

27º. Encontro Técnico AESABESP

DESAGUAMENTO DE LODO ANAERÓBIO EM SISTEMA NATURAL COM USO DE MANTA GEOTÊXTIL – LEITO DE DRENAGEM

Paulo Ricardo Santos Coimbra ⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Gustavo Smidt Oliveira

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Bruna Caroline Marola

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Amanda Duarte Escobal

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Cali Laguna Achon

Engenheira Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) e Pós-doutora pelo Departamento de Engenharia Civil da UFSCar. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar).

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Washington Luís, Km 235 – SP310 – UFSCar. São Carlos-SP - CEP:13565-905, Brasil. Tel: (16) 3351-9672, e-mail: paulorscoimbra@gmail.com; caliachon@ufscar.br

RESUMO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) geram resíduos, com destaque para o lodo de esgoto. Este é gerado em grandes quantidades, possui gestão complexa e onerosa e não pode ser descartado indiscriminadamente nos corpos d'água. Dessa forma, o Leito de Drenagem (LD) é um sistema natural que pode auxiliar a destinação correta do lodo, pois realiza o desaguamento do mesmo, reduzindo seu volume e facilitando sua disposição final adequada. Assim, este estudo visa avaliar a eficiência do LD no desaguamento de lodo de ETE. Para tal, foram realizados dois ensaios simultâneos, aplicando-se 20L de lodo em protótipos de LD com mantas geotêxteis não tecidas de 200g/m² e 600g/m², sem uso de condicionantes e Taxa de aplicação de sólidos de 7,4 e 7,9 KgST/m². Durante os ensaios mediu-se a vazão de drenagem, teor de sólidos e qualidade do líquido drenado. Os resultados demonstraram que ao término da fase de desaguamento (3 horas) o volume de lodo foi reduzido em aproximadamente 50%. Após cinco dias o teor de sólidos totais foi de 33,06 e 44,87% para a manta de 200g/m² e 600g/m². Em 29 dias, o teor de sólidos foi da ordem de 90%, independente da manta utilizada.

PALAVRAS-CHAVE:desaguamento, leito de drenagem, lodo de esgoto.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico de modo geral ainda é um grande desafio brasileiro. De acordo com dados de 2014 do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), apenas 57,6% da população urbana do país possui atendimento de redes de esgoto, sendo que apenas 40,8% do esgoto gerado é tratado. Apesar de que entre 2013 e 2014 houve um incremento de 3,9% no volume de esgoto tratado, totalizando 3,764 bilhões de metros cúbicos, estima-se que com esse ritmo de crescimento, a universalização nos serviços de saneamento básico no Brasil não será alcançada em menos de 20 anos.

A fim de atingir esta meta é claro que devem ser ampliados os investimentos relativos à construção de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), e a tendência é que o atendimento à população seja ampliado ano após ano, mesmo que a passos lentos. Contudo, esses sistemas de tratamento geram um resíduo sólido, denominado de lodo de esgoto, que exige destinação final adequada (Cordeiro, 2001).

Conforme estimativa da produção de lodo de ETE no Estado de São Paulo, baseada nos processos de tratamento e na população atendida, concluiu-se que são geradas 150 mil toneladas de lodo seco por ano (São Paulo, 2014). Dessa forma, a perspectiva de universalização do saneamento no Estado e também a nível nacional elevará progressivamente a geração desse resíduo. Contudo, o lodo possui gestão complexa, que representa entre 20% e 60% dos custos operacionais de uma planta de tratamento (Cordeiro, 2001), fazendo com que muitas vezes esse aspecto seja negligenciado e ocasione a destinação inadequada desse resíduo.

Entretanto a legislação brasileira tem evoluído nas questões de controle ambiental. Nesse sentido, destaca-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010, que conceitua e diferencia resíduo e rejeito em seu art. 3º, incisos XV e XVI, e classifica o lodo gerado em ETE como resíduo sólido e, portanto, este deve estar em consonância com os preceitos dessa lei e da série de normas NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004).

No campo normativo é importante ressaltar a Resolução Nº 357/2005 e Nº 430/2011 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), que tem por objetivos o estabelecimento de classes de enquadramento dos corpos d'água e nortear o controle de lançamento dos efluentes líquidos. Dessa forma, mesmo que gradativamente, as operadoras têm sido obrigadas a destinar o lodo de esgoto de forma ambientalmente correta.

A dificuldade encontrada na gestão e destinação adequada do resíduo está em sua composição. O lodo gerado pelo esgoto doméstico é constituído por micro-organismos, matéria orgânica e inorgânica, e sua maior parte, mais de 95%, é composta de água, dificultando o manejo e sua disposição final (Von Sperling, 2005). Dessa forma, uma etapa importante no gerenciamento do lodo é o desaguamento, que consiste na retirada da água livre contida nos interstícios dos sólidos.

Segundo Cordeiro (2001, p. 57), os principais benefícios do desaguamento são:

1. Redução dos custos de transporte e disposição final;
2. Melhoria nas condições de manejo do lodo;
3. Aumento do poder calorífico visando a incineração;
4. Redução do volume para disposição em aterro sanitário;

Além dessas vantagens, o lodo desaguado ainda apresenta alternativas de reaproveitamento. A torta de lodo desaguado pode ser empregada para recuperação de áreas degradadas, como matéria-prima para indústrias da construção civil e ainda permite a utilização na agricultura como biossólido, de acordo com a Resolução Nº 375/2006 do CONAMA.

