



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

Guilherme Barcelos de Carvalho Avelar Oliveira

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA NA AGRICULTURA E EM BLOCOS CERÂMICOS

Palmas - TO

2016/2

Guilherme Barcelos de Carvalho Avelar Oliveira

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA NA AGRICULTURA E EM BLOCOS CERÂMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva.

Palmas - TO

2016/2

Guilherme Barcelos de Carvalho Avelar Oliveira

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA NA AGRICULTURA E EM BLOCOS CERÂMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva.

Aprovada em ____ de _____ de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Joaquim José de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2016/2

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, autor da criação e mestre soberano, pois sem Ele nada faria. À minha amada e mãe da minha filha Letícia Machado e a nossa filha Maitê por serem os motivos de cada palavra escrita nesse TCC. Nos momentos que mais precisei sempre se fizeram presentes nos meus pensamentos. Aos meus pais, Mirtes e Paulo, pela perseverança e batalha para chegarmos a este objetivo. A minha amiga Ana Paula de que com conversas, opiniões, conselhos e compreensão me apoiou nesta trajetória, para que assim realizasse este meu sonho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por seu socorro sempre presente na angústia, por ser possível através das orações feitas a Ele a transmissão de calma, amor, carinho e tomadas de decisões necessárias a este trabalho.

À minha amada Letícia Machado, uma pessoa que Deus colocou em minha vida de tal forma que só tenho a agradecer, por ser um dos maiores motivos da minha luta e a matéria-prima do que me dá forças para lutar pelos objetivos.

À minha família, por todo o apoio, incentivo e auxílio das mais diversas formas. Agradecer principalmente aos meus pais, Mirtes e Paulo, peças fundamentais para minha oportunidade de estudar. Sonharam junto comigo e me deram força. Obrigado por terem acreditado e confiado em mim!

À minha filha Maitê, que Deus me concedeu a honra de ser pai, de olhar para ela todos os dias e correr atrás dos sonhos dela, que são os meus, para que eu possa proporcionar somente coisas boas e conhecimentos nobres para vida dela.

Ao meu irmão Gustavo, por ter acreditado e torcido sempre para que esse sonho se realizasse. Obrigado pelas orações, apoio e compreensão. Aos amigos, obrigado por tudo!

À minha amiga Ana Paula, pelas orientações de extrema relevância em todos aspectos na minha vida, pelo apoio, compreensão, amizade e estímulo em todas as horas.

Ao meu orientador, Professor Me. José Geraldo Delvaux Silva pela ajuda ao meu trabalho. Obrigado professor pela sua dedicação nos momentos em que precisei. Obrigado pela sua presteza, broncas e cobranças!

Ao CEULP/ULBRA de Palmas-TO, pela oportunidade de aumentar e melhorar o meu conhecimento na área em que decidi me formar e atuar profissionalmente.

RESUMO

O presente trabalho discute o aproveitamento do lodo proveniente da estação de tratamento de água na agricultura e em blocos cerâmicos. Tendo em vista que dentre os diversos tipos de resíduos sólidos e líquidos urbanos gerados, este trabalho aborda a necessidade de se aproveitar o lodo, um subproduto gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETA). O crescente aumento da população vem proporcionando um aumento no número de ETAs e atrelado a isso está o aumento da geração do lodo. Foi analisado a possibilidade da utilização do lodo de uma Estação de Tratamento de Água – (ETA), assim como sua composição química, sua influência ao ser inserido na agricultura e também em blocos cerâmicos. Posteriormente foram feitas pesquisas bibliográficas e realizadas análises do material coletado na ETA. 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. A utilização de lodo na indústria de produtos cerâmicos mostrou-se viável tecnicamente, no limite de 15% da massa cerâmica. No caso da ETA esteja localizada a uma distância inferior a região de extração de insumos argilosos (argila gorda), é possível que também se justifique a viabilidade econômica desta utilização. Sob o ponto de vista ambiental a utilização de lodo em escala industrial poderá evitar a disposição deste tipo de resíduo em corpos receptores que causam assoreamento dos rios, impacto no crescimento de plantas aquáticas, alteração das propriedades físico-químicas da água.

Palavras-chave: Estação de tratamento de água. Lodo. Agricultura. Cerâmica.

ABSTRACT

This paper discusses the use of sludge from the water treatment in agriculture and ceramic blocks. Given that among the various types of solid waste generated and urban liquids, this paper addresses the need to take advantage of the sludge, a by-product generated in the Water Treatment Plants (WTP). The increasing population has provided an increase in the number of WTPs and linked to this is the increase in sludge generation. The possibility of using sludge from a water treatment plant was analyzed - (WTP) as well as its chemical composition, its influence to be inserted in agriculture and in ceramic blocks. Later it was made bibliographical research and analysis performed of the material collected in the WTP. It was found that the sludge use in various forms of planting is satisfactory, not only from an environmental point of view, but from also prioritizing the economic side and soil improvement. The use of sludge in the ceramics industry was shown to be technically feasible, the limit of 15% of the ceramic mass. If WTP is located at a distance less than loamy input extraction region (fat clay), it may also justify the economic feasibility of use. From an environmental point of view, the use of sludge on an industrial scale could prevent the provision of this type of waste into receiving bodies that cause siltation of rivers, impact on growth of aquatic plants, changing the water.

Keywords: Water treatment plant. Sludge. Agriculture. Ceramics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas de Tratamento da Água.....	19
Figura 2- Decantador Clássico	20
Figura 3- Filtros para filtração direta ascendente.....	21
Figura 4 -Limpeza manualmente de um decantador vazio.....	22
Figura 5 - Impacto ambiental causado pela disposição irregular do lodo da ETA no córrego Monjolinho.....	23
Figura 6 - Destinação dos lodos dos municípios brasileiros, FONTE: IBGE, 2013	26
Figura 7 - Aterro Sanitário	27
Figura 8 - Blocos de cerâmica com reaproveitamento do lodo da ETA	28
Figura 9- Bloco Cerâmico de Vedação	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises Químicas dos componentes do Lodo.....	33
Tabela 2 – Concentrações limites de metais no lodo (CETESB, 1999).....	35
Tabela 3 - Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas (CETESB, 1999).....	35
Tabela 4 - Proporções de Lodo a serem analisadas.....	37
Tabela 5 - Índices de Absorção d'água com 0% de adição de lodo.....	40
Tabela 6 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 2% de adição de lodo.	41
Tabela 7 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 4% de adição de lodo	41
Tabela 8 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 6% de adição de lodo	41
Tabela 9 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 8% de adição de lodo.	42
Tabela 10 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 10% de adição de lodo.	42
Tabela 11 - Concentração dos principais nutrientes gerados na ETA.....	44
Tabela 12 - Concentração de Metais pesados no Lodo da ETA.....	46

LISTAS DE SÍMBOLOS

Ag	Prata
As	Arsênio
B	Boro
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cl	Cloro
Cr	Crômio
Cu	Cobre
F	Flúor
ha	Hectare
Hg	Mercurio
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
Zn	Zinco

