifugas são exemplos de métodos mecânicos, e produzem a chamada torta de lodo, onde a concentração de sólidos totais fica em torno de 20 a 30 % (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

2.5.5 Higienização

Para dar destino sanitário e poder reutilizar os lodos de esgoto, é necessário que o lodo passe por um processo complementar de estabilização, denominado higienização. Este processo visa eliminar ou reduzir significativamente a densidade

de microorganismos, tornando o produto final biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas (PASSAMANI et al, 2002, apud MANZOCHI 2008).

Pinto (2001) afirma que o objetivo de se introduzir um processo de higienização de lodos nas ETEs é garantir um nível de patogenicidade no lodo que, ao ser disposto no solo, não venha a causar riscos à saúde da população, aos trabalhadores que vão manuseá-lo e impactos negativos ao meio ambiente. Portanto, para se implantar um sistema de higienização, é necessário avaliar qual será a alternativa de disposição final que será utilizada.

Segundo Manzochi (2008) existem diferentes métodos para higienização do lodo da ETE:

- a) Higienização Biológica
- b) Higienização Química
- c) Higienização Física
- d) Caleação
- e) Tratamento Térmico
- f) Compostagem

2.6 Disposição final do lodo

Para Gonçalves et al. (2001), o destino final adequado do lodo é fundamental para o sucesso de um sistema de esgotamento sanitário; no entanto, este assunto tem sido comumente negligenciado, tanto na concepção quanto na operação das ETEs.

As alternativas mais usuais para aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos); conversão em óleo combustível; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração); "landfarming" e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético) (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

Para definir quais estruturas, etapas, processos e equipamentos são necessários para promover a adequada estabilização, manuseio e gerenciamento desses resíduos é preciso identificar, primeiro, as alternativas mais adequadas para uso e/ou disposição final. Por exemplo, a reciclagem agrícola exige baixos níveis de

metais pesados e de patogênicos, enquanto a disposição em aterros sanitários é menos exigente quanto a esses parâmetros. Por outro lado, a umidade é um fator crítico (Andreoli e Pinto, 2001).

2.6.1 Incineração

Este método utiliza a decomposição térmica via oxidação, tornando o resíduo menos volumoso, menos tóxico, ou convertendo-o em gases ou resíduos incombustíveis. Os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio, transformando em dióxido de carbono e água. É uma alternativa utilizada nos Estados Unidos, Europa e Japão, porém no Canadá está ocorrendo um processo de desativação dos incineradores, visto que a população tem se manifestado contra esta técnica, incentivando processos mais ecológicos (BETTIOL *et al.*, 2000).

A incineração apresenta um custo operacional elevado, além de problemas secundários como problemas relacionados com a poluição atmosférica e disposição final adequada para cinzas. (FERREIRA; ANDREOLI; LARA, 1999).

2.6.2 Reciclagem Agrícola

A valorização agrícola de solos com a aplicação de lodos de ETEs devidamente tratados constitui uma forma de descarte ambientalmente adequada deste resíduo, sendo usado para recuperação de solos com possibilidades de retorno econômico positivo para a atividade agrícola. O material orgânico presente nesses resíduos aumenta a resistência dos solos à erosão, atuando como excelente fonte de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo (Andreoli *et al.*, 2001).

É a única alternativa regulamentada por Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Nº 375 de agosto de 2006 que é a referência federal na definição de critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETEs e seus produtos derivados.

Lara (1999, p. 83) menciona os impactos positivos e negativos na reciclagem do lodo de esgoto na agricultura. Impactos positivos:

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

- b) Melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo: estabiliza a estrutura do solo aumentando a capacidade de retenção de água do solo e de nutrientes minerais. A matéria orgânica do lodo favorece a agregação das partículas, com benefícios sobre a infiltração e retenção de água e a aeração do solo. A mineralização do lodo fornece nutrientes para a planta e para a flora e fauna do solo cuja atividade influi diretamente na nutrição das plantas.
- c) Aumento da produtividade agrícola: a matéria orgânica e nutrientes do lodo proporcionam um aumento na produtividade das culturas.
- d) Benefícios econômicos: com o aumento da produtividade ocorre um aumento nos lucros obtidos com a venda do produto.

