



EIXO TEMÁTICO:

- () Desastres, Riscos Ambientais e a Resiliência Urbana
- () Drenagem Urbana Sustentável
- () Engenharia de Tráfego, Acessibilidade e Mobilidade Urbana
- () Habitação e a Gestão Territórios Informais
- () Infraestrutura, Espaços Públicos e Ambiência Urbana
- () Intervenções e Requalificações da Cidade Contemporânea
- () Patrimônio Histórico: Temporalidade e Intervenções
- () Políticas Públicas, Justiça Social e o Direito a Cidade
- (X) Saneamento Ambiental
- () Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil

Lodo de reatores UASB: desaguamento através de protótipos de Leito de Drenagem

Sludge from UASB reactor: dewatering using prototypes of drainage bed

Fangos de reactores anaerobios: deshidratación usando prototipos de lecho de drenaje de lodos

Paulo Ricardo Santos Coimbra

Graduando em Engenharia Civil, UFSCar, Brasil
paulorscoimbra@gmail.com

Cali Laguna Achon

Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil, UFSCar, Brasil
caliachon@gmail.com



RESUMO

O tratamento de esgotos domésticos realizado pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) gera resíduos sólidos, dentre eles o lodo de esgoto. Este é gerado em grandes quantidades, possui gestão complexa, devendo ter destinação ambientalmente adequada. Deste modo, o Leito de Drenagem (LD) é um sistema natural de desaguamento de lodo, que reduz a quantidade de resíduo sem consumo de energia ou produtos químicos, através da remoção da água livre do lodo, facilitando sua gestão. Esse sistema possui comprovada eficiência para desaguamento de lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA), o que justifica o estudo da aplicação do LD para lodo de ETE. Assim, este trabalho avalia o desaguamento de lodo de reator anaeróbio usando protótipos de LD, analisando a drenagem e a qualidade do drenado. Para tal foram realizados quatro ensaios, aplicando-se 20L de lodo do reator anaeróbio nos protótipos de LD utilizando as mantas geotêxteis de 300g/m² e 400g/m² limpas e sujas. Durante os ensaios foram medidos vazão de drenagem, cor aparente, turbidez e pH do drenado. Os resultados demonstraram vazão inicial média de 1,21L/min, sendo alcançado até 1,54L/min para a manta de 400g/m² limpa. Após 120 minutos, o volume de lodo foi reduzido em 59% em média, atingindo 67% para manta de 300g/m² suja. Após 60 minutos os ensaios apresentaram turbidez média de 33UNT e cor aparente média de 345uC, sendo que o pH variou entre 6,7 e 8,4.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto. Desaguamento. Leito de Drenagem.

ABSTRACT

The domestic sewage treatment made by Wastewater Treatment Plants (WWTP) generate solid waste, including the sewage sludge, generated in large quantities. It has a complex management and must be disposed correctly. Thus, the drainage bed (LD) is a natural sludge dewatering system, without power or chemicals consumption, which reduce the sludge volume. This system has proven its efficiency to sludge dewatering from drinking water treatment plants, which justifies the study of LD application for WWTP sludge. This work evaluates the anaerobic sludge dewatering using LD prototypes, analyzing drainage and the quality of percolated liquid. Four tests were done, applying 20L of sludge from UASB reactor in LD prototypes, using clean and dirty geotextile of 300g/m² and 400g/m². During the tests were measured: drainage flow, apparent color, turbidity and pH of drained liquid. The results demonstrated an initial average flow of 1,21L/min, reaching 1,54L/min for the prototype with clean geotextile of 400g/m². After 120 minutes, the sludge volume was reduced by 59% on average, reaching 67% on dirty geotextile of 300g/m². After 60 minutes, the tests showed 33NTU turbidity and 345uC color apparent, on average, and the pH ranged between 6.7 and 8.4.

KEYWORDS: Sewage sludge. Dewatering. Drainage bed.