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 PROBLEMA	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 ÁGUA – CONTEXTO GERAL	18
2.2 TRATAMENTO DA ÁGUA	19
2.3 LODO DA ETA	22
2.3.1 Formas de utilização final do lodo da ETA.....	24
2.3.1.1 Aterro Sanitário	26
2.3.1.2 Cimento	27
2.3.1.3 Cerâmica.....	28
2.3.1.4 Concreto	29
2.3.1.5 Lançamento em rios	30
2.3.1.6 Lançamento em rede coletora de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	30
2.3.1.7 Agricultura	30
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 Coletas e preparo das amostras	33
3.2 Análises Realizadas.....	33
3.3 Metais Pesados	34
3.4 Disposição Controlada em Solos.....	34
3.5 Quanto à composição do lodo	34
3.6 Limites de acumulação de metais no solo.....	35
3.7 Aproveitamento do Lodo da ETA em blocos cerâmicos.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Disposição final do lodo.....	38
4.1.1 Reciclagem agrícola	38
4.1.2 Indústria cerâmica	39
4.2 Aplicação do lodo da ETA VI em um latossolo vermelho.....	44
4.2.1 Taxa de lodo a ser aplicada com base nos macronutrientes (N, P, K).....	44
4.2.2 Metais pesados	46

5 CONCLUSÃO.....	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

Nos centros urbanos, o abastecimento de água torna-se cada dia mais centrado na qualidade do produto a ser distribuído à população, mas, em contrapartida, as quantidades disponíveis estão mais distantes em função de descuidos do próprio setor responsável pela área sanitária nos municípios. O saneamento ambiental atualmente exige ações abrangentes e holísticas de integração entre: abastecimento de água, coleta e destinação adequada de resíduos sólidos e líquidos, organização coerente das águas pluviais e gerenciamento ambiental integrado ao uso e ocupação do solo. Essa visão somente poderá surtir efeito com mudança efetiva no gerenciamento integrado do setor.

Vários estudos, vem sendo realizados no sentido de reciclar estes resíduos como uma matéria-prima para produzir outros materiais. De acordo com GONÇALVES (2000), ao utilizar estes resíduos para produzir outros materiais pode reduzir o consumo de energia, as distâncias de transporte que variam em função de onde estejam localizados o resíduo e o mercado consumidor, e também contribuir para a redução da poluição gerada. Dentre os diversos tipos de resíduos sólidos e líquidos urbanos gerados, este trabalho aborda a necessidade de se aproveitar o lodo, um subproduto gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETA). O crescente aumento da população vem proporcionando um aumento no número de ETAs e atrelado a isso está o aumento da geração do lodo. Visto que nos grandes centros urbanos já se observa uma escassez de áreas para a implantação de aterros sanitários, torna-se necessário buscar alternativas viáveis, técnica e economicamente, ao aproveitamento do lodo. Segundo JAPAN SEWAGE WORKS AGENCY (1990) apud GEYER (2001), três linhas básicas vêm se destacando com relação ao aproveitamento e destino final deste resíduo: Agricultura (A), Construção (C) e produção de Energia (E) que foi denominado de “ACE Plan” Japonês. Neste plano passou-se a pesquisar as possibilidades de utilização do lodo na agricultura na construção civil e na produção de energia.

As estações de tratamento de água de abastecimento têm sido projetadas seguindo um padrão em que a preocupação se atém ao produto final a ser distribuído à população. Esse é sem dúvida o objetivo desses sistemas. No entanto, na operação de uma planta de tratamento estão envolvidos outros fatores que devem ser observados pelos responsáveis.

O lodo da Estação de Tratamento de Água, pode ser aplicado no solo para fins agrícolas, para a recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração e até mesmo em aterros sanitários. Entretanto, seja qual for a finalidade da aplicação, ela deve levar em consideração, não só a possibilidade de alterar a capacidade de retenção da água, como também a possibilidade de alterar outras propriedades estruturais do solo (BIDONE; SILVA; MARQUES, 2001).

A qualidade da água bruta, os produtos químicos empregados no tratamento, a concepção e o projeto da ETA e as condições operacionais são de fundamental importância para que o funcionamento dos sistemas seja ambientalmente correto.

A destinação atual da maior parte dos resíduos gerados no tratamento da água especificamente o lodo, é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando desequilíbrios ambientais e tornando-se fonte potencial de morbidades e mortalidades humanas. O lodo de estação de tratamento de água apresenta, desde que beneficiado por algum processo, potencialidade de ser utilizado como subproduto na Indústria da Construção Civil.

Um dos grandes problemas relacionados ao lodo é sua destinação final, pois envolve custos de transporte e restrições devido sua característica contaminante. A disposição inadequada do lodo pode causar diversos problemas ao meio ambiente, como reduzir o oxigênio dissolvido e o aumento do alumínio e metais pesados nos corpos hídricos, e a destruição da fauna e da flora. Existem algumas alternativas para destinar corretamente o lodo, como a fabricação de cimento e tijolos, recuperação de áreas degradadas e construção civil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar a possibilidade da utilização do lodo de uma Estação de Tratamento de Água – (ETA);

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a composição química do lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA);
- Analisar a influência da adição do lodo da ETA na agricultura;
- Levantar a produção de lodo na ETA;
- Analisar a quantidade de blocos cerâmicos a partir do lodo da ETA;

1.2 JUSTIFICATIVA

A disposição final dos resíduos sólidos domésticos pode ocasionar um grave problema ambiental, pois ao promover-se o saneamento básico, e com isso, a saúde pública, geram-se concomitantemente, no processo, compostos indesejáveis com alta carga poluidora e patogênica.

A destinação atual da maior parte destes resíduos sólidos e líquidos urbanos (lixos, resíduos de Estações de Tratamento de Água e de tratamentos industriais) são incertos e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando grandes desequilíbrios ambientais, além de se tornarem fontes potenciais de morbidades e mortalidades humanas.

O lodo da Estação de Tratamento de Água – (ETA), gerado nos filtros e decantadores quando descartado em cursos d'água é extremamente nocivo ao meio ambiente. O resíduo causa a diminuição do oxigênio dissolvido pela decomposição da matéria orgânica e acumula-se no fundo dos rios e córregos (BUTLER e SALES, 2000). Além disso, são aplicados produtos químicos durante a etapa de floculação no tratamento da água, com elevadas concentrações de metais pesados que provoquem a degradação local (LENZI, 2003).

As altas concentrações de alumínio no lodo tendem a fixar o fósforo no solo e dificultar o crescimento das plantas. Além disso, os produtos contaminantes presentes no coagulante contêm geralmente elevadas concentrações de Pb, Cr, Cd e outros metais pesados que provocam a degradação local (LENZI, 2003).

As propriedades dos lodos da estação de tratamento de água variam com a qualidade da água bruta e com o tipo de coagulante e demais produtos químicos auxiliares utilizados durante o procedimento do tratamento de água (REALI, 1999).

Quanto maior o acúmulo do lodo nos tanques de decantação, maior a concentração de metais no resíduo e, portanto, maior o impacto ambiental causado pela deposição irregular do mesmo (CORDEIRO, 2001).

1.3 PROBLEMA

A utilização do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água – (ETA), na agricultura é uma alternativa sustentável e com viabilidade técnica?

A busca de soluções, economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas, para a disposição final e o tratamento do lodo das ETAs, continua sendo um grande desafio em todos os países, principalmente no Brasil, onde esse assunto ainda está no seu início. Diferentes alternativas de uso benéfico do lodo têm sido adotadas nos países do hemisfério norte e, além de vantagens econômicas, vem transformando, em larga escala, resíduos em recursos.