Impactos negativos:

- a) Contaminação por patógenos: o esgoto contém uma variedade de patógenos, incluindo bactérias, vírus, parasitos e fungos, muitos dos quais sobrevivem ao tratamento do esgoto e são concentrados no lodo. Embora os processos de estabilização, reduzam o número de patogênicos no lodo, alguns sobrevivem e podem representar um risco a saúde humana e animal.
- b) Contaminação por metais pesados: os solos já contém metais pesados em função de sua formação geológica ou pelo aporte de insumos químicos, pesticidas e poluição atmosférica e hídrica. Deve ser considerado o efeito cumulativo no solo e a absorção de metais pelo solo e plantas.
- c) Atração de insetos vetores: alguns insetos são potenciais transmissores de agentes infectantes quando do contato com o homem. O aumento da frequência de insetos a locais de aplicação de lodo pode ocorrer quando o lodo não está bem estabilizado.
- d) Emissão de odores: consequência da má estabilização do lodo, a presença de odor ofensivo pode ser fator de não aceitação do produto pelos agricultores.

2.6.3 Landfarming

Tem como objetivo utilizar o solo como um sistema de tratamento, onde uma área recebe doses elevadas de lodo por vários anos. O solo passa a ser o suporte da atividade biológica, retenção de metais, local de bio-oxidação, o que provocará a degradação da matéria orgânica. Nesse sistema não há a utilização dos nutrientes e

matéria orgânica do lodo para fins produtivos. O objetivo é a biodegradação do lodo pelos microrganismos presentes no perfil arável e a retenção de metais na camada superficial do solo (ANDREOLI *et al.*, 2001).

As doses de aplicação variam de 60-70 t/ano em base seca para as áreas que não tem impermeabilização da camada inferior a 300-600 t/ ano / ha, quando o processo é feito dentro de critérios de landfarming, com impermeabilização da camada de solo a 60-80 cm de profundidade. Assim que o lodo é espalhado sobre o solo ele deve ser incorporado superficialmente para facilitar os processos de biodegradação e minimizar o problema de odor e eventual atração de moscas (FERREIRA; ANDREOLI, 1999, p.19).

Apesar de simples execução alguns cuidados devem ser tomados neste tipo de tratamento, quantidade de lodo a ser aplicada, impermeabilização da camada inferior, distância do lençol freático, e constante monitoramento tanto da área de landfarming quanto do lençol freático (VIEIRA, 2010).

2.6.4 Aterro Sanitário

São geralmente formados pela deposição de resíduos em trincheiras, que são compactados e recobertos com solo ou materiais inertes com controle de variáveis técnicas e ambientais. O lodo de esgotos pode ser aterrado em duas formas básicas (EPS Canadá, 1984 *apud* Manzochi, 2008):

- a) Trincheira exclusiva: para a disposição de lodos estáveis ou brutos. É necessário o recobrimento diário e desejável a desidratação prévia do lodo, para melhorar as condições de operação.
- b) Co-disposição com resíduos sólidos urbanos: alternativa mais comum, em que lodo e resíduos são misturados para espalhamento, compactação e 56 cobertura com solo. O lodo deve ser estabilizado e desaguado previamente a um teor de pelo menos 15% de sólidos, ou o volume de lodo líquido aterrado deve ser rigidamente limitado segundo a capacidade de absorção.

A disposição em aterros sanitários é uma alternativa comum à reciclagem agrícola quando características indesejáveis do lodo, como altos teores de metais pesados, desaconselham seu uso como insumo agrícola (ANDREOLI, 1999).

A NBR 10.004 classifica os resíduos sólidos em:

- a) classe I: perigosos;

- b) classe II: não inerte;
- c) classe III: inertes.

