



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO COMO MATERIAL CONDICIONANTE

Rodrigo Nobre de Araújo¹; Leonardo Ramos da Silveira²

RESUMO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi explicitar as técnicas e tecnologias empregadas no tratamento de esgoto em sua fase líquida e sólida, apresentando o processo de tratamento ao qual deve ser destinado o lodo que será submetido ao reaproveitamento. A metodologia utilizada deu-se através de revisão bibliográfica, apresentando as alternativas de disposição final para reaproveitamento do lodo, ao qual a pesquisa aborda, tendo o foco no desempenho mecânico do solo condicionado com o lodo in natura e após a sua incineração (calcinação). Foi observado que adicionando o lodo calcinado ao solo houve aumento do módulo de elasticidade de forma linear, tendo uma boa aplicação do mesmo em solos, aumentando a sua rigidez e tendo a tensão axial na ruptura drasticamente afetada pelo reforço e pelo confinamento, conseguindo alcançar uma boa resistência. Também pode-se notar maior economia com menor espessura das camadas de base e sub-base na pavimentação utilizando do lodo in natura. Assim, obtendo resultados satisfatórios, no qual o lodo pode ser usado como aditivo estabilizante no solo.

Palavras-chave: estabilização do solo, lodo calcinado, lodo de ETE, disposição final

ABSTRACT

The objective of this work was to explain the techniques and technologies used in the treatment of sewage in its liquid and solid phase, presenting the treatment process to which the sludge should be destined to be subject to reuse. The methodology used was given through a literature review, presenting the alternatives of final disposal for reuse of the sludge, to which the research addresses, focusing on the mechanical performance of the conditioned soil with the sludge in natura and after its incineration (calcination). It can be observed that in addition to the calcined sludge to the soil, increase of the modulus of elasticity in a linear way, having a good application, increasing its rigidity and having an axial tension in the rupture drastically affected by the reinforcement and the confinement, achieving good resistance. It is also possible to notice greater economy with lower thickness of the base and sub-base layers in the pavement using the sludge in natura. Thus, obtaining satisfactory results, in which can be used as stabilizing additive in the soil.

Keywords: soil stabilization, calcined sludge, ETE sludge, final disposal

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. e-mail: rodrigonobre38@gmail.com

² Engenheiro Civil autônomo, formado na Universidade Paulista de Brasília. e-mail: rodrigonobre38@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) podem ser compreendidas como o conjunto de instalações e equipamentos destinados a realizar o tratamento de esgoto sanitário, no qual se consiste de grades, caixas de areia, decantador primário, lodos ativados e/ou filtro biológico, decantador secundário e secagem do lodo proveniente dos decantadores. Esse processo apresenta custos altos para sua construção, pois requer grandes estudos para sua implantação, mas requer pouca área e possui altos índices de eficiência.

Desde a implantação de uma Estação de Tratamento de Esgotos, um novo problema ambiental é gerado: a disposição que será dada ao lodo de esgoto, resíduo produzido durante o processo de tratamento das águas residuárias, no qual possui alto índice de matéria orgânica. Este problema é de contexto mundial, pois tais resíduos apresentam certo grau de complexidade em sua gestão (ARAÚJO; SILVEIRA, 2017).

A composição do lodo pode variar muito em função da origem do esgoto: Basicamente, o lodo de esgoto é composto de matéria orgânica e metais pesados como o cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni),

chumbo (Pb), entre outros elementos (SPERLING, 2005).

Segundo Pegorini *et al.* (2003) a disposição final do lodo de esgoto se configura como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes atualmente, e que aumenta diariamente como reflexo da ampliação das redes de coleta de efluentes urbanos e acréscimo dos níveis de tratamento.

As formas mais conhecidas de disposição final do lodo são o aterro sanitário; reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva e incineração com resíduos sólidos urbanos); disposição oceânica; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração); “landfarming” (tratamento no solo) e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem e fertilizante) (SPERLING, 2005).

Segundo Silveira (2014) existem diversas técnicas para a disposição do lodo de esgoto, sendo que grande parte das vezes o processo não utiliza técnicas corretas de engenharia, o que pode acarretar serias consequências para o meio ambiente em função da migração dos contaminantes contidos no lodo para o solo e os lençóis de água subterrânea, além de

poder mudar as características físicas do solo local.