Para o uso benéfico do lodo, é imprescindível que seja realizada uma pesquisa de mercado, identificando potenciais clientes, aceitação do produto por fabricantes e pelo consumidor final, além da viabilidade da comercialização do produto.

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 ETA 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.

De acordo com Von Sperling, 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.

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.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ÁGUA – CONTEXTO GERAL

Desde o início da história da espécie humana e dos primórdios da vida na Terra a água sempre teve sua extrema importância. Assim como no passado, as grandes civilizações de hoje em dia dependem de água doce para sobrevivência e desenvolvimento econômico e cultural. Entretanto, a população mesmo sabendo que a água doce é essencial para sustentação da vida, continuam poluindo, contaminando e degradando esse recurso tão nobre, tanto as águas subterrâneas quanto as águas superficiais.

Segundo Horst Rauchfuss (2008), ainda não há consenso sobre como se deu a origem da água no planeta. Por um lado, acredita-se que a água provém do próprio processo de acreção de hidrossilicatos durante a formação da Terra. Estes compostos posteriormente liberaram as moléculas de água que viriam a formar os oceanos primitivos. Contudo, uma provável fonte seria a grande quantidade de cometas, meteoroides e asteroides que atingiram a Terra durante o último bombardeio tardio, um evento turbulento nos primórdios do Sistema Solar. Esta teoria é apoiada pelo fato de que a proporção entre hidrogênio e deutério (um isótopo do hidrogênio), presentes no gelo dos cometas e nos oceanos da Terra, ser similar.

Em relação a solubilidade, a água tem um grande poder e uma capacidade de conduzir diversas partículas e com isso, incorpora a si várias impurezas que acabam definindo a qualidade da água. Através da ação do ser humano e de fenômenos naturais resultam este processo, com ligação direta ao uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica e suas condições naturais. A água é um recurso que tem fim, tendo limites em relação ao seu uso e gradativamente os custos dos tratamentos estão elevados.

Existem cerca de 7500 estações convencionais ou de ciclo completo com diversas capacidades, no Brasil. O lodo é gerado nos decantadores e nos filtros através desses sistemas, e a redução de seu volume é um dos seus objetivos, para que assim seja disposto adequadamente, diminuindo os custos de transporte e de sua disposição final, além de proteger o meio ambiente com riscos de poluição.

2.2 TRATAMENTO DA ÁGUA

As empresas responsáveis pelo tratamento e abastecimento de água são obrigadas a fornecer água de boa qualidade, dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Mas para que essa meta seja atingida Richter e Azevedo Netto (1991) afirmam que, alguns parâmetros devem ser analisados na escolha do manancial para abastecimento de água, como a qualidade e a quantidade. Quanto melhor a particularidade do manancial menor será a necessidade de tratamentos e a água passará apenas por um processo de purificação.

O sistema convencional, também chamado de tratamento de ciclo completo, trata água com teores relativamente elevados de impurezas. Durante o tratamento, a água passa pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação e filtração, que serão abordadas em seguida. Também serão discutidas desinfecção e fluoretação, que são etapas comuns a todas as tecnologias de tratamento, e correção do pH que nem sempre é necessária, conforme a Figura 1 a seguir:

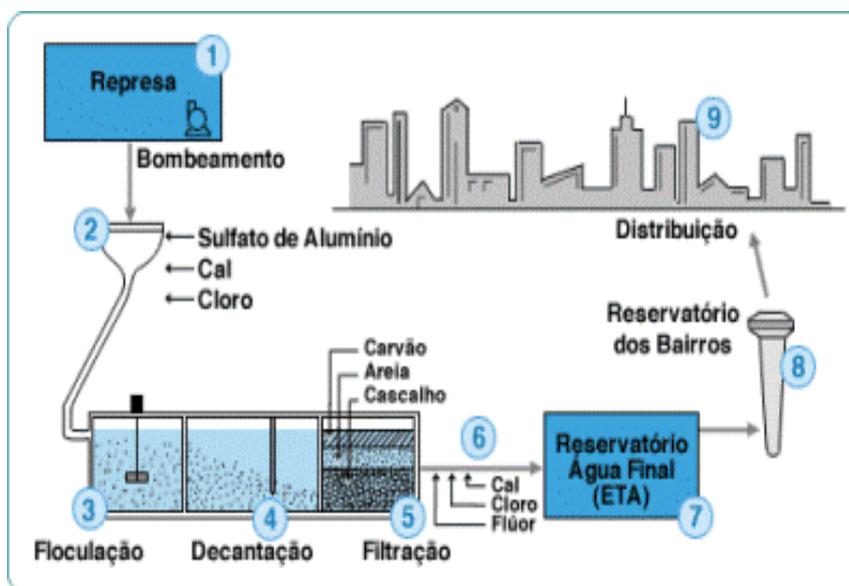


Figura 1- Etapas de Tratamento da Água

Na oxidação é injetado cloro (Cl) na água bruta captada para oxidar os metais presentes dissolvidos, principalmente o ferro e o manganês. Na coagulação adiciona-se cal

(Ca) para manter o pH no nível adequado e, logo após, sais de alumínio ou sais de ferro como coagulante primário para formar os flocos de impurezas. Em contato com a água este coagulante reage quase que instantaneamente, promovendo uma reação de hidrólise, resultando na formação de determinados compostos que irão, juntamente com as impurezas presentes, constituir os flocos, que serão separados posteriormente nas unidades de decantação e filtração.

Após a coagulação, a água é conduzida para flocladores, onde os flocos serão formados. Os flocladores são divididos em várias câmaras, dentro das quais a intensidade de agitação da água vai diminuindo gradativamente, de forma a não se quebrar os flocos que estão sendo formados.

A etapa de decantação consiste na remoção de partículas em suspensão mais densas que a água por ação da gravidade. Para uma maior eficiência, o percurso da água floclada para os decantadores deve ser o menor possível e em condições que evitem a quebra dos flocos ou que impeçam a sedimentação das partículas. As partículas mais densas que a água, irão se depositar no fundo do decantador, de acordo com a Figura 2 abaixo:



Figura 2- Decantador Clássico

No procedimento de filtração, a água passa por filtros com antracito, areia e cascalho retendo as impurezas que não foram sedimentadas nas etapas anteriores. Essas impurezas

retiradas da água provenientes principalmente dos decantadores e das águas de lavagem dos filtros são denominadas de lodo da estação de tratamento de água, lodo de ETA. As características dessas impurezas dependem das condições da água bruta retirada do manancial, dosagens e produtos químicos utilizados e a forma de limpeza dos filtros dos decantadores, assim como a Figura 3 a seguir:



Figura 3- Filtros para filtração direta ascendente

O procedimento da correção do pH é necessário, tendo em vista, o grau de acidez provocado pelo coagulante na etapa inicial do tratamento. Existem três pontos de aplicação de carbonato ou hidróxido de Sódio: na água bruta, na água decantada e no canal de água filtrada, correspondendo respectivamente à pré-alcalinização, interalcalinização e à pós-alcalinização.

A desinfecção tem o objetivo de eliminar organismos patogênicos que porventura não tenham sido retirados durante o tratamento. Existem diversos meios e produtos para se fazer a desinfecção, podendo-se citar o uso do cloro gasoso, hipoclorito de cálcio, hipoclorito de sódio, dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta.