O lodo é classificado como Classe II, não inerte, mas contaminação por efluentes industriais pode mudar suas características para classe I, perigosos, e exigir aterros especiais.

É uma alternativa que requer cuidadosos estudos de implantação, necessitando de dispositivos de controle ambiental avançados. O lodo uma vez disposto no aterro deve ser recoberto no mesmo dia para evitar problema de odores, atração de insetos, pássaros, etc (FERREIRA; ANDREOLI, 1999).

No caso de um aterro ser mal projetado acarretará em poluição do ar, através da exalação de odores, fumaça, gases tóxicos ou material particulado; poluição das águas subterrâneas pela infiltração de líquidos percolados (BETTIOL *et al.*, 2000).

2.6.5 Reuso Industrial

O uso do lodo em processos industriais são classificados como tecnologias emergentes. O lodo de esgoto pode ser inserido no processo produtivo de agregados leves, cimento Portland e produtos de cerâmica vermelha.

GEORGE (1986) desenvolveu um trabalho para San Diego Region Water Reclamation Agency, onde era produzido agregado leve a partir de lodo pelo processo chamado CCBA (Coordinate Chemical Bonding Adsorption). O processo constava das etapas: mistura do esgoto com argila, alumínio e ácido poliacrílico; coagulação e floculação; decantação (lodo com 45% de sólidos); mistura com argila; extrusão; corte para formação de pelotas com cerca de 6 mm de diâmetro; e queima entre 1070 a 1095 °C.

Os lodos podem ser utilizados como matéria-prima da indústria cerâmica, que utiliza fornos operando em altas temperaturas, o que reduz os riscos sanitários ao Máximo (ARAÚJO *et al.*, 2005).

As vantagens relacionadas a aplicação do lodo em cerâmica vermelha são a economia de água, a produção de tijolos mais leves, reduzindo o custo de transporte, economia de combustível no forno, além do aproveitamento dos gases da queima em um processo de secagem das tortas de lodo (SLIM; WAKEFIELD, 1991 *apud* SANTOS, 2003).

Batty & Reid (1989) investigaram o uso das cinzas, produto da incineração do lodo, como filer ou agregado miúdo em argamassas de cimento Portland.

A utilização do lodo na indústria de cimento pode ser analisada sobre dois aspectos: como combustível auxiliar para fornos e como matéria prima adicional na própria mistura (TSUTIYA, 2000).

2.6.6 Disposição Oceânica

A disposição oceânica dos lodos é mais barata, principalmente se estiver contaminado por produtos químicos. As diretrizes das Nações Unidas determina que se o lodo não tiver contaminantes suficientes para causar eutrofização ou por em risco a saúde humana, ele é passível de disposição oceânica (MARINE BIO, 2008).

Segundo a Surfrider Foundation Brasil (2006), estudos internacionais comprovam que o mar, ao contrario do que muitos imaginam, não é uma estação natural de tratamento de esgoto. Logo a situação hoje se encontra sem uma política de tratamento adequado do esgoto emitido.