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, ao instituir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, foca na solução para os resíduos sólidos, na qual a gestão dos resíduos deve ser desenvolvida através de um conjunto de ações considerando as dimensões políticas, ambientais, sociais, culturais e econômicas sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Diante da necessidade de preservação ambiental ao se destinar corretamente os resíduos sólidos resultantes do tratamento de esgoto, surge o desafio de se encontrarem formas economicamente viáveis e ecologicamente seguras para reutilizar o lodo, reintegrando um produto de descarte ao ciclo produtivo (GODOY, 2013).

Visando a preservação ambiental e a reutilização do lodo de esgoto, alguns estudos tem demonstrado a viabilidade da utilização de lodo calcinado como aditivo ou condicionante de solos, tais como demonstrados por: desempenho mecânico do solo condicionado com lodo de esgoto calcinado (MADALOZZO, 2008); lodo de esgoto: algumas aplicações em Engenharia (FEITOSA, 2009); estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimento (PEREIRA, 2012); Avaliação do uso de lodo de estação de

tratamento de esgoto na estabilização de materiais para pavimentação (KELM, 2014); Reaproveitamento de resíduos de ETA e ETE em obras de engenharia (ARAÚJO; SILVEIRA, 2017).

Seguindo as diversas referências, uma das alternativas é utilizar o lodo in natura e principalmente incinerado para condicionar o solo, pois no processo de incineração do lodo (calcinação) ocorre grande eliminação de sua matéria orgânica, restando apenas suas cinzas. As cinzas do lodo incinerado, por sua vez, possuem alto teor de fração argilosa devido à sua granulometria ser classificada como fina, fazendo com que o material apresente características de materiais pozolânicos, e podendo assim ser usada para melhorias nas propriedades mecânicas e hidráulicas de solos (ARAÚJO; SILVEIRA, 2017).

Com isso, foi objetivo deste trabalho, apresentar as principais aplicações e pesquisas realizadas para alternativas mais sustentáveis e benéficas para a reutilização do lodo, visando as potencialidades tanto do lodo bruto quanto da cinzas como estabilizante do solo, para possíveis melhorias de suas propriedades mecânicas e hidráulicas, no qual potencialmente poderá trazer grandes benefícios para fins de Engenharia, e conseqüentemente diminuir a poluição que seria gerada pelo descarte inadequado do lodo de esgoto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tratamento de Esgoto

As consequências da produção ilimitada de resíduos foram à quebra do ciclo de transformação da matéria, com o qual a natureza procedia a sua regeneração, surgindo o fenômeno da poluição nas suas diversas formas. Os resíduos sólidos e líquidos urbanos como lixo e resíduos de processos de tratamento de efluentes sanitários ou industriais passaram a ser, entre outros, agentes causadores da poluição nas grandes áreas urbanas (GEYER, 2001).

As Estações de Tratamento de Esgoto – ETE convencionais tem por finalidade, promover o tratamento de esgotos domésticos e/ou industriais, propiciando condições de serem lançados aos corpos receptores (rios, riachos, lagos e mares) sem que haja a poluição e contaminação do mesmo, para isso devem-se verificar alguns parâmetros de qualidade.

Sendo os parâmetros classificados em:

- Físicos: cor, turbidez, sabor e odor.
- Químicos: pH, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, metais e matéria orgânica.
- Biológicos: organismos indicadores, algas e bactérias.

- Para o tratamento do lodo de esgoto, o seu principal objetivo é tornar o produto mais estável e com menor volume, facilitando assim seu manuseio e conseqüentemente reduzindo os valores gastos nos processos subsequentes. Este tratamento é efetuado através de processos físicos, químicos e biológicos.
- Segundo Von Sperling (2005), esses processos de tratamento se definem por:
 - Processo físico: método no qual consiste na aplicação por forças físicas (gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação, filtração).
 - Processo químico: este método consiste na remoção de contaminantes através da adição de produtos químicos ou devido a reações químicas (precipitação, adsorção, desinfecção).
 - Processo biológico: a remoção de contaminantes se dá através de atividades biológicas (remoção da matéria orgânica carbonácea, nitrificação, desnitrificação).