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales urbanas hecho por plantas de tratamiento de aguas servidas, genera residuos sólidos, como lodos de depuradoras. Ellos son producidos en gran cantidad, tienen una gestión compleja y deben tener destino correcto. Así, el lecho de drenaje (LD) es un sistema natural de deshidratación de fangos que no consume energía y productos químicos, disminuyendo el volumen de los lodos naturalmente. Esto tiene eficiencia demostrada para fangos originados en plantas de tratamiento de aguas potables, lo que justifica el estudio de la aplicación de LD para los lodos de depuradora. En este trabajo se evalúa la deshidratación de lodo derivado de reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) utilizando lecho de drenaje, analizando el drenaje y la calidad de la agua filtrada. A tal fin, se llevó a cabo cuatro ensayos, aplicando 20L de fango en LD utilizando geosintéticos de 300 g/m² y 400 g/m² limpio y después de un uso. Durante los ensayos se midieron el flujo de agua, color aparente, turbidez y pH. Los resultados demostraron una media de flujo inicial de 1,21L/min, logrado por 1,54L/min para el geosintético de 400 g/m² limpio. Después de 120 minutos, el volumen de lodo se redujo en un 59% en promedio, alcanzando 67% con el geosintético de 300 g/m² sucio. Después de 60 minutos, los ensayos mostraron, en promedio, una turbidez de 33NTU y color aparente de 345uC. El pH osciló entre 6,7 y 8,4.

PALABRAS CLAVE: Fangos de depuradoras. Deshidratación. Lecho de drenaje de lodos.



INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em seus processos inerentes de tratamento além de reduzirem as cargas poluidoras produzindo um efluente tratado geram também subprodutos, com destaque para o lodo de esgoto. Tanto as características como a quantidade de lodos gerados variam conforme as tecnologias de tratamento empregadas, formas de remoção e tempo de acúmulo nas unidades (VON SPERLING, 2005).

Assim, segundo a NBR 12209, classifica-se o lodo de acordo com a etapa de tratamento em que foi gerado, sendo: lodo primário, secundário/biológico ou misto. Em suma, o lodo de esgoto pode ser definido como uma suspensão aquosa de componentes minerais e orgânicos separados no sistema de tratamento (ABNT, 2011).

Segundo Von Sperling (2005), o lodo de esgoto é constituído por microorganismos, matéria orgânica e inorgânica, sendo que mais de 95% é composto por água, dificultando o manejo do resíduo e conseqüentemente sua destinação adequada. A composição do lodo e os grandes volumes gerados tornam o gerenciamento desse resíduo, um aspecto importante no que diz respeito à administração das ETE.

Por sua vez, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (2014) ratifica que devido ao seu volume e constituição, o tratamento e a disposição final do lodo de esgoto e dos outros subprodutos sólidos das ETE, representam um grande problema de âmbito municipal. Ainda de acordo com o Plano, a gestão dos resíduos representa de 20% a 60% dos custos operacionais de uma planta de tratamento e a busca pela universalização do saneamento no estado elevará gradativamente as quantidades de lodo geradas.

Conforme estimativas da produção de lodo no Estado de São Paulo, são geradas 150 mil toneladas de lodo de ETE em base seca por ano, sendo a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) responsável por 50% desse valor (SÃO PAULO, 2014). Esses dados correspondem à cerca de 800 ETE licenciadas no Estado, que coletam esgoto de 91% da população, enquanto o tratamento do esgoto atinge cerca de 63% dos paulistas (SÃO PAULO, 2016).

Entretanto, a perspectiva do saneamento em São Paulo não reflete a realidade brasileira. Segundo dados de 2014 do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), apenas 57,6% da população urbana do país possui atendimento por redes de esgoto, e somente 40,8% do esgoto gerado é tratado. (BRASIL, 2016). Dessa forma, fica evidenciada a tendência de crescimento na geração de lodo não só em São Paulo, mas no Brasil como um todo, haja visto a busca pela universalização do saneamento no país.

No campo legislativo, destaca-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12305/2010, que enquadrou os resíduos gerados nos serviços públicos de saneamento como resíduos sólidos. Além disso, a Lei definiu objetivos, princípios e instrumentos da gestão dos resíduos sólidos no país. Dentre os principais aspectos da Lei 12305/2010, é possível citar também o estabelecimento de prioridades no gerenciamento dos resíduos, que são: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Já no âmbito normativo, é importante ressaltar as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 e nº 430/2011, responsáveis por estabelecer classes de



enquadramento dos corpos hídricos e padrões de lançamento de efluentes nos mesmos. Assim, com a evolução da legislação e das normas, progressivamente os gestores têm sido obrigados a realizar o gerenciamento correto de seus resíduos.

Visto que a geração de lodo é inerente ao tratamento de esgoto doméstico, a prioridade da não geração estabelecida pela PNRS não pode ser alcançada. Contudo, outras prioridades como a redução, reutilização e reciclagem; tornam-se factíveis quando empregado o tratamento do lodo de esgoto, através do processo de desaguamento.