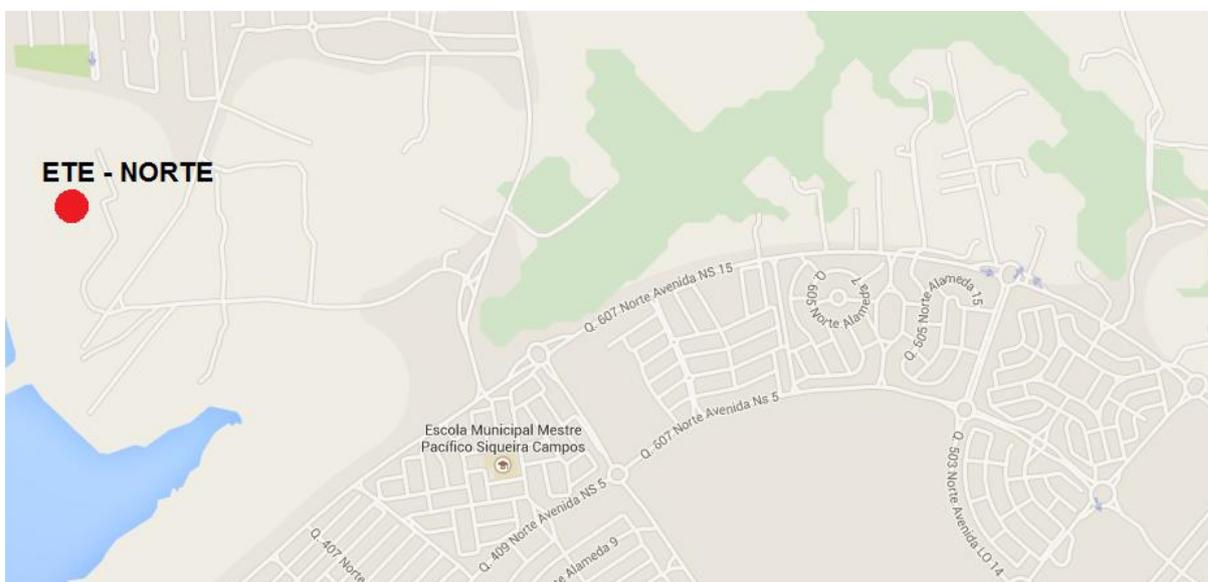
3 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia que será utilizada no desenvolvimento da pesquisa para atingir os objetivos delineados. Nas pesquisas bibliográficas, foram encontrados diversos estudos sobre disposição final de resíduos gerado na ETE.

Na busca da melhor forma de disposição do lodo, foram levadas em considerações as características do resíduo.

A ETE – Vila União está localizada na Região Norte da cidade de Palmas – TO, próximo à Quadra 409 Norte, conforme a Figura 2 abaixo.

Figura 2: Localização da ETE



Fonte: Do Autor (2015)

3.1 Coletas e preparo das amostras

As amostras do lodo foram coletadas, acondicionadas em gelo seco, e encaminhada ao Laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

As amostras do lodo foram secas a uma temperatura de 60°C até peso constante. Posteriormente trituradas, e em seguida, passada em uma peneira de 1,0 mm e armazenada em frasco de vidro.

3.2 Análises de metais / Parâmetros para metais pesados (mg/kg de lodo seco)

As análises de metais que foram realizadas nas amostras de lodo permitem a determinação da totalidade do metal pesquisado que esteja presente na amostra bruta.

Para o Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Ca, Mg foi empregado o método Espectrometria de absorção atômica (AAS). Os resultados foram expresso em mg do parâmetro por kg de lodo em base seca.

Os metais das amostras foram dissolvidos em solução de ácido forte após destruição da matéria orgânica e determinada por espectrômetro de absorção atômica.

3.3 Determinações de nutrientes (N, P, K)

Para o N, empregou-se o método do ácido salicílico, utilizando-se o digestor-destilador tipo Kjeldahl, e sua determinação foi feita por titulação com NaOH. A determinação do K se fez através da fotometria de chama. Já a determinação do P foi realizada pelo método colorimétrico.

3.4 Lodo a ser incorporado no solo

Para fins experimentais foi utilizada uma análise física e química de um solo, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), no qual foram feitos os cálculos dos principais nutrientes que serão incorporados, assim como a dose máxima permitida a ser aplicada, em função da concentração desses nutrientes no material.

3.4.1 Quanto à composição do lodo

De acordo com a Cetesb (1999), os lodos que contenham metais em concentrações superiores aos limites estabelecidos no Quadro 3, não são aceitáveis para a aplicação em solo agrícola.

QUADRO 3: Concentrações limites de metais no lodo

Metal	Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

(CETESB, 1999)

3.4.2 Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponível

A aplicação de lodo em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nutriente recomendada para a cultura (em kg/ha) e o teor de nutriente disponível no lodo (NDisp em kg/toneladas) (CONAMA, 2006).