Segundo Silveira (2014), o tratamento de esgoto visa diminuir a capacidade poluidora e contaminante, sendo que diversas configurações de tratamento podem ser estabelecidas em

função do: impacto ambiental do lançamento no corpo receptor; objetivos do tratamento (principais constituintes a serem removidos); nível de tratamento e eficiências de remoção desejada.

Mesmo apresentando uma composição predominante de parte líquida, a pequena composição da parte sólida (lodo de esgoto) apresenta enorme capacidade de poluição e contaminação ao meio ambiente, em função das suas características físico-químicas e biológicas (SILVEIRA, 2014).

A definição de métodos específicos de tratamento de lodos varia com os processos de pré-tratamento, com a disposição final aplicada e com o teor de umidade requerido pela prática de disposição (ANDREOLI et al., 1998).

O sistema de tratamento muito empregado nas ETEs é o biológico, por ser bastante semelhante ao processo de degradação que ocorre normalmente na natureza, mas de maneira mais rápida. Nesse processo os microrganismos presentes no próprio esgoto degradam a matéria orgânica.

Os processos físico-químicos podem ser utilizados para remover, cor e turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais pesados, óleos e matéria orgânica (LINS, 2010).

Ainda segundo Lins (2010) os processos químicos podem ser

classificados como o tipo de tratamento no qual se utiliza de produtos químicos, e frequentemente é utilizado em associação com outros tipos de tratamento (físicos e biológicos). A necessidade de se utilizar de processos químicos se dá para se elevar a eficiência ou quando os processos físicos e biológicos não atendem ou não atuam eficientemente nas características que se pretende reduzir ou remover.

2.1.1 Tratamento da fase líquida

Segundo Von Sperling (2005), o tratamento de esgoto na fase líquida é usualmente dividido através dos seguintes processos:

- Preliminar: Este processo ocorre unicamente por processos físicos, na qual a remoção de sólidos grosseiros é feito pelo gradeamento e a remoção de areia através do processo de desarenação.
- Primário: No tratamento primário ocorre a remoção de sólidos sedimentáveis através de processos físico-químicos.
- Secundário: Objetiva a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutriente (nitrogênio e fósforo), devido às reações bioquímicas, no qual pode ser por processo Aeróbico ou Anaeróbico. Os processos Aeróbicos necessitam de aeração para que se obtenha o oxigênio necessário para

que os microrganismos possam decompor as partículas finas em suspensão. Já o processo Anaeróbico ocorre a estabilização por microrganismos que independem de oxigênio para sobreviver no meio.

- Terciários ou Pós-Tratamento: Etapa na qual se busca remover poluentes específicos (tóxicos ou que não podem ser biodegradados), ou para complementar a remoção de poluentes que não foram removidos no processo secundário.

De acordo com Von Sperling (2005), os principais sistemas de tratamento de esgoto a nível secundário são:

a) Sistemas de lagoas de estabilização: lagoas Facultativas, sistema de lagoas anaeróbias - lagoas facultativas, lagoas aeradas facultativas, sistemas de lagoas aeradas de mistura completa, lagoas de alta taxa, lagoas de maturação, lagoas de polimento.

b) Sistema de lodos ativados: lodos ativados convencionais, lodos ativados por aeração prolongada, lodos ativados de fluxo intermitente (batelada).

c) Sistemas de filtros biológicos: filtros biológicos percoladores de baixa carga, filtros biológicos de alta carga, biofiltro aerados submersos, biodiscos.

2.1.2 Tratamento da fase sólida

a) Adensamento do lodo: adensamento por gravidade, adensamento por flotação

b) Estabilização do lodo

c) Condicionamento e desidratação do lodo: secagem natural, secagem mecanizada, desinfecção ou higienização do lodo

Os lodos de esgoto em geral são ricos em matéria orgânica, micronutrientes, fósforo e nitrogênio.