Boa parte das Estações de Tratamento de Água (ETAs) realizam as limpezas periódicas, em média uma vez por mês, manualmente, ou seja, esvaziando o decantador e

lavando o fundo. Temos então a seguinte sequência de tratamento da água em uma ETA: coagulação – floculação – sedimentação – filtração – retirada do lodo – fluoretação, conforme a Figura 4 a seguir:



Figura 4 -Limpeza manualmente de um decantador vazio

2.3 LODO DA ETA

Os lodos gerados nos decantadores das ETAs são resultados dos processos e operação de coagulação/floculação e sedimentação das partículas constantes na água bruta. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física de formação de flocos que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou de flotação. O material removido da água bruta é retido em tanques por um certo tempo e disposto, quase sempre, em cursos d'água.

De modo geral, os lodos são produtos resultantes da coagulação dos constituintes orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e suspensos na água bruta, com composição físico-química similar a dos produtos utilizados no processo, principalmente na fase de coagulação, correção do pH e abrandamento para remoção da dureza. No entanto, um dos maiores problemas é o desconhecimento das particularidades dos sólidos presentes no lodo.

A definição de destino final para o lodo gerado na ETA é uma das tarefas mais difíceis para quem administra o serviço de água, envolvendo custos das tarefas de transporte e restrições do meio ambiente. Existem várias opções possíveis de disposição a serem adotadas, dependendo da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para cada caso. Vários estudos estão sendo realizados visando à busca de novas possibilidades de disposição desse tipo de resíduos, mas para isto, o lodo precisa ser tratado. Destas alternativas é possível citar as seguintes: disposição em aterro sanitário (PROSAB,1999); co-disposição com biossólido (RICHTER,2001); disposição controlada em certos tipos de solos (RICHTER, 2001); lançamento em rede coletora de esgoto ou diretamente nas estações de tratamento de esgotos; incineração de resíduos; aplicações industriais diversas.

Apesar das diversas alternativas de aplicação, no Brasil existem cerca de 7.500 estações de água que geram seus resíduos nos tanques de decantação e filtros e os lançam diretamente nos mesmos córregos e rios de onde é retirada a água para o tratamento (CORDEIRO, 2001), assim como a Figura 5 a seguir:



Figura 5 - Impacto ambiental causado pela disposição irregular do lodo da ETA no córrego Monjolinho.

Algumas dessas alternativas usualmente utilizadas para a disposição do lodo são: aplicação no solo, aterros sanitários e incorporação do lodo em materiais para a construção civil (COSTA, 2011).

Os rejeitos de ETAs são compostos basicamente de partículas do solo, material orgânico carreado para água bruta, subprodutos gerados da adição de produtos químicos e água. As partículas constantes na água a ser tratada são basicamente coloides que conferem à mesma cor e turbidez. Os coloides têm tamanho que varia de 1 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$) a 1 mm ($1 \text{ mm} = 10^3 \text{ mm}$). Essa característica dificulta a retirada da água livre dos lodos.

A quantidade de lodo produzida em determinada ETA dependerá de fatores como: partículas constantes na água bruta, que conferem turbidez e cor à mesma; concentração de produtos químicos aplicados ao tratamento; tempo de permanência do lodo nos tanques; forma de limpeza dos mesmos; eficiência da sedimentação; entre outros.

Portanto, serão apresentadas algumas considerações sobre métodos de controle na aplicação do lodo das ETAs e o que pode provocar na qualidade do produto a ser fabricado, senão tiver estudos específicos da composição e controle de dosagem do lodo aplicado nestas outras atividades. Vale ressaltar que o aproveitamento de resíduos concebidos em ETAs descritos neste trabalho, vem sendo aplicados em alguns países do mundo.

2.3.1 Formas de utilização final do lodo da ETA

Como já mencionado anteriormente, existe uma preocupação crescente com relação à disposição do lodo das ETAs, em decorrência da ampliação dos sistemas de tratamento e das leis ambientais, que a cada dia tornam-se mais exigentes. Por apresentar em sua composição germes patogênicos, metais pesados e outros compostos tóxicos, mesmo após o procedimento de tratamento. Este resíduo quando disposto de maneira inadequada, pode trazer danos ao meio ambiente e à saúde humana.

De acordo com Costa (2011), existem várias alternativas de disposição do lodo da ETA, porém, todas dependem da viabilidade econômica, técnica e ambiental. Segundo Megda, Soares e Achon (2005), o tratamento e a disposição de lodos de ETAs vêm sendo tratados mundialmente como uma oportunidade de aumento de lucro e, principalmente, diminuição de custos e de impactos ambientais em empresas e sistemas autônomos de saneamento básico. Uma das maneiras de economia neste processo é o aproveitamento do lodo gerado para utilização em outras atividades, tais como: fabricação de cimento, fabricação

de tijolos, compostagem, lançamento na rede coletora da ETE, aterro sanitário, plantação de cítricos, recuperação de áreas degradadas e construção civil.

Após o desaguamento e a desidratação do lodo, faz-se sua disposição final. A disposição final dos resíduos gerados na ETA vem sendo realizada das seguintes maneiras: disposição em aterro sanitário, disposição no solo, lançamento em rede de esgoto, uso em materiais de construção e até na regeneração do coagulante constante no lodo.

A disposição final do lodo de estação de tratamento de água é uma das tarefas mais difíceis no tratamento de água, pois envolve transporte e restrições do meio ambiente. Entre as alternativas de utilização final mais utilizadas estão o lançamento em corpos d'água, o lançamento direto na rede de esgoto sanitário e a aplicação no solo e em aterro sanitário. A aplicação do lodo da estação de tratamento de água no solo pode trazer benefícios, tais como a melhoria estrutural do solo, a adição de traços minerais, o ajuste do pH, o aumento da capacidade de retenção de água e a melhoria das condições de aeração. No entanto, a aplicação sem controle pode levar hidróxidos de Alumínio e Ferro presentes no lodo a reagirem e a indisponibilizarem o fósforo no solo ou, até mesmo, causar a toxicidade do alumínio com pH superior a 6,5, o carregamento do nitrato do solo e a contaminação da água subterrânea.

Em várias partes do mundo, o tratamento e a disposição de lodos de ETAs vêm sendo tratados como oportunidade de aumento de receita e, principalmente, diminuição de custos e de impactos ambientais em empresas e sistemas autônomos de saneamento básico. O lançamento direto do lodo da estação de tratamento de água na rede de esgoto sanitário, pode ser considerado uma das alternativas mais baratas de utilização final para este resíduo, entretanto, de acordo com Richter (2001), esta alternativa apenas transfere o problema do tratamento e utilização do lodo da estação de tratamento de água para a estação de tratamento de esgoto.