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{\text{N recomendado (kg/ha)}}{\text{NDisp (kg/t)}}$$

Para verificar a quantidade de nutriente recomendada para a cultura, sugere-se consultar o Boletim Técnico nº 100 (Raij et alii, 1996) do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas).

3.4.3 Taxa de aplicação do lodo em relação aos metais pesados

Deverão ser respeitados os limites quanto à aplicação de metais no solo, considerando o Quadro 4. Calculou-se a quantidade de lodo a ser aplicada e não exceda a taxa de aplicação máxima de metais no solo.

QUADRO 4: Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos.

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

(CETESB, 1999)

3.4.4 Taxa de aplicação em função de outros nutrientes

Desde que devidamente justificado, outros nutrientes, eventualmente presentes no lodo, poderão ser utilizados para a definição da taxa de aplicação.

3.4.5 Limites de acumulação de metais no solo

Para a reaplicação do lodo deverão ser respeitados os limites apresentados no Quadro 5. A carga acumulada deve ser calculada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação (CETECS, 1999).

QUADRO 5: Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

(CETESB, 1999)

Deverão ser respeitados os limites de concentração de metais no solo, a serem definidos pelo Órgão de Controle Ambiental, observando-se os resultados analíticos do solo superficial (camada 0-20 cm) antes da programação de novas aplicações. Para o caso do cromo deverá ser respeitado, preliminarmente, o limite de 500 mg/kg de solo (Eikmann & Kloke, 1993) até definição dos limites citados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Disposição final do lodo

Na literatura pesquisada foi encontrado diversas formas de reuso do lodo de esgoto, dentre essas alternativas as que mais se destacaram foram a Reciclagem Agrícola, Landfarming, Reuso Industrial.

4.1.1 Reciclagem agrícola

Foi constatado que o uso do lodo em diversas formas de plantio é satisfatório, não só do ponto de vista ambiental, mas também priorizando o lado econômico e melhoramento do solo.

Andreolli et al. (1998) coloca que as culturas mais indicadas são do tipo gramíneas, principalmente aquelas de grande cultivo como milho, trigo, sorgo e cana de açúcar. Além de responderem prontamente a aplicação do lodo por absorverem diretamente o nitrogênio captado pelas raízes, seu controle fitossanitário e colheita são realizados mecanicamente, sendo o produto final normalmente industrializado o que reduz a quase zero o risco de qualquer tipo de contaminação.

Em experimento com a cultura de milho, Moraes (2007) observou que parcelas que receberam lodo de esgoto apresentaram aumento significativos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH e C orgânico. Estes são nutrientes importantes para o cultivo da planta, provando a eficácia na utilização do lodo, que futuramente irá se traduzir em aumento de produtividade.

Silva et al. (2000) observaram aumento na produtividade de milho com a utilização de doses de 6, 12 e 24 t ha⁻¹ de lodo (base seca) como fertilizante, comparando com a testemunha (sem qualquer adubação). Esses autores concluíram que, que nos três anos estudados, houve aumento significativo na produtividade do milho nas parcelas que utilizaram o lodo de esgoto em relação à testemunha, media de 6.199 kg ha⁻¹.

Faustino et al. (2005), avaliaram a viabilidade do lodo de esgoto como componente do substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. Dos cinco tratamentos empregados com diferentes proporções de lodo, o melhor crescimento das mudas desta espécie foi obtido com substrato contendo 50% de lodo + 50% de solo, seguido do tratamento composto de 25% de lodo + 25% de pó de coco + 50% de solo. Os autores concluíram em seu estudo que o uso de lodo de esgoto como componente de substratos para produção de mudas pode ser uma

alternativa viável para sua disposição final e constitui uma ferramenta a ser utilizada pelas prefeituras, na produção de mudas para arborização urbana e recuperação de áreas degradadas.

Apesar do fornecimento do bio-sólido ser gratuito, os usuários pagam pelo transporte do material, o qual, só é viável até determinada distância. Segundo Silva *et al.* (2002), a distância máxima viável ao seu uso será de 122 km, pelo alto valor do frete. Mas essa distância depende da região em que esta localizada, sendo necessário comparar o valor de um fertilizante com o frete para transportar o lodo.