Segundo Von Sperling (2005), o reator anaeróbico de fluxo ascendente também conhecido como reator UASB, se constitui de unidades únicas seguidas de alguma forma de pós-tratamento. Nos reatores UASB a biomassa cresce dispersa no meio e não aderida a um meio suporte, sendo que a própria biomassa ao crescer se torna o meio suporte para outras bactérias, isso faz com que o processo tenha uma eficiência maior, mas não é fundamental para o funcionamento do reator.

O fluxo do líquido é ascendente, ou seja, o lodo entra no fundo e se encontra com o leito de lodo, o que ocasiona uma adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa (VON SPERLING, 2005).

Como resultado do processo anaeróbico há a formação de gás metano e gás carbônico. Devido à retenção de

grande parte da biomassa no sistema, o tempo de detenção hidráulica é bastante reduzida chegando a ser em média de 6 a 10h.

De acordo com Von Sperling (2005), o processo de lagoas facultativas é o mais simples, pois é essencialmente natural, não necessitando de nenhum equipamento. Por esta razão, o processo de estabilização da matéria orgânica se processa mais lentamente, chegando a ficar detido na lagoa por mais de 20 dias. Uma desvantagem desse processo é a necessidade da utilização de grandes áreas para que se tenha o melhor aproveitamento da energia solar.

Logo após o efluente entrar na lagoa, a matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) o lodo começa a se sedimentar no fundo da lagoa, esse sofre tratamento anaeróbio.

Já a matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) e a em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) permanecem dispersas no meio líquido, esses sofrem tratamento por meio aeróbio devido estar em zonas mais superficiais da lagoa. Na zona aeróbia há a necessidade da presença de oxigênio, no qual é obtido por meio de trocas gasosas da superfície líquida com a atmosfera e pela fotossíntese realizada pelas algas presentes, no qual há a necessidade de suficiente

iluminação solar (VON SPERLING, 2005).

Na zona aeróbia há um equilíbrio entre o consumo de oxigênio e a sua produção através da fotossíntese realizadas pelas algas, na qual as bactérias consomem o oxigênio e produzem gás carbônico, e as algas consomem gás carbônico e produzem oxigênio.

Nas lagoas de maturação, o principal objetivo das é a remoção de organismos patogênicos. As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos convencionais como a cloração (VON SPERLING, 2005).

Segundo Von Sperling (2005), as lagoas de maturação possuem elevadas taxas de remoção de coliformes e helmintos (99,999%), isso se deve aos diversos fatores contribuintes como a temperatura, insolação, pH, escassez de alimento entre outros fatores.

2.1.3 Processos de geração de lodo em uma estação de tratamento de esgoto

Como “sub-produto” do tratamento de esgoto tem-se o lodo de esgoto, após sofrer estabilização e redução de patógenos e apresentar qualidade para sua reutilização é denominado de biossólido. O Lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o

tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

A produção de lodo a ser gerado se dá exclusivamente ao sistema de tratamento utilizado para a fase líquida. Em princípio todos os processos de tratamento biológico geram lodo. Os processos que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram o lodo primário, no qual é composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto advindas da etapa biológica de tratamento, tem-se assim denominado lodo secundário, lodo biológico ou lodo excedente. O lodo primário pode ser enviado para o tratamento juntamente com o lodo secundário, gerando assim o lodo misto. Em sistemas de tratamento que incorporam uma etapa físico-química, tem-se o lodo químico (VON SPERLING, 2005).

Segundo Andreoli et al. (1998) os processos que produzem quantidades menores de lodo são os anaeróbios. A quantidade de lodo gerado também depende do tipo de tratamento que se é utilizado na ETE, sendo que no Brasil, enquanto os sistemas aeróbios de lodo ativado produzem 37 g de lodo·hab.dia⁻¹ os sistemas anaeróbios produzem apenas 15 g de lodo·hab.dia⁻¹.

O lodo de esgoto não deve ser considerado como um simples resíduo,

porquanto suas características físico-químicas o tornam um excelente condicionador do solo. O lodo de esgoto passa a ser entendido como biossólido, ou seja, como o lodo resultante do tratamento biológico dos esgotos, de modo a permitir o seu manuseio de forma segura. (MADALOZZO, 2008).

3. ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO

Com a aplicação dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, que vem ocorrendo no Brasil, surge um problema para o qual ainda não existem soluções definitivas, a forma de disposição final segura dos lodos sanitários, que são os resíduos sólidos advindos deste processo. Nesta pesquisa estudam-se as possibilidades de aproveitamento destes resíduos, após serem submetidos à incineração, na indústria da construção, especificamente a sua utilização como adição ao concreto, substituindo parte do cimento Portland (GEYER, 2001).

As Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs geram um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, no qual se denomina lodo de esgoto, cuja adequada disposição final no ambiente deve ser preocupação já no planejamento das ETEs. 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 dos efluentes. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas seguras e factíveis para que esse resíduo não se transforme em novo problema ambiental (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Segundo Campos (1999), na definição de alternativas da disposição final do lodo, devem-se levar em conta os aspectos econômicos e potenciais impactos ambientais.

Os custos das principais alternativas de disposição final são bastante variados,

mas podem ser avaliados pelos dados apresentados no Quadro 1.

A disposição final dos resíduos sólidos do tratamento dos esgotos sanitários domésticos tem se tornado um grave problema ambiental, porque se por um lado promove-se o saneamento básico e a saúde pública com o tratamento dos esgotos, por outro se gera nos processos compostos indesejáveis devidos á alta carga poluidora e patogênica que carregam (GEYER, 2001).

Quadro 1 – Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto

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

Fonte: ANDREOLI et al. (2006)

Ainda segundo GEYER (2001), em casos de países em desenvolvimento, onde são escassos os recursos para a coleta e tratamento de esgotos, os sistemas são em grande parte mistos, isto é, coletam-se numa mesma rede os esgotos cloacais domésticos e os pluviais.

Há muitos anos o aproveitamento do lodo já é feito em outros países, sendo o reuso agrícola o método mais empregado, mas no Brasil as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas e a destinação mais comum é o aterro sanitário (GODOY, 2013).

As principais formas de disposição final do lodo de esgoto são:

Disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos):

- Se consiste na disposição do lodo em valas compactadas e recobertas de solo até seu total preenchimento, e então são seladas. Pode ser disposto de forma exclusiva ou co-disposto com resíduos sólidos urbanos. A localização deve ser próxima a centros urbanos onde o lodo é gerado, e deve-se considerar que, após a desativação e o selamento, os aterros poderão produzir gases que deverão ser adequadamente drenados, sendo essas áreas com restrições de uso (CAMPOS, 1999).
- Reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento): Segundo Andreoli et al.(2006) uma alternativa viável de destinação adequada do lodo seria sua utilização na fabricação de produtos cerâmicos (telhas, tubos, lajotas e tijolos). Este lodo é adicionado na etapa da preparação da massa cerâmica e auxilia na correção da umidade.
- Incineração (incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos): Processo de decomposição térmica via oxidação, no qual os sólidos

voláteis são queimados, convertendo-os em dióxido de carbono e água e boa parte dos sólidos fixos se transforma em cinzas.

- Disposição oceânica: Define-se por dispor os esgotos após ser pré-condicionado no mar através de navios lameiros.

De acordo com Campos (1999), a disposição oceânica se deve primeiramente às condições da água dos oceanos terem grande capacidade de tamponamento para substâncias ácidas ou alcalinas, a segunda por sua grande capacidade de diluição. Entretanto, é importante que se tenha controle e monitoramento contínuo. Atualmente este tipo de disposição não é mais permitido.

- Recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração): Destinação de altas doses de lodo em locais drasticamente alterados, onde o solo não fornece condições ao desenvolvimento da vegetação, devido à falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo. Este tipo de disposição é bastante utilizado para recuperação de áreas de mineração.
- “Landfarming” (tratamento no solo com ou sem vegetação): Áreas de disposição de resíduos no qual o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo e a parte

inorgânica é transformada ou fixada nesta mesma camada de solo.

- Uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético): De acordo com Bettiol e Camargo (2006), dentre as diversas alternativas que existem para se destinar o lodo de esgoto, o reaproveitamento para fins agrícolas e florestais apresentam-se como uma das mais vantajosas, pois as plantas se beneficiam do alto teor de matéria orgânica e macro e micronutrientes contidos no lodo de esgoto. Por isso é recomendada a sua aplicação como fertilizante ou como condicionador de solo.

Segundo Camargo (1999), o aproveitamento do lodo no uso agrícola apresenta vantagens tanto ao homem quanto ao meio ambiente. No entanto pode trazer riscos relativos ao conteúdo presente no lodo como nitrogênio e agentes patogênicos, e também podem apresentar problemas de odor e atração de vetores.

3.1 Estabilização de solos

Segundo Houben e Guillaud (1994), o termo estabilização do solo se refere a qualquer processo natural ou artificial no qual se objetiva tornar mais resistente o solo tanto à deformação quanto ao

deslocamento. Estes processos consistem em alterar as características do sistema solo-água-ar do solo, visando obter propriedades de longa duração compatíveis para determinadas aplicações em específico.

Segundo Nogamie Vilibor (1995), o solo é um material natural não consolidado, isto é, constituído por grãos separáveis por processos mecânicos e hidráulicos relativamente suaves. O uso de aditivos químicos em solos destinados a construção civil e agrícola tem por objetivo melhorar tanto suas características mecânicas quanto seu comportamento sob a ação da água.

De acordo com Madalozzo (2008), no aspecto da engenharia de construções rurais, os solos podem desempenhar funções tais como: base de sustentação (fundações) e materiais de construção para diferentes aplicações (pavimentos, barragens, aterros, tijolos e blocos). O solo deve apresentar propriedades físicas e mecânicas relacionadas à estabilidade volumétrica, resistência e durabilidade para qualquer tipo de utilização do mesmo, sendo que os solos argilosos em geral não apresentam as propriedades estabilizadas, então há a necessidade de efetuar sua estabilização.

As formas mais comumente utilizadas na estabilização de solos são a

estabilização com Cal, estabilização com cimento, estabilização com mistura de Cal e cinzas volantes (Fly-ash), estabilização com cloreto de cálcio, estabilização com sulfonato de lignina, entre outros mais. De maneira geral a estabilização ocorrida pela implementação desses produtos se dá através da cimentação dos grãos entre si, e/ou por aumento ou preservação das forças coloidais que unem os grãos entre si.

3.2 Estudos que aplicam lodo de esgoto em solo

Outro meio para se estabilizar o solo seria a utilização do lodo de esgoto, no qual vários estudos vêm sendo feitos e apresentam resultados promissores para a melhoria das propriedades mecânicas e hidráulicas do solo, dentre eles podem ser citados os seguintes trabalhos:

Feitosa (2009) - Lodo de Esgoto: Algumas aplicações em Engenharia: Seus resultados demonstraram uma redução dos índices de vazios, melhorando assim o empacotamento das partículas e reduzindo o grau de colapso do solo para um mesmo peso específico aparente seco.

Madalozzo (2008) - Desempenho mecânico do solo condicionado com lodo de Esgoto calcinado: Foi observado que a adição do lodo calcinado aumentou os

valores do módulo de elasticidade de forma linear. E também se observou efeitos significativos do confinamento. Com isso pode-se dizer que o Lodo de esgoto calcinado possui grande potencial para aumentar a rigidez de solos. A tensão axial na ruptura foi drasticamente afetada pelo reforço e pelo confinamento, aumentando substancialmente sua resistência. E também foi observada que quanto mais se adiciona lodo calcinado ao solo, o composto adquire comportamento de materiais rígidos e conseqüentemente sofrem rupturas nitidamente definidas, com ruptura frágil.

Pereira (2012) - Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos: Seus resultados demonstraram que o solo condicionado com lodo de esgoto calcinado demonstrou uma diminuição da sua massa específica, sendo que a resistência à tração e à compressão da mistura obtiveram resultados satisfatórios, no qual demonstraram um acréscimo de resistência. Pereira (2012) ainda enfatizou que a cinza de lodo pode ser potencialmente usada como um aditivo estabilizante.