As tecnologias utilizadas para o desaguamento podem ser classificadas em Sistemas Mecânicos, com equipamentos como filtros-prensa, centrífuga e prensa desaguadora, e Sistemas Naturais com destaque para lagoas de lodo e os leitos de secagem (Achon, Barroso, Cordeiro; 2008). Contudo, segundo Kuroda et al. (2014), os Sistemas Naturais têm se destacado em relação aos mecânicos graças aos baixos gastos de implantação e manutenção, facilidade de operação e por não necessitarem de recursos como energia elétrica e condicionantes (produtos químicos).

Cordeiro (2001) pesquisou modificações na estrutura dos tradicionais leitos de secagem, adicionando mantas geotêxteis como camada filtrante e retirando a camada de areia. No âmbito dos estudos do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico 2 (PROSAB) – Tema IV, as melhorias observadas no tempo de drenagem da água livre com o novo arranjo levaram ao desenvolvimento do Leito de Drenagem (LD).

Todavia, grande parte dos estudos relacionados ao LD trata apenas do desaguamento de lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA), que por sua vez mostraram excelentes resultados, justificando então a aplicação do sistema no desaguamento de lodo proveniente de ETEs. Poucas foram as pesquisas encontradas ou relacionadas indiretamente ao desaguamento de lodo de ETE em LD, sendo citadas a seguir.

Fontana et al. (2007) realizaram a redução de lodo gerado em Lagoa de Estabilização através de Leito de Drenagem. Foram implantados dois módulos de LD, com volume total de 262m³ cada, sendo o primeiro revestido com manta geotecida de polipropileno com densidade de 160g/m², enquanto no segundo módulo foi utilizada manta não tecida de poliéster com densidade de 400g/m². A operação se deu em dois ciclos de 30 dias, com utilização de condicionante polimérico e taxa de aplicação de sólidos (TAS) entre 14 e 17kgST/m², resultando em redução de volume da ordem de 94%.

Silva e Chernicharo (2007) realizaram estudo com a utilização de leitos de secagem convencionais, constituídos por camadas de tijolos, areia e brita, para desaguamento de lodo gerado em dois reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) de ETEs. Foram aplicadas nos leitos de secagem duas TAS distintas, de 7,5kgST/m² e de 12,5kgST/m². Para a menor taxa de aplicação de sólidos, o lodo com concentração de sólidos inicial da ordem de 4% apresentava após 1 dia de ensaio 13,4% e ao final de 20 dias teor em torno de 66%. Para TAS de 12,5kgST/m², alcançou-se 12,2% ao primeiro dia de ensaio e torta de lodo com cerca de 43% ao vigésimo dia.

Mortara (2011) avaliou o desempenho de Leitos de Drenagem no desaguamento de lodo de reatores UASB com emprego de condicionante. Utilizando LD com manta geotêxtil de 289g/m², dosagem de polímero de 4g/kg em lodo com teor de sólidos inicial de 2,68%, TAS de 14,9kg/m² e altura inicial da torta de 45cm, atingiu após 1 dia de ensaio teor de sólidos de 13,79% e após 31 dias, teor de sólidos de 37,42% com altura da torta final de 10cm. Entretanto, o autor realizou também dois ensaios sem a utilização de produtos químicos. Em um deles, com teor de sólidos inicial de 2,76%, altura inicial de lodo de 45cm e TAS de 15,35kg/m² alcançou torta com concentração de 34,65% de sólidos totais e altura final de 10cm após 34 dias de secagem. Assim, o autor concluiu que em relação à evolução do teor de sólidos, tanto o lodo condicionado como aquele sem adição de polímeros apresentaram comportamento semelhante.

Ainda assim, segundo Mortara (2011), independente da dosagem de polímero alcançou-se teor de sólidos no lodo de cerca de 13% após 1 dia, sendo que valores de 25% a 30% só foram encontrados após 30 dias. Apesar dos resultados semelhantes de evolução do teor de sólidos do lodo com e sem uso de polímero, encontrou-se diferença com relação a remoção da torta da manta geotêxtil, em que lodos não condicionados tornaram a operação do LD mais trabalhosa, visto que houve impregnação de material sólido úmido, impedindo a simples varrição da manta.

Portanto, o presente trabalho visa estudar o desaguamento de lodo de reator UASB com a utilização de protótipos de Leitos de Drenagem sem a utilização de condicionantes, com observação da redução de volume e também da qualidade do líquido drenado. Em suma, procura contribuir para o enriquecimento de dados acerca do assunto e também comparar os resultados encontrados com aqueles consultados em bibliografia.