Segundo Achon (2003), em seu trabalho sobre impactos ambientais, o impacto ambiental provocado pelo lançamento in natura do lodo proveniente de ETAs está associado a grande concentração de matéria orgânica e de metais (Al e Fe), que quando dispostos em rios afetam principalmente a camada bentônica dos rios, causando impactos relevantes como a depleção na concentração de oxigênio dissolvido (OD); alteração da biota aquática; mortalidade da comunidade bentônica de invertebrados; mortalidade de peixes; redução do

volume útil do rio, etc. Este fato se comprova quando analisamos a parcela de municípios que não descarta corretamente seus lodos como já citado acima, e quando se avalia os dados referentes ao descarte deste lodo. Segundo o IBGE, 62,44% dos descartes de lodo são feitos em rios, conforme a Figura 6 a seguir:

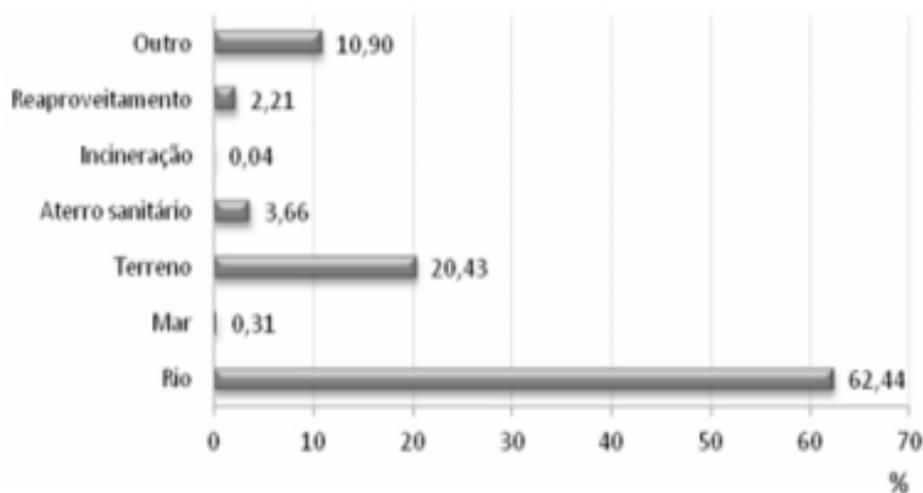


Figura 6 - Destinação dos lodos dos municípios brasileiros, FONTE: IBGE, 2013

2.3.1.1 Aterro Sanitário

De acordo com Tartari (2008), a disposição do lodo em aterros é uma alternativa segura para a saúde pública e ambiental, quando corretamente projetado e operado, considerando que essa disposição implica em custos de transporte e disposição. Silva (2009) explica que a disposição de lodo das ETAs em aterro sanitário é viável enquanto outras opções melhores não são encontradas. No entanto para que isso ocorra há a necessidade de remover a água livre que compõe o resíduo, o que pode ser feito através de meios naturais ou mecânicos, como já comentado anteriormente. Segundo Richter (2001), a disposição do lodo da ETA em aterros sanitários deve ser a última alternativa a ser considerada, conforme a Figura 7 abaixo:



Figura 7 - Aterro Sanitário

De acordo com a ABNT NBR 8419/1984, aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais.

A disposição do lodo em aterros municipais vem sendo considerada uma opção. Contudo, há estudo relatando que a mistura do lodo das ETAs e dos resíduos sólidos estritamente orgânicos, em proporção em torno de 50%, contribui para a lixiviação do Alumínio. Isso ocorre devido às altas concentrações de ácidos graxos no meio. Já a mistura de resíduos de baixo conteúdo orgânico com o lodo da ETA não apresentou riscos de lixiviação de Alumínio.

2.3.1.2 Cimento

A aplicação de lodos de ETAs na fabricação de cimento Portland é realizada com sucesso por empresas de saneamento nos EUA. Os materiais comumente utilizados na fabricação do cimento Portland são calcário, xisto e argila. O calcário corresponde a cerca de 70 a 80% do material bruto utilizado, porém com baixas concentrações de sílica, ferro e

alumínio. Para solucionar esta deficiência, são adicionados argila, xisto, minério de ferro e bauxita.

Para Talline Junior (2009), os materiais naturais usados na produção do cimento são calcário, xisto, minério de ferro e argila, sendo que a adição do lodo da ETA substitui uma pequena fração de alguma destas matérias primas e pode reduzir os custos da indústria. Existem algumas propriedades químicas associadas ao lodo que são danosas à produção de cimento, como a de matéria orgânica de antracito e/ou carvão ativado granular (CAG), enxofre, permanganato de potássio e altas concentrações de metais pesados.

2.3.1.3 Cerâmica

Dias (2008) analisou a viabilidade técnica da utilização do lodo de ETA na elaboração de blocos cerâmicos. Nesse estudo, os blocos, fabricados com 10% de lodo da ETA, atenderam às exigências da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e se adequaram à Classe 15 de resistência à compressão, classe em que se enquadravam 100% dos blocos originalmente fabricados na cerâmica, de acordo com a figura 8 a seguir:



Figura 8 - Blocos de cerâmica com reaproveitamento do lodo da ETA

A reutilização dos resíduos de ETA pode ser realizada com a incorporação de lodo em matriz de cerâmica vermelha. Através desta mistura confeccionam-se corpos de prova para

realização de diversos ensaios, com o objetivo de estabelecer misturas que possibilitem a reutilização deste lodo na matriz de blocos cerâmicos para a indústria da construção civil.

No Brasil há enormes jazidas de argilas, com importância em diversas áreas, principalmente na indústria de cerâmica vermelha. Este tipo de indústria abrange a fabricação de produtos à base de argilas. Produtos tais como, tijolos, blocos cerâmicos, lajotas e telhas são destinadas à indústria de construção civil, compreendendo hoje cerca de 13.000 pequenas e médias unidades produtivas dispersas em todo o país.

O processo de produção dos blocos compreendeu as fases usuais utilizadas nas indústrias cerâmicas que são:

- Desintegração da mistura, objetivando a redução de diâmetro do material;
- Homogeneização do material e otimização de sua umidade no misturador;
- Utilizando cilindros concorrentes com velocidades distintas, com o objetivo de reduzir a granulometria e homogeneizar a amostra, acontece a laminação;
- Extrusão e conformação, utilizando maromba a vácuo;

As vantagens na incorporação do lodo de ETA para fabricação dos tijolos são numerosas, entre elas, o aumento na vida útil das jazidas de argila, a redução do custo de reposição de vegetação, a disposição mais barata e adequada, diminuindo a poluição dos corpos hídricos e reduzindo a utilização de matéria prima.

2.3.1.4 Concreto

A destinação atual da maior parte dos subprodutos gerados em tratamento de água, especificamente o lodo, é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando desequilíbrios ambientais e tornando-se fonte potencial de morbidades e mortalidades humanas. O lodo da ETA apresenta, desde que beneficiado por algum processo, potencialidade de ser utilizado como subproduto na Indústria da Construção Civil (GONÇALVES, 2003).

No concreto, a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, contudo devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/gráudo) que minimiza a quantia de pasta. Seu desempenho independe das propriedades das matérias-primas, e sim das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

2.3.1.5 Lançamento em rios

Cordeiro (2001) aponta que a maioria das estações de tratamento de água brasileiras lança os seus resíduos sólidos nos corpos d'água mais próximos ou na rede de águas pluviais, sem nenhum tipo de procedimento. Este método favorece o aumento do grau de poluição dos corpos d'água e contribui para uma maior degradação do meio ambiente.