Kelm (2014) - Avaliação do uso de lodo de estação de tratamento de esgoto na estabilização de materiais para pavimentação: Em seus resultados, as

misturas com estabilizantes, cal ou cimento, para os dois materiais – solo e pó de pedra - e lodo utilizadas, apresentaram valores maiores de módulo de resiliência, menor expansão e maior economia com menor espessura de base no dimensionamento da pavimentação. Então se concluiu que a mistura composta por lodo in natura, pó de pedra e cimento, apresentou resultados satisfatórios, podendo ser utilizada em camadas de base e sub-base de pavimentos, representando um método alternativo para a redução do grave problema ambiental resultante da disposição inadequada deste resíduo no meio ambiente.

Pires et al (2012) - Adição de lodo de esgoto da ETE do município de Jaguariúna em tijolos cerâmicos: estudo de viabilidade: Pode-se notar que destinar corretamente o lodo proveniente das ETEs ainda é uma prática pouco comum em nosso país, o que acaba por anular parte dos efeitos benéficos gerados no processo de tratamento de esgoto. O estudo da viabilidade da aplicação deste resíduo em materiais cerâmicos apresenta-se como uma proposta sustentável de disposição final. O desenvolvimento de um trabalho que possibilite uma alternativa ambientalmente correta e ainda agregue valor econômico a este resíduo mostra-se altamente promissor em um mundo onde cada vez mais ETEs têm que funcionar a

fim de garantir a qualidade de vida oferecida pelos serviços de saneamento básico. No caso específico da ETE Camanducaia, conclui-se que a aplicação do lodo de esgoto em tijolos cerâmicos é uma possibilidade viável de destinação correta deste resíduo. Analisando os corpos-de-prova, pode-se observar que houve eliminação do odor característico do lodo. A coloração variou de acordo com a porcentagem de lodo incorporado, porém, permanecendo próxima da cor habitual. A dosagem máxima testada (30%) apresentou os resultados mais próximos dos recomendados pelas normas técnicas.

Velho e Bernadin (2011) - Reaproveitamento de lodo de ETE para produção industrial de engobes: ao estudarem o reaproveitamento de lodo de ETE para produção industrial de engobes, pode comprovar a viabilidade da utilização de resíduos da ETE (lodo), formando lotes de 3000 kg antes de liberação como matéria-prima para o processo de fabricação de revestimentos cerâmicos. Além disso, o processo para a transformação do resíduo é compatível com as plantas cerâmicas atuais, viabilizando sua introdução na indústria sem modificações nos layouts. Outra observação relevante refere-se ao limite máximo permitido de adição de lodo ao engobe, sem provocar modificações significativas nas propriedades finais do

produto queimado, o que torna a planta de reaproveitamento compatível com a quantidade de lodo gerado. A reintrodução de até 25% de lodo no engobe não acarreta alterações significativas nas condições de processamento e nas características do produto final. Esta solução de reciclagem constitui um recurso interessante de reaproveitamento do resíduo gerado, evitando despesas de transporte e deposição em aterro sanitário e reduzindo o consumo de recursos minerais e naturais.

Silveira e Araújo (2017) - Reaproveitamento de resíduos de ETA e ETE em obras de engenharia: Os estudos apresentados mostraram alguns meios de reutilização do lodo de esgoto que não agrida ao meio ambiente, com benefícios em aplicações na engenharia. Uma das conclusões obtidas foi que a calcinação do lodo de ETE melhora sua incorporação em materiais como o solo. Ficou constatado que a temperatura de incineração a 700°C com tempo de incineração de 60 minutos mostrou ser a mais adequada para condicionar o solo, pois elimina por completo a matéria orgânica e possui um maior índice de reatividade pozolânica. E na estabilização de solos colapsáveis é possível ter uma economia quanto ao uso do cimento para estabilizar o solo, uma vez que há um ganho de resistência da mistura solo-cimento com a adição de cinza de lodo de esgoto. E ainda, conclui-se que o lodo

de esgoto calcinado a 750°C demonstrou ser um potencial estabilizador de solos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como parte integrante do processo de busca de possíveis tecnologias ou formas de reaproveitamento de lodo de esgoto pode-se notar a potencialidade do uso do lodo na aplicação em frações de solo como meio condicionante, o que traz uma série de benefícios, sendo o uso de lodo in natura e calcinado uma alternativa ambientalmente e economicamente viável, reintegrando um produto que seria de descarte novamente ao processo produtivo, levando também a uma redução significativa do acúmulo excessivo de resíduos aguardando a disposição final nas ETEs, o que melhoraria o seu processo oneroso de gestão.