OBJETIVO

Avaliar o desaguamento e redução de volume de lodo anaeróbio gerado em Estação de Tratamento Esgoto Sanitário (ETE) usando protótipo de Leito de Drenagem (LD), sistema de desaguamento natural aberto, com uso de manta geotêxtil não tecida e sem uso de condicionantes, avaliando também a qualidade do efluente durante a fase de drenagem e a concentração final do lodo desaguado neste sistema durante a fase de secagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

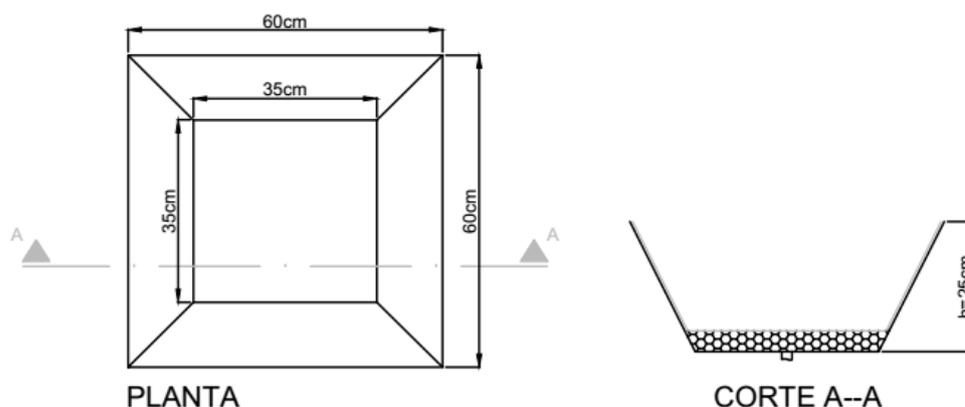
Inicialmente foram realizados ensaios preliminares com duração de 60 minutos sem uso de condicionante (polímero), que serviram para testar e aperfeiçoar os procedimentos utilizados e, portanto, seus resultados não serão mostrados neste trabalho.

O sistema natural de desaguamento de lodo denominado Leito de Drenagem (LD), apresentado na Figura 1, foi desenvolvido por Cordeiro (2001) e é composto por uma camada de brita 01 de cerca de 5cm de altura e manta geotêxtil não tecida. A partir de então foram construídos mais dois novos protótipos de LD, baseados no original com uma pequena redução na área do leito e na altura do suporte, sendo que estes foram usados nesta pesquisa. As dimensões do protótipo de LD em escala reduzida são apresentadas na Figura 2.

Figura 1: Leito de Drenagem desenvolvido por Cordeiro (2001) e protótipo em escala reduzida utilizado na pesquisa.



Figura 2: Planta e Corte do Leito de Drenagem em escala reduzida utilizada na pesquisa.



As amostras de lodo anaeróbio foram coletadas antes do início de cada ensaio nos reatores UASB (*UpflowAnaerobicSludgeBlanketReactor*) da Estação de Tratamento de Esgoto Monjolinho em São Carlos–SP. A estação é composta por sistema de gradeamento grosso e fino, reatores UASB, mistura rápida, floculação, sistemas de flotação e desinfecção. A capacidade de tratamento é de 600L/s e a geração de lodo é cerca de 15 toneladas por dia, desaguado mecanicamente através de centrífuga e disposto em aterro sanitário.

Foram coletados 50L de lodo do reator UASB para realização de dois ensaios com aplicação de 20L de lodo bruto em cada, variando os tipos de manta geotêxtil (densidade), que são apresentadas a seguir:

- Ensaio 1: manta geotêxtil não tecida de densidade 600g/m²;
- Ensaio 2: manta geotêxtil não tecida de densidade 200g/m²;

Nestes ensaios, com duração total de 29 dias, foram avaliados o desaguamento e a secagem do lodo e também a qualidade do líquido drenado. Para tal foram definidas as seguintes variáveis de controle: Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS), vazão de drenagem, volume drenado acumulado, cor aparente, turbidez e pH do drenado, e por fim teor de sólidos totais do lodo bruto e desaguado. A determinação das variáveis seguiu métodos preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2001) conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros avaliados na pesquisa e respectivos métodos utilizados.

Material analisado	Parâmetro	Unidade	Procedimento (APHA/AWWA/WEF)
Lodo bruto	Concentração de sólidos totais	mg/l	2540 B
	Teor de sólidos totais	%	2540G
Líquido drenado	Cor aparente	PtCo	2120 B
	Turbidez	UTN	2130 B
	pH	-	4500-H ⁺ B
Lodo desaguado	Teor de sólidos totais	%	2540 G

Antes do início de cada ensaio foram coletadas amostras do lodo bruto em triplicata para verificar a concentração de sólidos inicial e com esses resultados, foi realizada uma média aritmética. Então foi utilizado esse valor para cálculo da TAS em kgST.m⁻², a partir da Equação 1, na qual o volume de lodo aplicado ao sistema é representado pela letra V (L), a média da concentração de sólidos totais inicial por ST (kg.L⁻¹) e área de fundo do protótipo do LD por A_f (m²).

$$\text{Taxa de Aplicação de Sólidos} = (V/A_f) \cdot ST \text{ [kgST.m}^{-2}\text{]} \quad \text{equação (1)}$$

Após a aplicação de 20L de lodo nos protótipos foi medida a vazão de drenagem e o volume acumulado do líquido drenado em intervalos de 1min, 10min, 30min, 60min e a cada 60min (1hora) até quando a vazão atingiu valor inferior a 10 mL/min. A vazão foi medida através de um volume pré-definido cujo tempo para coleta foi aferido com cronômetro. Nos intervalos em que foi medida a vazão também foram coletadas amostras do líquido drenado para verificar a qualidade (cor aparente, turbidez e pH) durante a primeira hora de ensaio.