2.3.1.6 Lançamento em rede coletora de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

O lançamento dos resíduos gerados nas ETAs na rede de esgoto, para ser tratado nas ETEs, é uma outra possibilidade. Contudo, questiona-se a transferência da responsabilidade do problema dos resíduos gerados no tratamento. Esse lançamento deve ser avaliado com muito critério, pois os resíduos de ETAs podem interferir na eficiência do tratamento do mesmo. Deve-se verificar também a capacidade da rede coletora de esgoto de transportar esses resíduos.

2.3.1.7 Agricultura

Espalhar os resíduos em solo natural ou na agricultura é uma opção que vem sendo apresentada como destino final de resíduos. Alguns autores apresentam vantagens, como o aumento da porosidade do solo, permitindo assim maior retenção de umidade e aumento de sua coesividade. Contudo, essa opção vem sendo descartada em países que costumam fazer

isso, devido à possibilidade de contaminação do solo e até do lençol freático por metais pesados.

A valorização agrícola de solos com a aplicação de lodos das ETAs 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).

De acordo com Tsutiya e Hirata (2001), nos solos onde são cultivadas plantas cítricas como limão e laranja, normalmente existem deficiências de ferro, que pode ser suprido através da aplicação no solo de lodos das ETAs, se a estação de tratamento utilizar como coagulante o Sulfato de ferro, pois o ferro é vital para o desenvolvimento das culturas de cítricos.

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

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

Impactos negativos:

- Contaminação por metais pesados: os solos já contêm metais pesados em função de sua formação geológica ou pelo aporte de insumos químicos, pesticidas e poluição atmosférica e hídrica. Deve ser considerado o efeito cumulativo no solo e a absorção de metais pelo solo e plantas.
- Atração de insetos vetores: alguns insetos são potenciais transmissores de agentes infectantes quando do contato com o homem. O aumento da frequência de insetos a locais de aplicação de lodo pode ocorrer quando o lodo não está bem estabilizado.
- Emissão de odores: consequência da má estabilização do lodo, a presença de odor ofensivo pode ser fator de não aceitação do produto pelos agricultores.

3 Metodologia

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

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

3.1 Coletas e preparo das amostras

As amostras do lodo foram coletadas, acondicionadas e encaminhadas ao Laboratório Terra Análises para Agropecuária localizado em Goiânia, Goiás, em Agosto de 2016.

As amostras do lodo foram secadas a uma temperatura de 60°C até peso constante.

3.2 Análises Realizadas

Na Tabela 1 constam as análises químicas realizadas e suas metodologias.

Tabela 1 - Análises Químicas dos componentes do Lodo

Elementos Químicos	Métodos de Análises Químicas
K ₂ O	Método por fotometria de chama
P ₂ O ₅	Método espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico
N	Macro método da liga de Raney
Ca	Método espectrométrico por absorção atômica
Mg	Método gravimétrico do pirofosfato
S	Método gravimétrico do sulfato de bário
Cu	Método espectrométrico por absorção atômica
Fe	Método espectrométrico por absorção atômica
Mn	Método espectrométrico por absorção atômica
Zn	Método espectrométrico por absorção atômica

3.3 Metais Pesados

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.

Do ponto de vista ambiental, o metal pesado é aquele que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos. Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Tais elementos são encontrados naturalmente nos solos, porém em concentrações inferiores às consideradas tóxicas aos seres vivos. Alguns deles são necessários a organismos vivos, como As, Co, Cr, Cu, Se, Zn, porém esta necessidade se restringe a doses pequenas, daí o conceito de micronutrientes, como Zn, Mg, Co e Fe. Acima de determinadas concentrações limites, estes elementos tornam-se tóxicos. Já elementos como Pb, Hg, Cd não existem naturalmente em nenhum organismo, sendo sua presença prejudicial em qualquer concentração. A Tabela 2 apresenta de forma resumida as fontes de contaminação de alguns metais pesados e seus respectivos distúrbios à saúde humana (CESÁRIO SILVA et al, 2001).

3.4 Disposição Controlada em Solos

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

3.5 Quanto à composição do lodo

De acordo com a Cetesb (1999), os lodos que contenham metais em concentrações superiores aos limites estabelecidos na Tabela 2, não são aceitáveis para a aplicação em solo agrícola.

Tabela 2 – Concentrações limites de metais no lodo (CETESB, 1999)

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

3.6 Limites de acumulação de metais no solo

Para a reaplicação do lodo deverão ser respeitados os limites apresentados na Tabela 3. 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).

Tabela 3 - Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas (CETESB, 1999)

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

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.

3.7 Aproveitamento do Lodo da ETA em blocos cerâmicos

Foram feitas pesquisas bibliográficas que tratam da utilização do lodo gerado em estações de tratamento de água em blocos cerâmicos. Conforme estudos realizados por Silva (2014), teve como foco a fabricação de 25 blocos cerâmicos de oito furos, nas dimensões 9x19x29cm (largura, altura e comprimento respectivamente), com a incorporação de lodo para análise de suas características físicas e mecânicas.

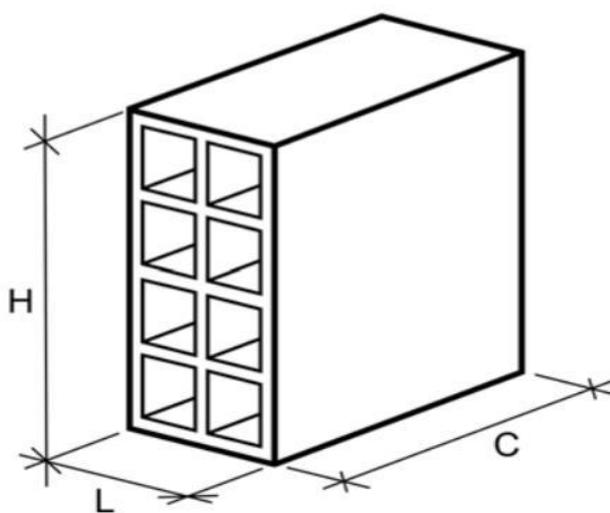


Figura 9- Bloco Cerâmico de Vedação

As proporções que foram estudadas e tidas como referência trabalhos já realizados sobre o assunto, são as que seguem na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Proporções de Lodo a serem analisadas

Proporção	Nomeação Adotada	Porcentagem de Lodo Acrescentada (%)
1	PI	0
2	PII	2
3	PIII	4
4	PIV	6
5	PV	8
6	PVI	10
7	PVII	12
8	PVIII	14
9	PIX	16
10	PX	18

Foram realizadas pesquisas bibliográficas através de trabalhos já realizados sobre o assunto (artigos, teses, sites, normas e das legislações ambientais vigente no país). Sendo que atualmente só temos a resolução do CONAMA nº 375/2006, que autoriza o uso do lodo para fins agrícolas.

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 estação de tratamento de água 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.

Faustino et al. (2005), avaliaram a viabilidade do lodo 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 da estação de tratamento de água 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 está 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 da estação de tratamento de água 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 ETA 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 da estação de tratamento de água.

Tijolos ecológicos correspondem a uma inovação na área de materiais de construção, sendo estes materiais capazes de provocar uma revolução nas estruturas de alvenaria. Essas peças visam a sustentabilidade e a preocupação com a preservação do meio ambiente.

Um dos grandes atrativos dos tijolos ecológicos são os seus baixos índices de poluição, pois não utilizam argila pura, que é extraída do fundo de várias encostas de rios, impactando a vegetação ao seu redor.