De acordo com a NBR 12209/2011, o desaguamento pode ser definido como uma operação unitária pela qual a umidade do lodo é reduzida (ABNT, 2011). Dessa forma, o desaguamento promove a remoção da água livre encontrada nos interstícios dos sólidos, o que gera massa com maior concentração de sólidos, possibilitando o reaproveitamento da água removida e da massa de sólidos resultantes. Segundo Cordeiro (2001), as principais vantagens do desaguamento são:

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

Além dessas vantagens, o lodo desaguado ainda apresenta alternativas de reutilização e reciclagem. A torta de lodo desaguado pode ser empregada para recuperação de áreas degradadas, como matéria-prima para indústrias cerâmica e cimentícias; e ainda permite a utilização na agricultura.

Inclusive, a aplicação de lodo em agricultura como bio-sólido é uma das metas estabelecidas pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo. Nesse aspecto destacam-se as Resoluções CONAMA nº 375/2006 e nº 380/2006, que estipulam critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto e produtos derivados (BRASIL, 2006a e 2006b).

Em suma, o desaguamento é etapa primordial no tratamento dos resíduos sólidos oriundos dos sistemas de saneamento. Atualmente as tecnologias aplicadas no 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 et al.; 2008).

Todavia, segundo Kuroda et al. (2014), para o desaguamento de lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA), os sistemas naturais têm obtido significativo destaque em relação aos sistemas mecânicos, graças aos baixos custos de implantação e manutenção, facilidade de operação e pela não necessidade de recursos como energia elétrica e produtos químicos, reduzindo os custos da gestão.

Para o desaguamento de lodo de ETE através de sistemas naturais os leitos de secagem são citados e recomendados pela NBR 12209: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Segundo Cordeiro (2001), o leito de secagem é uma das tecnologias mais antigas no que se refere ao desaguamento de resíduos, apresentando praticamente a mesma estrutura física desde o início do século XX e sendo bastante utilizado



Os leitos tradicionais são tanques rasos, visto que a altura de lodo não pode ultrapassar 35cm, com camadas sobrepostas de materiais diferentes. Conforme a NBR 12209, o fundo do leito deve ser impermeável e com inclinação mínima de 1% para coleta do líquido drenado, que deve retornar ao início do sistema de tratamento.

Além disso, essa norma prevê sobre o fundo impermeável, três camadas de brita com granulometrias e espessuras diferentes, recobertas com camada de areia com espessura entre 5cm e 15cm, que por fim deve ser revestida com tijolos cozidos ou material semelhante (ABNT, 2011).

Contudo, no âmbito dos estudos do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico 2 (PROSAB) – Tema IV, Cordeiro (2001) pesquisou modificações na estrutura dos tradicionais leitos de secagem. Como resultado de seus estudos, notou que ao adicionar mantas geotêxtis como camada filtrante retirando a camada de areia, houve melhoria no tempo de drenagem da água livre. Esse novo arranjo levou ao desenvolvimento do chamado Leito de Drenagem (LD).

Entretanto, a maioria das pesquisas desenvolvidas testaram a aplicabilidade do sistema ao desaguamento de lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA). Nesse sentido, pesquisas com resultados promissores foram desenvolvidas por Fontana (2004), Barroso (2007), Achon et al. (2008), Reis (2011), Silveira (2012) e Cordeiro et. al. (2014), atestando a eficiência do sistema ao desaguamento de lodo de ETA.

Dessa forma, os excelentes resultados encontrados justificam os estudos de aplicação do LD para desaguamento do lodo de ETE. Poucos trabalhos foram desenvolvidos nesse sentido, podendo ser citados principalmente os estudos de Fontana et al. (2007) e Mortara (2011).

Sendo assim, o presente trabalho pretende avaliar o desaguamento de lodo de ETE em Leitos de Drenagem. A escolha do lodo a ser aplicado no LD baseou-se no fato de no Brasil, a aplicação de sistemas de reatores anaeróbios do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) estar em crescimento (MCIDADES, 2008). Em suma, realizou-se o desaguamento de lodo oriundo de reatores UASB, ou seja, lodo biológico, aplicando-os em protótipos de Leitos de Drenagem.

OBJETIVO

Analisar o desaguamento de lodo de reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) através de Leito de Drenagem, avaliando o uso de dois tipos de mantas geotêxteis limpas e após um ciclo de uso, analisando também a qualidade do líquido drenado.

METODOLOGIA



Os ensaios de desaguamento foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de São Carlos entre os meses de abril e junho. O lodo foi coletado através de campanhas à ETE Monjolinho, localizada em São Carlos – SP, em recipientes com volume de amostras de 20L de lodo dos reatores UASB da planta de tratamento.

Após as coletas, realizadas previamente ao início dos ensaios, foi realizada a caracterização das amostras do lodo bruto através da determinação do teor de sólidos totais e concentração de sólidos totais. Os procedimentos adotados seguiram métodos preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2001) conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Caracterização do lodo bruto e métodos utilizados.