Também durante a fase de drenagem foram avaliados a porcentagem de redução de volume de lodo, calculada pela Equação 2, onde temos as variáveis medidas que são o volume inicial total aplicado no ensaio (V_{it}=20L) e o volume acumulado drenado em determinado tempo de ensaio (V_{ad}):

$$\% \text{ Redução de Volume do Lodo} = (V_{ad}/V_{it}) \cdot 100 \text{ [\%]} \quad \text{equação (2)}$$

Ao final da fase de drenagem, que durou três horas, em ambos ensaios foi coletada uma amostra do lodo desaguado para verificar o teor de sólidos totais. A partir de então, iniciou-se a fase de secagem, onde foram coletadas amostras do lodo desaguado diariamente durante 5 dias, visando quantificar a evolução do processo de secagem. Após cinco dias, foi coletada apenas mais uma amostra do lodo, após 29 dias do início do ensaio, caracterizando o teor de sólidos totais final da torta de lodo desaguado.

RESULTADOS

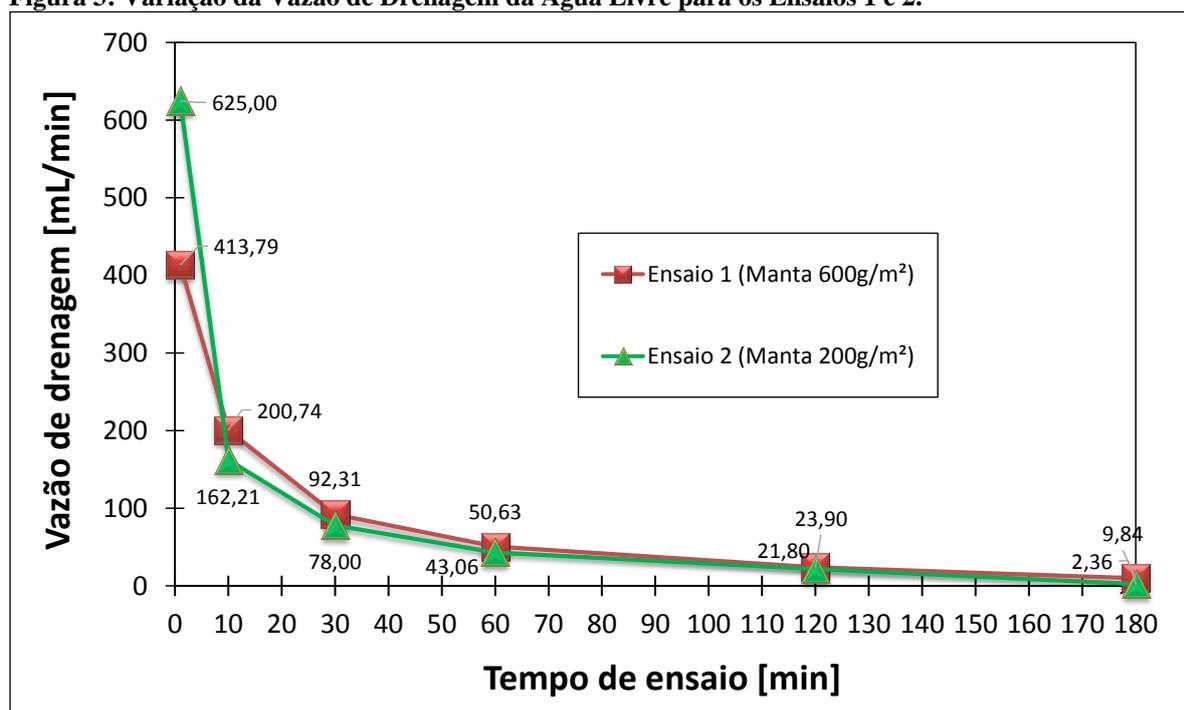
A Tabela 2 apresenta as variáveis de controle de início dos dois ensaios realizados, de acordo com a metodologia. Ressalta-se que a amostra 3 do Ensaio 1 foi perdida e por isso a concentração e o teor de sólidos inicial deste ensaio foi determinado em duplicata.

Tabela 2: Concentração, teor de sólidos do lodo bruto e taxa de aplicação de sólidos nos Ensaio 1 e 2.

Parâmetro		Ensaio 1	Ensaio 2
Manta geotêxtil	Densidade [g/m ²]	600	200
Concentração de sólidos totais do lodo bruto [mg/L]	Amostra 1	48.200	42.820
	Amostra 2	49.640	45.950
	Amostra 3	-	47.290
	Média [mg/L]	48.920	45.353
Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS)	TAS [kgST/m ²]	7,9	7,4
Teor de sólidos totais do lodo bruto [%]	Amostra 1	4,76	4,22
	Amostra 2	4,96	4,59
	Amostra 3	-	4,68
	Média [%]	4,86	4,50

A aplicação de lodo bruto com características semelhantes nos dois leitos é de extrema importância para permitir comparações entre as mantas. Na Figura 3 têm-se os resultados da vazão de água livre drenada para os dois ensaios.

Figura 3: Variação da Vazão de Drenagem da Água Livre para os Ensaio 1 e 2.