Com todos os processos e meios de tratamento de esgoto existente, hoje o Brasil ainda não possui soluções definitivas para a disposição final, gerando um grande impacto ambiental negativo se disposto de forma inadequada. Pensando em tecnologias que minimizassem impactos gerados pelos resíduos do saneamento, a aplicação de lodo calcinado em frações do solo traz uma alternativa de grande solução para a disposição final deste resíduo, onde poderá ser usado como aditivo e estabilizante, pois devido a sua

granulometria fina, se comporta como material pozolânico, aumentando a resistência de maneira significativa, dando assim, uma utilização benéfica à um produto que seria de descarte, reintegrando-o a um ciclo produtivo novamente, e conseqüentemente diminuindo a poluição que seria gerada pela disposição inadequada do lodo.

5. REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. *et al.* **A gestão dos biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto doméstico.** Engenharia e Construção, Curitiba, v.1, n.24, p.18-22, 1998. Disponível em: http://www.sanepar.com.br/sanepar/gecip/congressos_seminarios/lodo_de_esgoto/gestao_biossolidos_etes.pdf > Acesso em: 7 maio. 2015.
- ANDREOLI, C. V. *et al.* **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p.
- ARAÚJO, R. N.; SILVEIRA, L. R. **Reaproveitamento de resíduos de eta e ete em obras de engenharia.** Revista Técnica e Tecnológica: Ciência, Tecnologia e Sociedade., Luziânia-GO, v. 1, n. 2, p. 1-16, 2017.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura.** 1. ed. Jaguariúna - SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349p.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de ago. 2010
- CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo.** 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 454p.
- FEITOSA, M. C. A. **Lodo de Esgoto: Algumas aplicações em Engenharia.** 2009. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.
- 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 Doutorado, (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 2001. 238p.
- GODOY, L. C. **A logística na destinação do lodo de esgoto.** Fatec Guaratinguetá, São Paulo, v.2, n.1, p.79-90, 2013. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43/2>> Acesso em: 24 mar. 2015
- GUILLAUD, H.; HOUBEN, H. **Earth Construction: A Comprehensive Guide.** London: Intermediate Technology Publications, 1994. 362p.
- KELM, T. A. **Avaliação do uso de lodo de estação de tratamento de esgoto na estabilização de materiais para pavimentação.** 2014. 230f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- LINS, G. A. **Impactos Ambientais em estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).** 2010. 286f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -

- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- MADALOZZO, I. L. **Desempenho mecânico do solo condicionado com lodo de esgoto calcinado**. 2008. 101f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2008.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Vilibor, 1995. 240p.
- PEGORINI, E. S. et al. **Qualidade do lodo de esgoto utilizado na reciclagem agrícola na região metropolitana de Curitiba – PR**. In: I Simposio Latino Americano de biossólido. Anais, 11f. São Paulo, 2003.
- PEREIRA, K. L. A. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. 2012. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- SILVEIRA, L. R. **Aspectos geotécnicos e ambientais para a disposição adequada de lodo de esgoto**. 2014. 216f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3º. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452p.
- PIRES, G. T.; GERALDO, R. H.; ZECHINATTI, V. H.; GONÇALVES, R. R. V.; GOMES, M. A. F.; VALENTE, A. M. M. P. Adição de lodo de esgoto da ETE do município de Jaguariúna em tijolos cerâmicos: estudo de viabilidade. **Revista Intellectus**. v 8, n 22. p. 143-159. 2012.
- VELHO, P. L. T.; BERNARDIN, A. M. Reaproveitamento de lodo de ETE para produção industrial de engobes. **Cerâmica Industrial**. v 16, n 2. p. 20-23. 2011.