Segundo Santos et al. (2009), esse tijolo possui inúmeras vantagens, podendo economizar de 30 a 50% o custo total de uma construção. Entre as inúmeras vantagens temos que: o tijolo não passa pelo processo de queima, apresenta maior resistência mecânica, possui maior isolamento acústico e térmico, combate a umidade e possui um menor peso.

Com relação às características físicas, os resultados devem ser analisados de forma particular (bloco por bloco) para o índice de absorção d'água (AA), onde não deve ser inferior a 8% nem superior a 22% conforme a NBR 15.270-1 (2005).

De acordo com Silva (2014), os ensaios de absorção de água foram realizados em suas etapas, quando o lodo estava seco, para obtenção de sua massa seca e no seu estado saturado, em que o bloco fica 24 horas imersas a um tanque com água para posteriormente ser realizado as pesagens das massas úmidas dos blocos. Nas Tabelas 5, 6, 7, 8, 9 e 10 é possível observar os índices e a conformidade ou não com a norma, nas proporções I, II, III, IV, V e VI respectivamente.

Tabela 5 - Índices de Absorção d'água com 0% de adição de lodo

Proporção e Número da Amostras	Porcentagem de Lodo Adicionado (%)	Absorção de Água (%)	Conforme a NBR 15.270-1
PI - 1	0	14	Conforme
PI - 2		19	Conforme
PI - 3		16	Conforme
PI - 4		17	Conforme
PI - 5		18	Conforme

Tabela 6 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 2% de adição de lodo.

Proporção e Número da Amostras	Porcentagem de Lodo Adicionado (%)	Absorção de Água (%)	Conforme a NBR 15.270-1
PI - 1	2	18	Conforme
PI - 2		17	Conforme
PI - 3		17	Conforme
PI- 4		17	Conforme
PI - 5		18	Conforme

Tabela 7 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 4% de adição de lodo

Proporção e Número da Amostras	Porcentagem de Lodo Adicionado (%)	Absorção de Água (%)	Conforme a NBR 15.270-1
PI - 1	4	14	Conforme
PI - 2		19	Conforme
PI - 3		16	Conforme
PI- 4		17	Conforme
PI - 5		18	Conforme

Tabela 8 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 6% de adição de lodo

Proporção e Número da Amostras	Porcentagem de Lodo Adicionado (%)	Absorção de Água (%)	Conforme a NBR 15.270-1
PI - 1	6	21	Conforme
PI - 2		18	Conforme
PI - 3		18	Conforme
PI- 4		21	Conforme
PI - 5		22	Conforme

Tabela 9 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 8% de adição de lodo.

Proporção e Número da Amostras	Porcentagem de Lodo Adicionado (%)	Absorção de Água (%)	Conforme a NBR 15.270-1
PI - 1	8	24	Não conforme
PI - 2		22	Conforme
PI - 3		17	Conforme
PI- 4		18	Conforme
PI - 5		17	Conforme

Tabela 10 - Índices de Absorção d'água dos blocos com 10% de adição de lodo.

Proporção e Número da Amostras	Porcentagem de Lodo Adicionado (%)	Absorção de Água (%)	Conforme a NBR 15.270-1
PI - 1	10	16	Conforme
PI - 2		24	Não conforme
PI - 3		20	Conforme
PI- 4		20	Conforme
PI - 5		23	Não conforme

Como pode ser observado nas Tabelas apresentadas acima, é possível perceber que as proporções V e VI estão em desconformidade, pois em uma e duas de suas amostras, respectivamente, apresentaram valores superiores ao exigido na NBR 15.270-1 (2005). Isso pode ter ocorrido pelo fato que nestas duas proporções tem maior quantidade de lodo na amostra, em que no momento da queima destes blocos e com a grande presença de matéria orgânica, houve a destruição da mesma por conta da alta temperatura do forno, fazendo com que o bloco apresenta-se maior porosidade, conseqüentemente, maior absorção de água.

O peso do lodo seco gira em torno de 988,3 kg/m³ a 1029 kg/m³, portanto a média deste peso é:

$$\text{Peso médio do lodo (kg/m}^3\text{)} = \frac{988,3+1029}{2}$$

Portanto:

$$\text{Peso médio do lodo (kg/m}^3\text{)} = 1008,65 \text{ kg}$$

O lodo gerado na ETA VI por ano corresponde a 832.136,25 kg, visto que 1 m³ corresponde a 1008,65 kg, e durante doze meses a produção em metros cúbicos de lodo corresponde a 825 m³.

Os lodos mais indicados para a fabricação de tijolos, são compostos de argila, silte, areia, coagulantes e matéria orgânica removidos durante o tratamento de água. A presença de cal no lodo, por outro lado, compromete a qualidade do tijolo produzido, inviabilizando a sua aplicação.

Lodos contendo hidróxidos de ferro ou bário, atribuem ao tijolo uma coloração avermelhada, desejada pelos fabricantes.

A aplicação deste tipo de lodo pode ser realizada durante o processo de fabricação do tijolo ou diretamente na própria jazida onde a argila é retirada. Normalmente, para aplicação nas jazidas, o lodo desidratado é transportado e aplicado na proporção de 10% de lodo e a mistura com a argila é realizada em loco. Na maioria dos casos, a aplicação direta em jazidas não requer a utilização de equipamentos ou maquinários além dos comumente utilizados na extração de argila.

A aplicação durante o processo de fabricação exige maior cuidado na fase de introdução do lodo no processo, exigindo adaptações e aquisição de unidades de estocagem, dosadores, além do sistema de introdução do lodo propriamente dito. O teor de umidade do lodo é parâmetro importante para determinar o manuseio do lodo.

Quando o lodo com alta umidade é aplicado durante o processo, pode prejudicar o caminhamento dos componentes de fabricação, obstruindo passagens ou aderindo-se às partes do sistema. Para aplicação direta, umidade maior que 20% é desejável. Para aplicação durante o processo muitos fabricantes exigem um teor de umidade maior ou igual a 50%.

Retração é um parâmetro de decréscimo de tamanho resultante da secagem ao ar ou ao forno. As argilas naturais têm normalmente retração ao ar de 2 a 8% e retração ao forno de 2,5

a 10%. Em algumas localidades, a retração do lodo pode chegar a 20%, limitando assim a proporção em que o lodo é aplicado. Quanto mais a granulometria do lodo for similar à da argila, melhor sua aplicabilidade. Por outro lado, quanto maior o teor de areia, maior será seu impacto negativo na qualidade final do tijolo.

No Brasil, não existe uma legislação que regulamenta o uso do lodo como material na construção civil. Contudo, a NBR 10.004 (2004) pode fornecer os parâmetros para análise do risco ambiental para este tipo de destinação, vendo que após o seu uso, os materiais de construção civil também se tornam um resíduo. Ela também estabelece os critérios de classificação dos resíduos de acordo com seu grau de risco. Essa classificação é em função das suas características químicas, físicas e dos organismos infectocontagiosos existentes no lodo.

4.2 Aplicação do lodo da ETA VI 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 estação de tratamento de água 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).

Na Tabela 11, temos a concentração dos principais nutrientes gerado pela estação de tratamento de água, localizada na cidade de Palmas – TO.