Analisando a Figura 3, é possível notar que a drenagem atingiu um valor menor do que 10ml/min apenas após 3 horas, caracterizando esse tempo como fim da drenagem para os dois ensaios, conforme Barroso (2007). Além disso, percebe-se também que o comportamento da curva de vazão de ambos é semelhante a função exponencial negativa, tendendo a zero com o passar do tempo. Por fim, percebe-se que a manta de 200g/m² apresentou valor de vazão no tempo de 1 (um) minuto cerca de 51% superior a vazão do ensaio 1 no mesmo tempo, contudo a partir do tempo de 10 minutos, os valores de vazão apresentados pela manta 2 foram sempre inferiores aos apresentados pela manta 1.

Na Figura 4 têm-se os resultados do volume acumulado da água livre drenada do lodo anaeróbico nos ensaios de desaguamento em Leito de Drenagem (LD), enquanto a Figura 5 ilustra os resultados de redução de volume do lodo anaeróbico.

Figura 4: Variação do volume acumulado de drenagem da água livre para os ensaios 1 e 2.

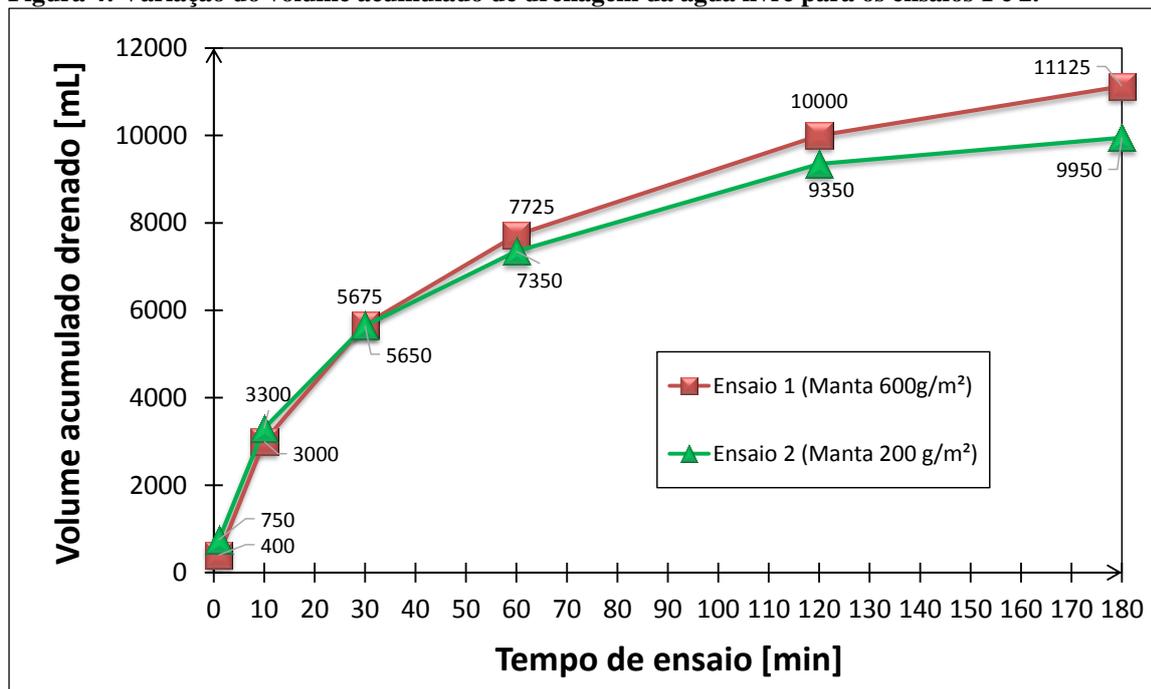
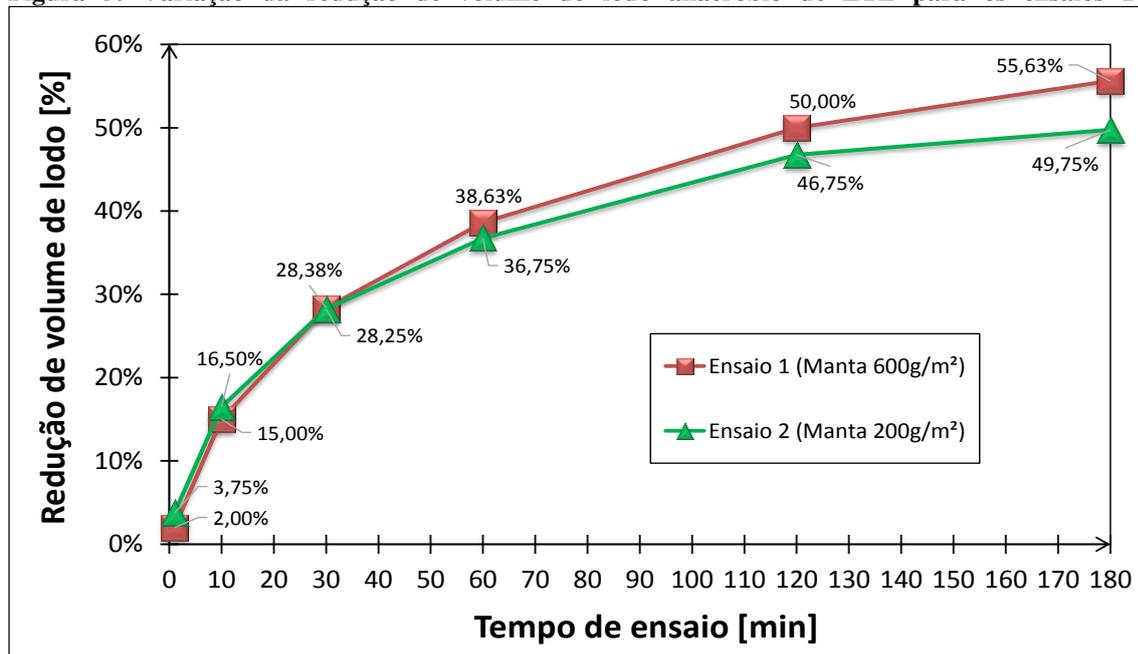