Material analisado	Parâmetro	Unidade	Procedimento
Amostras de 20L de lodo bruto	Teor de sólidos totais	%	2540 G
	Concentração de sólidos totais	mg/L	2540 B

Fonte: do Autor.

Buscou-se homogeneizar as amostras de 20L de lodo, visando evitar a deposição dos sólidos no fundo dos recipientes, para tornar a caracterização mais representativa. Então, foram recolhidas amostras de 500ml de lodo bruto de cada ensaio para determinação dos parâmetros em triplicata. Os valores característicos dos parâmetros correspondem a média aritmética dos resultados obtidos.

Em seguida, os protótipos do Leito de Drenagem foram preparados. O equipamento possui cerca de 1m de altura com área efetiva de fundo para drenagem pela manta geotêxtil de 0,35m x 0,35m. Sobre o leito de drenagem é disposta camada de brita lavada com cerca de 5cm que serve como suporte e então colocada a manta geotêxtil para realização dos ensaios. A Figura 1 apresenta o LD utilizado nos ensaios e a Figura 2 ilustra o protótipo com o geotêxtil aplicado e pronto para realização do ensaio.

Figura 1: Protótipo de LD utilizado nos ensaios.



Fonte: do Autor.

Figura 2: LD com manta geotêxtil aplicada, antes do início dos ensaios.

Fonte: do Autor.

Após o preparo protótipo, foram aplicadas amostras de 20L de lodo em cada ensaio. Realizaram-se dois ensaios com as mantas limpas e outros dois com as mantas sujas, ou seja, após o término de um ciclo e com retirada do material depositado sobre o geotêxtil, totalizando quatro ensaios, que são descritos a seguir:

1. Ensaio A: LD com manta geotêxtil limpa com gramatura de 300g/m²;
2. Ensaio B: LD com manta geotêxtil limpa com gramatura de 400g/m²;
3. Ensaio C: LD com manta geotêxtil suja com gramatura de 300g/m²;
4. Ensaio D: LD com manta geotêxtil suja com gramatura de 400g/m²;

Logo no início do ensaio e da drenagem do lodo, foram aferidos os seguintes parâmetros: vazão de drenagem, porcentagem de redução de volume do lodo e volume acumulado do drenado. A vazão foi determinada para os tempos de 1min, 10min, 30min, 60min e 120min após o início do ensaio, através da coleta de um volume pré-determinado cujo tempo foi aferido com cronômetro.

Durante o ensaio, o volume acumulado drenado foi recolhido através do fundo do LD e calculado nos mesmos tempos de ensaio em que foi determinada a vazão. Por fim a redução de volume de lodo foi calculada através da relação entre o volume acumulado drenado (V_{ad}) e os 20L aplicados inicialmente (V), através da Equação 1:

$$\text{Redução de Volume do Lodo (\%)} = (V_{ad}/V) \cdot 100 \quad (1)$$

Ao longo da primeira hora de ensaio, as amostras recolhidas para determinação da vazão de drenagem foram analisadas quanto a qualidade do líquido drenado. Para tal, foram seguidos procedimentos determinados pela APHA/AWWA/WEF (2001) e analisadas as seguintes características: cor aparente, turbidez e pH, apresentadas pelo Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros de qualidade do líquido drenado e métodos utilizados.

Material analisado	Parâmetro	Unidade	Procedimento
Líquido drenado	Cor aparente	uC	2120 B
	Turbidez	UNT	2130 B
	pH		4500-H+B

Fonte: do Autor.

Passados 120 minutos do início do ensaio, foi considerado o término da fase de drenagem e após a secagem do lodo este foi removido do LD. A operação se deu manualmente com auxílio de luvas e também através de varrição com vassouras para remoção dos sólidos.

A brita foi novamente lavada e a manta considerada suja foi então recolocada no protótipo pronta para o início de um novo ensaio. É importante ressaltar que os experimentos com a manta suja (novo ciclo) não foram realizados no mesmo dia do término dos ensaios anteriores. A Figura 3 apresenta o aspecto da manta suja após remoção do lodo desaguado.

Figura 3: LD com manta geotêxtil suja após a remoção do lodo desaguado do ensaio anterior.



Fonte: do Autor.

Após esse procedimento repetiu-se a metodologia descrita anteriormente para o início dos ensaios C e D. Posteriormente a realização dos ensaios, os dados foram compilados e analisados em gráficos e tabelas.

RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da caracterização do lodo bruto dos ensaios.