4.1.2 Indústria cerâmica

A utilização de lodo de esgoto na fabricação de produtos cerâmicos tem a intenção de dar um destino final aos resíduos, minimizando seus impactos ambientais, apesar de que também traz benefícios econômicos

Segundo Silva *et al.* os resultados de sua pesquisa mostraram que é viável a utilização do lodo de ETE até a adição de 25% em massa para a temperatura de sinterização de 1100 °C, pois até essa quantidade de lodo, o valor de resistência mecânica alcançado foi praticamente igual ao da massa cerâmica sem adição de lodo e a absorção de água ficou dentro dos parâmetros exigidos pelas normas técnicas. A adição de lodo na dosagem de 50% na massa cerâmica acarretou uma alta absorção de água nas temperaturas de sinterização estudadas, em torno de 38% na temperatura de sinterização de 1100 °C, devido à grande quantidade de porosidade gerada pela presença de matéria orgânica proveniente do lodo.

Duarte (2008) ressalta que a resistência à compressão foi significativamente diminuída com a adição de lodo: tijolos com 5% de lodo perderam, em média, cerca de 45% da resistência obtida pelo tijolo-testemunha; os tijolos fabricados com 15% e 20% perderam na faixa de 70% da resistência máxima, contudo ainda atingiram a resistência mínima necessária. Contudo a dosagem máxima que pode ser incorporada à massa cerâmica, atendendo simultaneamente aos requisitos técnicos e ambientais, é a de 20% de lodo.

De acordo com Araújo (2008), do ponto de vista ambiental, é seguro afirmar que a incorporação do lodo a massa para fabricação de cerâmica vermelha é completamente viável e resolve o problema de disposição inadequada do lodo de esgoto.

4.2 Aplicação do lodo da ETE-Vila União em um latossolo vermelho

4.2.1 Taxa de lodo a ser aplicada com base nos macronutrientes (N, P, K)

O interesse agrícola pelo lodo de esgoto está associado principalmente ao seu teor de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e ao conteúdo de matéria orgânica (ANDREOLLI, 1999). Como os lodos são pobres em potássio, há necessidade de se adicionar esse elemento ao solo na forma de adubos minerais (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

No Quadro 6, temos a concentração dos principais nutrientes gerado pela estação de tratamento de esgoto – norte, localizada na cidade de Palmas – TO.

QUADRO 6: Concentração dos principais nutrientes gerado pela ETE - Norte.

Amostra	K (%)	N (%)	P (%)
Lodo	0,03	3,21	2,39

Para encontrar a taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto, analisamos a quantidade recomendada de nutriente para um latossolo vermelho localizado na cidade de Palmas – TO. Segundo Silva (2014), a quantidade necessária nesse local de Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P), são respectivamente 150,00 kg/ha, 58,80 kg/ha e 48,80 kg/ha.

Portanto utilizando a seguinte fórmula para calcular a taxa de aplicação máxima de nitrogênio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{\text{N recomendado (kg/ha)}}{\text{NDisp (kg/t)}}$$

Portanto;

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{150,00(\text{kg/ha})}{32,1 (\text{kg/t})}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 4,67$$

Aplicando a mesma fórmula para o potássio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{58,80 (\text{kg/ha})}{0,2988 (\text{kg/t})}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 196,78$$

Aplicando a mesma fórmula para o fósforo:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{48,80 \text{ (kg/ha)}}{23,9 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 2,04$$

Analisando todos os resultados obtidos e de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, recomenda que deverá ser adotado, para a taxa de aplicação máxima em base seca, o menor valor calculado onde a aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha).

Aplicação de dosagens superiores a 2,04 t/ha, acarretará um excesso de fósforo no solo, podendo modificar a dinâmica do fósforo no solo.