Figura 5: Variação da redução de volume do lodo anaeróbio de ETE para os ensaios 1 e 2.



Analisando as Figuras 4 e 5, é possível notar que após 1 hora do Ensaio 1, o volume acumulado era de 7,725 litros, o que corresponde a uma redução de 38,63%, enquanto que estes números eram de 7,350 litros e 36,75% respectivamente para o Ensaio 2. Pelo fato de as vazões apresentadas no Ensaio 2 serem sempre menores que aquelas do Ensaio 1 a partir dos 10 minutos, é esperado que o volume acumulado drenado final e também a redução do volume de lodo fossem menores nesse ensaio. Ainda assim, os valores finais de volume acumulado do líquido drenado e redução de volume do lodo foram bem próximos, podendo ser explicados pela proximidade entre os valores das taxas de aplicação de sólidos de ambos os leitões.

Em relação a qualidade da água drenada, na Tabela 3 são apresentados os resultados de cor aparente, turbidez e pH para ambos os ensaios.

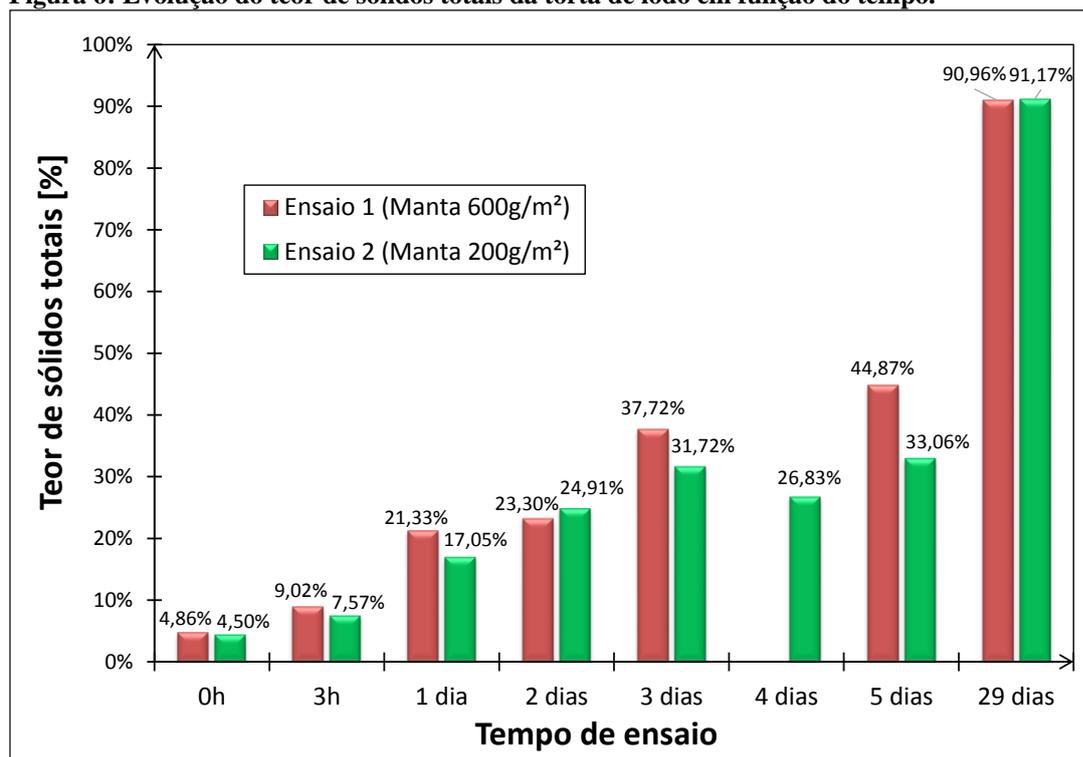
Tabela 3: Resultados dos parâmetros de qualidade do líquido drenado em ambos os ensaios.