Tabela 11 - Concentração dos principais nutrientes gerados na ETA

Amostra	K (%)	N (%)	P (%)
Lodo	0,29	0,6	0,74

Para encontrar a taxa de aplicação máxima anual de lodo da estação de tratamento de água, analisamos a quantidade recomendada de nutriente para um latossolo vermelho localizado na cidade de Palmas – TO. Segundo Raij et al. (1996), 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:

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

Portanto:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{150 \text{ (kg/ha)}}{6 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 25$$

Aplicando a mesma fórmula para o Potássio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{58,80 \text{ (kg/ha)}}{2,9 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 20,28$$

Aplicando a mesma fórmula para o Fósforo:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{48,80 \text{ (kg/ha)}}{7,4 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 6,59$$

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 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 6,59 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 da estação de tratamento de água 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).

Na Tabela 12, temos a concentração dos principais nutrientes gerado pela estação de tratamento de água, localizada na cidade de Palmas – TO.

Tabela 12 - Concentração de Metais pesados no Lodo da ETA

Amostra	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Lodo	23	148

Calculou-se a quantidade de lodo necessário para que ocorra a incorporação dos nutrientes no solo:

- Cobre (Cu): Máximo de 75,00 kg/ha, na amostra temos 23 mg/kg.

$$\text{Calculando: } 23 \times 10^{-6} / x = 1 \text{ kg} / 6.590 \text{ kg/ha}$$

$$X = 0,152 \text{ kg/ha}$$

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

$$\text{Calculando: } 148 \times 10^{-6} / x = 1 \text{ kg} / 6.590 \text{ kg/ha}$$

$$X = 0,975 \text{ kg/ha}$$

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 estação de tratamento da água. 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.

A concentração de metal pesado no solo também não excedeu o limite estabelecido pela CETESB, pois aplicando 6,59 t/ha de lodo no solo e usando esse valor como uma variável não houve excesso de metais pesados.

Percebeu-se que no processo a fabricação de blocos cerâmicos para vedação com incorporação do lodo, os blocos que possuem viabilidade técnica para o quesito físico (absorção de água), são os que apresentaram as proporções 2%, 4% e 6% de lodo, e nas exigências mecânicas, as proporções 2%, 4% e 10% de lodo. Já nas características geométricas, as proporções de lodo que melhor atendeu as exigências da norma foram 2% e 4%.

Logo, tanto os blocos confeccionados apenas com argila como os com incorporação de lodo possuem, em determinados aspectos, incoerências em relação às normas técnicas vigentes, portanto, as inviabilidades conforme as normas devem-se à forma pela qual se procede a mistura, às matérias-primas e/ou ao processamento de fabricação utilizado e não necessariamente à incorporação de lodo.

As adições de lodo na confecção dos blocos não afetaram o desempenho dos mesmos frente aos ensaios normalizados, sendo observados melhores resultados com adição crescente até 10% de lodo a massa cerâmica. A utilização de lodo na indústria de produtos cerâmicos mostrou-se viável tecnicamente, no limite de 15% da massa cerâmica. No caso da ETA esteja localizada a uma distância inferior a região de extração de insumos argilosos (argila gorda), é possível que também se justifique a viabilidade econômica desta utilização.

Sob o ponto de vista ambiental a utilização de lodo em escala industrial poderá evitar a disposição deste tipo de resíduo em corpos receptores que causam assoreamento dos rios,

impacto no crescimento de plantas aquáticas, alteração das propriedades físico-químicas da água.

6 Referências Bibliográficas

ACHON, C.L; CORDEIRO, J. S. Análise crítica de implantação de sistemas naturais de remoção de água livre de lodo. Trabalho apresentado no 22º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental-Santa Catarina: ABES, 2003;

ANDREOLI, C. V. (Coordenador); Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento. Rio de Janeiro, ABES, 2001. 417 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-3: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. M. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitos de Secagem e Codisposição em Aterros Sanitários. In: ANDREOLI, C. V. (coord.) Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Rio de Janeiro: RIMA / ABES / PROSAB, 2001. cap. 9, p. 215-244.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 2914 de 11 dez. 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez. 2011.

BUTTLER, A. M.; SALES, A. Gerenciamento de Lodos de ETAs – Remoção de água através de leitos de secagem e codisposição da fase sólida em matrizes de cimento e resíduos da

construção civil. São Carlos: UFSCar/Departamento de Engenharia Civil, 2000.83p. Relatório de Estágio Supervisionado.

CETESB. Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico. Norma Técnica CETESB P4.230, São Paulo, 1999. 33 p.

CORDEIRO, J. S. Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (coord.) Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Rio de Janeiro: RIMA / ABES / PROSAB, 2001. cap. 5, p. 121-142.

COSTA, Álvaro J. C. da. Análise da Viabilidade da Utilização de Lodo de ETA Coagulando 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. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2011.

COSTA, Álvaro José Calheiros da. Análise de viabilidade da utilização do lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo de concreto para recomposição de calçadas: Estudo de caso na ETA do Município de Mirassol. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, UFSCar, São Carlos, 2011.

FONTES, C. M. A. Potencialidades da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como Material Suplementar para a Produção de Concretos com Cimento Portland. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

GEYER, A.L.B., Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto. Tese de D.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2001.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo, São Paulo, v. 2, n. 1, p.79-89, nov. 2013. Disponível em: Acesso em: 13/03/2016

GONÇALVES, J.P., Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos, Tese de M.Sc., UFRG, Porto Alegre, RS, Brasil, 2000.

ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo IBRACON, 2011.

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

LENZI et al. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais Joinville, Brasil. 2003. CD ROM.

MEGDA, C.R; SOARES, L. V; ACHON, C. L; 2005. Proposta de aproveitamento de lodos gerados em ETAS. Anais do 23º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental- São Paulo;

MEGDA, Cláudia Regina; SOARES, Leonardo Vieira; ACHON, Cali Laguna. Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Campo Grande 18 a 23 de setembro 2005.

Mitchell, T. N.; Horst Rauchfuss (2008). *Chemical evolution and the origin of life* (em inglês) Springer [S.l.] p. 362. ISBN 978-3-540-78822-5.

REALI, M.A.P. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estacoes de Tratamento de Água. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 1999. 240 p

REALI et al. (1999). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB (1999), Rio de Janeiro: ABES, 250p.

RICHTER, Carlos. Tratamento de lodos de estação de tratamento de água. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 784 p.

RICHTER, Carlos; AZEVEDO NETTO, José de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 332 p.

RICHTER C.A (2001). Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Editora Edgard Blucher

RIGO, M.M, et, al. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuais domésticas no Brasil. *Gaia Scientia* (2014) Volume 8 (1): 174-186

SILVA, Manoel Rodrigues da Incorporação de lodo de estações de tratamento de água (ETAs) em tijolos de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Faculdade de Aracruz, Aracruz, 2009.

TALLINI JUNIOR, Vanderlei Mateus. Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de lodo de estações de tratamento de água, micro esferas de vidro de jateamento, sai de neutralização de ácidos de baterias e areia de fundição. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência Dos Materiais, UFPR, Curitiba, 2009.

TARTARI, Rodrigo. Incorporação de lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Unioeste, Toledo, 2008.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; HIRATA, Angélica Yumi. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de são paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.2001, João Pessoa. Anais... . João Pessoa: Abes, 2001. p. 01 - 09.

VON SPERLING (2000). <http://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/> Disponível em: Acesso em: 15/03/2016