4.2.2 Metais pesados

A presença de metais pesados em lodos de esgoto é uma das principais preocupações quando se pretende utilizar o biossólido para fins agrícolas e florestais. Os metais pesados além de exercerem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, também afetam os processos biogeoquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados. (MATIAZZO & ANDRADE, 2000, citado por PEREZ, 2008).

Calculou-se a quantidade de lodo necessário para que ocorra a incorporação dos nutrientes no solo, verificou-se se a quantidade de lodo que não excedesse o limite permitido de metais pesados (Quadro 4).

No Quadro 7, tem-se os resultados obtidos nas análises dos metais pesados.

QUADRO 7: Concentração dos metais pesados gerado pela ETE – VILA UNIÃO

Amostra	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Lodo	80,30	2275,00	47,90	211,30	6,80	0,60	57,60	37,30

- Cobre (Cu): Máximo de 75,00 kg/ha, na amostra temos 80,30 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{80,30 \times 10^{-6} kg}{x} = \frac{1 kg}{2040 kg/ha}$$

$$x = 0,164 kg/ha$$

-Cádmio (Cd): Máximo de 1,90 kg/ha, na amostra temos 6,80 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{6,8 \times 10^{-6} kg}{x} = \frac{1 kg}{2040 kg/ha}$$

$$x = 0,014 kg/ha$$

-Níquel (Ni): Máximo de 21,00 kg/ha, na amostra temos 37,30 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{37,30 \times 10^{-6} kg}{x} = \frac{1 kg}{2040 kg/ha}$$

$$x = 0,076 kg/ha$$

-Chumbo (Pb): Máximo de 15,00 kg/ha, na amostra temos 0,60 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{0,60 \times 10^{-6} kg}{x} = \frac{1 kg}{2040 kg/ha}$$

$$x = 1,22 \times 10^{-3} kg/ha$$

-Zinco (Zn): Máximo de 140kg/ha, na amostra temos 211,30 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{211,30 \times 10^{-6} kg}{x} = \frac{1 kg}{2040 kg/ha}$$
$$x = 0,43 kg/ha$$

Pode-se observar que as quantidades de metais pesados não excederam o máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

5 CONCLUSÃO

A reciclagem agrícola vem mostrando em várias pesquisas bibliográficas que é o meio de disposição final que mais reaproveita o potencial do lodo de esgoto, além de em alguns casos ser bastante viável comparando com outros tipos de fonte de nutrição para o solo.

O uso do lodo em produtos cerâmicos também foi constatado por diversos autores que dependendo da porcentagem de lodo aplicado na massa cerâmica é viável, pois com a sua aplicação há uma diminuição da resistência mecânica, mas com a quantidade correta essa, não chega a afetar tanto o produto final.

O lodo de esgoto gerado na ETE Vila União, apresenta concentrações de metais pesados inferiores ao estabelecido pelo CETESB (Quadro 03), conforme já esperado, pois não há contribuição de indústrias no esgoto gerado em Palmas.

A quantidade máxima de lodo gerado na ETE Vila União que pode ser disposto no Latossolo Vermelho Amarelo é de 2,04 t/ha ao ano. Essa quantidade é necessária para que o solo não tenha excesso de fósforo, porém para que o solo tenha uma nutrição melhor é necessário aplicar potássio, pois a quantidade no lodo é muito baixa.

A concentração de metal pesado no solo também não excedeu o limite estabelecido pela CETESB (Quadro 04), pois aplicando 2,04 t/ha de lodo no solo e usando esse valor como uma variável não houve excesso de metais pesados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMINO, R. C. J. A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: **Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais**. 2010. 221p. Tese (Doutorado em Geologia). Curso de Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AMUDA, O.S., DENG, A., ALADE, A.O. E HUNG, Y-T. (2008). “**Conversion of sewage sludge to biosolids**”. In: Wang, L. K., Shammam, N. K., Hung, Y. T. Biosolids Engineering and Management. Humana Press, 7, 65-115.

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. SANEPAR, PROSAB. Curitiba, 1999.