Ensaio 1 - Manta geotêxtil 600g/m ²				Ensaio 2 - Manta geotêxtil 200g/m ²			
Tempo [min]	Cor aparente [PtCo]	Turbidez [UTN]	pH	Tempo [min]	Cor aparente [PtCo]	Turbidez [UTN]	pH
1	414	159,5	7,95	1	900	356,3	7,9
10	155	48,75	8,32	10	209	84,2	8,25
30	121	34,8	8,39	30	122	47,9	8,4
60	90	26,95	8,38	60	95	35,3	8,35

Ressalta-se que a qualidade do líquido drenado, apresentado na Tabela 3, melhora a medida que o tempo de drenagem evolui, o que pode ser explicado pela colmatção dos vazios da manta geotêxtil, auxiliando a retenção dos sólidos. Além disso, a diferença entre as gramaturas das mantas geotêxteis é significativa para a turbidez e a cor aparente, sendo que a discrepância é bem acentuada até o tempo de ensaio de 10 minutos. Isso pode ser explicado devido a maior retenção de sólidos apresentada pela manta 1, que possui maior densidade, o que implica em menores valores de turbidez e cor que aqueles da manta 2.

A Figura 6 apresenta a evolução do teor de sólidos totais do lodo desaguado ao longo do tempo durante a fase de secagem do lodo.

Figura 6: Evolução do teor de sólidos totais da torta de lodo em função do tempo.



Analisando a Figura 6, percebe-se que há evolução considerável na concentração de sólidos da torta, mostrando grande potencial de reduzir ainda mais a umidade do lodo, visto que em apenas 48 horas o teor de sólidos aumentou mais que cinco vezes, atingindo valores de 23,30% e 24,91% de sólidos totais para os ensaios 1 e 2, respectivamente. É importante ressaltar também que ambos os leitos ficaram expostos às mesmas condições climáticas e, portanto, esse não é um fator causador de diferenças entre os ensaios.

Outro detalhe significativo é que a queda no teor de sólidos do Ensaio 2 entre o terceiro e quinto dia é explicada pelo fato de que a coleta de amostra do quarto dia foi realizada logo após intensa precipitação, sendo que a água não havia escoado totalmente, influenciando consideravelmente a umidade da torta. Entretanto é sabido que a precipitação não interfere sobremaneira na velocidade do processo de secagem de modo geral, e

sim a alta umidade do ar, que permanecendo pode atrapalhar decisivamente a fase de secagem (Barroso, 2007). A ausência de dados para o quarto dia do Ensaio 1 (Figura 6) deve-se a quebra da cápsula com lodo seco no processo de retirada da estufa.

Considerando a evolução do processo de secagem do lodo no LD em relação a contribuição da manta geotêxtil, apresentado na Figura 6, apesar de o aumento do teor de sólidos do Ensaio 1 ser mais acentuado durante os cinco primeiros dias, ao final do ciclo (29 dias) os resultados do teor de sólidos totais do lodo para ambas as mantas alcançaram valores muito semelhantes. Quanto às questões operacionais, destaca-se que a torta formada após 29 dias apresentou aparência de solo seco, facilitando a retirada do resíduo final.

Comparando os resultados com a literatura, Fontana et al. (2007) apresentou redução de volume da ordem de 94% em 30 dias, para lodo gerado em Lagoa de Estabilização desaguado em LD usando manta tecida de 160g/m e manta não tecida de 400g/m², e TAS entre 14 e 17kgST/m². Nesta pesquisa a redução de volume foi avaliada durante a fase de drenagem atingindo valores de 55% em apenas três horas e teor de sólidos de 91% após 29 dias.

Mortara (2011) alcançou torta com concentração de apenas 34,65% de sólidos totais após 34 dias de secagem, sem a utilização de produtos químicos, com teor de sólidos inicial de 2,76% e TAS de 15,35kg/m². Os resultados desta pesquisa demonstram que em apenas cinco dias o teor de sólidos totais do lodo é 44,87% e 33,06% e cerca de 90% após 29 dias, resultados superiores aos encontrados por Mortara (2011), porém com teor de sólidos inicial do lodo bruto maior (4,50% e 4,86%) e taxa de aplicação de sólidos menor (TAS de 7,9 e 7,4 KgST/m²).

Em relação aos resultados de desaguamento de lodo de UASB em leito de secagem convencionais (areia), Silva e Chernicharo (2007) atingiram 66% de teor de sólidos em 20 dias, com teor de sólidos inicial de aproximadamente 4% e TAS de 7,5kg/m² e teor de sólidos 43% em 20 dias para o mesmo lodo com TAS 12,5kgST/m². Esta pesquisa também apresentou resultados superiores, ou seja, teor de sólidos de cerca de 90% em 29 dias para as TAS de 7,4 e 7,9 KgST/m².

CONCLUSÕES

Foram encontradas poucas pesquisas relacionadas ao desaguamento de lodo gerado em ETE em Leitões de Drenagem, porém com resultados promissores. Os resultados de pesquisas sobre desaguamento de lodo em LD são mais direcionados ao lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA), que concluem a eficiência e aplicabilidade deste sistema natural de redução de volume de lodo gerado em ETA.

A característica da manta geotêxtil pode influenciar na fase de drenagem, sendo que a vazão inicial do líquido drenado para a manta com menor densidade é maior, porém ao longo da fase de drenagem este fato se inverte e a vazão de drenagem após 10 minutos é maior na manta com maior densidade, se aproximando os valores após uma hora de ensaio, que pode ser explicado pelo preenchimento dos vazios da manta pelos sólidos presentes no lodo. A qualidade do líquido drenado melhora à medida que o tempo de drenagem evolui, atingindo resultados semelhantes para ambas as mantas após 30min. O volume drenado acumulado, assim como a redução de volume durante a fase de drenagem (três horas) é maior para a manta 1, com maior densidade, considerando a taxa de aplicação de sólidos de 7,9 KgST/m².

Durante a fase de drenagem para ambos os ensaios houve redução considerável de volume de lodo, da ordem de 55% para a manta 1 e 50% para a manta 2, em apenas três horas de ensaio. Além disso, a secagem mostrou-se eficaz, visto que foram atingidos teores de sólidos da ordem de 33 a 45% em cinco dias e 91% após 29 dias. Os resultados de desaguamento de lodo anaeróbico em LD permitem concluir que há forte tendência em reduzir o volume de lodo e, portanto, a aplicabilidade deste sistema natural, que não usa energia elétrica e produtos químicos (condicionantes).

RECOMENDAÇÕES

Destaca-se que serão realizados novos ensaios nessa linha de pesquisa, avaliando diferentes composições de mantas. Os resultados esperados desses próximos ensaios permitirão uma melhor avaliação do desaguamento e redução de volume do lodo em LD e comparação com os valores encontrados na literatura.

Além disso, recomenda-se avaliar efeitos da aplicação de diferentes Taxas de Aplicação de Sólidos e da utilização sucessiva das mantas geotêxteis visando analisar os possíveis efeitos causados por ciclos contínuos de operação, principalmente em relação à vazão e qualidade do líquido drenado. Por fim, também são recomendadas a utilização de cobertura plástica sobre o LD visando ampliar a eficiência da secagem do sistema, conforme Reis (2011).

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa (Processo n°. 123356/2015-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (1989). NBR 10.644:1989. Águas – Determinação de Resíduos (Sólidos) - Método Gravimétrico. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1989, 7p.
2. ACHON, C.L.; BARROSO, M. M; CORDEIRO, J.S. (2008). Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e ambiental. ABES, Rio de Janeiro. Vol. 13 – N° 1 – jan/mar 2008, 54-62p. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522008000100008>.
3. ACHON, C.L.; BARROSO, M. M; CORDEIRO, J.S. (2008). Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e ambiental. ABES, Rio de Janeiro. Vol. 13 – N° 1 – jan/mar 2008, 54-62p. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522008000100008>.
4. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2001). Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 20.ed. Washington DC, USA. 2001.
5. BARROSO, M. M. Influência das micro e macropropriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por Leito de Drenagem (Influence of micro and macro properties in dewatering water treatment plant sludges by Drainage Bed). 249p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
6. BARROSO, M. M.; ACHON, C. L.; REIS, R. F.; CORDEIRO, J. S. Drainage Bed: A Natural System for WTP Sludge Dewatering and Drying with Different Coagulant Chemicals in Tropical Countries. Journal of Water Resource and Protection, vol. 06, p. 1029-1036, 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.611097> ;ISSN Online: 1945-3108
7. BRASIL. Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.
8. BRASIL. Resolução CONAMA N.º 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006, 32 p.
9. BRASIL. Resolução CONAMA No 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2005.
10. BRASIL. Resolução CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA*. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2011.
11. CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETA's). In: ANDREOLLI, C. V. (Coord). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Capítulo 9. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 282 p. (Projeto PROSAB).
12. CORDEIRO, J.S., REIS, R. F.; ACHON, C.L.; BARROSO, M. M. (2014). Evolução dos Leitões de Drenagem (LD) no Brasil – uma década de avanços. In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. Monterrey - México, 2 a 6 novembro de 2014, cod. 332-T8-Cordeiro-Brasil-1, 8 p.

13. FONTANA, A. O.; OLIVEIRA, A. C.; ARVATI NETO, O. A.; GRANELLO, E. C. A.; CORDEIRO, J. S. (2007). Redução de lodo digerido gerado em lagoas de estabilização com utilização de leito de drenagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. Belo Horizonte/MG, 2007.
14. FONTANA, A.O. (2004) Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros – estudo de caso – ETA Cardoso. 161 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos.
15. GUIMARÃES, M. G. A., URASHIMA, D. C. & VIDAL, D. M. (2014). Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. *Geosynthetics International*, 21, No. 5, 310–320. [<http://dx.doi.org/10.1680/gein.14.00018>].
16. KURODA, E. K.; SILVEIRA, C.; MACEDO, J. G.; LIMA, M. S. P.; KAWAHIGASHI, F.; BATISTA, A. D.; SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F. Drenagem/secagem de lodo de decantadores de ETA em manta geotêxtil. *Revista DAE*, n. 194, p.24-34, 2013.
17. MINISTÉRIO DAS CIDADES, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p. : il.
18. MORTARA, F. C. (2011). Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 241p.
19. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2012). Plano municipal de Saneamento – São Carlos/SP – PMSSanCa. 421 p.
20. REALI, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: REALI, M.A.P (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 1999. 250p.
21. REIS, R.F. (2011) Estudo de Influência de Cobertura Plástica na Remoção de Água de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Leitos de Drenagem. 131p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos.
22. SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. *Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo*. 1ª ed. – São Paulo: SMA, 2014, 350 p.
23. SILVA, C. M.; CHERNICHARO, C. A. L. (2007). “Desaguamento em leitos de secagem de lodo de reatores UASB tratando esgotos domésticos: rendimento do leito e características do percolado”. *Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belo Horizonte, Brasil, v.1, p. 1-14.
24. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.