ANDREOLI, C. V. (Coordenador); **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro, ABES, 2006. 417 p.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; VON SPERLIN, M. Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 2001.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington. 2012

ARAÚJO, F. S. D. **Influencia do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha**. 2008, 76 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Natal.

ARAÚJO, F. S. D.; LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, A. L. C.; INGUZA M. P. D. **Caracterização de materias-primas para reuso de lodo de ete em produtos cerâmicos**. in CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. Anais... Natal: ABES, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ARAÚJO, F. S. D.; LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, A. L. C.; INGUZA M. P. D. **Caracterização de materias-primas para reuso de lodo de ete em produtos cerâmicos**. in CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. Anais... Natal: ABES, 2005.

BETTIOL.; ARMOND, G.; BRAGA, C. A. S.; GHINI, R. **Desenvolvimento de um sistema de desinfestação de solo com uso de energia solar**. Jaguariúna: Embrapa CNPDA, 1989.

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

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A.; **Lodo de Esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006, 349p.

BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Madison, America Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121.

CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. P4.230: Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico. São Paulo, 1999. 33 p.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços**: uma alternativa para disposição final do resíduo. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FARIA, C. Tratamento de esgoto. Disponível em:
<<http://www.infoescola.com/geografia/tratamento-de-esgoto/>> Acesso em 13 Fevereiro 2015.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: W. BETTIOL & O. A. CAMARGO (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

FERNANDES, F.; SILVA, S. C. P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.

FERREIRA, A. C., ANDREOLI, C. V. Disposição final do lodo. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**, 1., 1999, Curitiba: SANEPAR, 1999.

GEORGE, M. S. Concrete aggregate from wastewater sludge. Concrete international Design & Construction, v. 8, n. 11, p. 27 - 30, November 1986.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; LIMA, M. R. P.; RAMALDES, D. L. C.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Desidratação de Lodo de Esgotos. 56-86 0 . in: ANDREOLI, C. V. (coord.) **Resíduos sólidos do saneamento; processamento, reciclagem e disposição final**. 1. ed. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto domestico**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 681p.

LARA, A.I. Monitoramento. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**, 1., 1999, Curitiba: SANEPAR, 1999.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 3. ed. 1996.

MANZOCHI, C. I. S. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETE'S visando reciclagem agrícola**. 2008. 331f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARINE BIO. Disponível em: <<http://marinebio.org/Oceans/OceanDumping.asp>>. Acesso em 18 de Março 2015.

MORAES, L. D. M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbio de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios sequenciais**. 2005. 164p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Curso de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series no.5, 1996.

NEVES, E. T. **Curso de hidráulica**. Porto Alegre: Editora Globo, 1974, 574p.

NUVOLARI, A. **Esgotos Sanitários – Coleta Transporte Tratamento e Reuso Agrícola** São Paulo, FATEC-SP, Ed. Edgar Blucher, 2003, 519 p.

PÉREZ, P. V. **Efeitos da adição do biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook**. 2008. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Campus de Marechal Cândido Rondon, PR.

RAIJ, B. V; *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)

ROQUE, O. C. C.; MALTA, T. S.; D'AGUILA, P. S. Lodos de estação de tratamento de esgoto: estudo de caso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, CANCÚN, 2002.

SANTOS, A. D. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo**. (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 2003. 265p .

SILVA, G. H. **Sistema de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial – estudo de caso na lagoa da conceição**. Monografia. Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SURFRIDER FOUNDATION BRASIL. Brasil e Europa pelas praias. Press Release - 1. 2006. 4p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

VON SPERLING, M. E GONÇALVES, R.F “Lodo de esgoto: características e produção”. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. E FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA – UFMG, Belo Horizonte, 17-67. (2001).

TUROVSKIY I. S.; MATHAI P. K. *Wastewater sludge processing*. New York: Wiley. U.S. Environmental Protection Agency, Emerging Technologies for Biosolids Management, US EPA/832/R-06/005, Washington, DC (2006). 383 p.

U. S. Environmental Protection Agency. *Ambient Water Quality Criteria for Bacteria*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1986.