Tabela 1: Teor de sólidos totais do lodo bruto dos ensaios.

Ensaio	Teor de sólidos totais (%)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Ensaio A	4,36	4,33	4,22	4,30
Ensaio B	4,14	4,58	4,67	4,46
Ensaio C	2,51	2,88	3,22	2,87
Ensaio D	6,01	5,99	6,04	6,01

Fonte: do Autor.

Tabela 2: Concentração de sólidos totais do lodo bruto dos ensaios.



Ensaio	Concentração de sólidos totais (mg/L)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Ensaio A	43.680	43.860	42.520	43.353
Ensaio B	41.210	45.520	46.620	44.450
Ensaio C	25.460	29.050	33.240	29.250
Ensaio D	60.050	60.240	60.750	60.347

Fonte: do Autor.

As diferenças encontradas entre as condições iniciais do lodo bruto dos ensaios com as mantas limpas e sujas podem interferir na capacidade de desaguamento. De acordo com Mortara (2011), a concentração de sólidos inicial do lodo pode intervir nas taxas iniciais de drenagem. Segundo o autor, esse fator interfere na viscosidade do material e conseqüentemente no desaguamento do lodo.

Dessa forma, os parâmetros de drenagem analisados para o ensaio D foram afetados pela maior concentração inicial do lodo utilizado com relação ao ensaio B, prejudicando a comparação entre a drenagem com a manta limpa e suja. Assim, a Tabela 3 apresenta resultados relativos à drenagem dos ensaios.

Tabela 3: Vazão de drenagem da água livre para os ensaios.

Tempo de ensaio (min)	Vazão de drenagem (mL/min)			
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D
1	1318,68	1538,46	1349,53	618,17
10	289,86	337,46	391,13	174,37
30	93,31	106,84	69,67	75,89
60	21,59	21,53	8,31	30,00
120	4,00	2,90	2,67	8,71

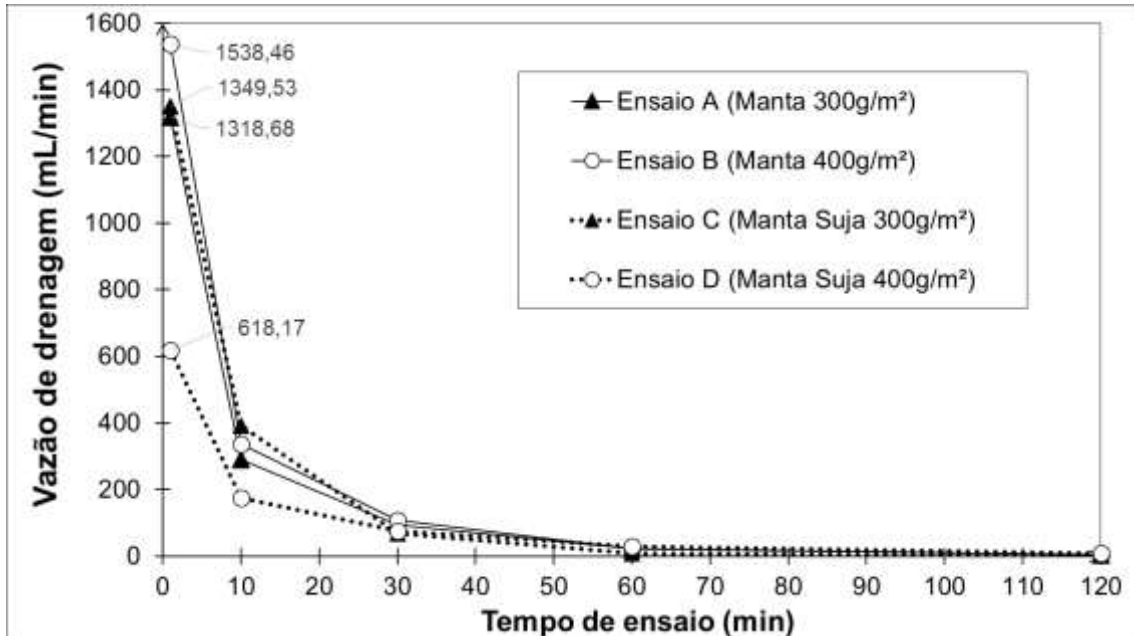
Fonte: do Autor.

A vazão inicial média dos ensaios foi de 1206mL/min, sendo que os ensaios A, B e C apresentaram vazão superior a 1300mL/min, um minuto após o início do ensaio, com a maior vazão de 1538mL/min no ensaio B. Passados 120 minutos, todos os ensaios possuíam vazão inferior a 10mL/min, com destaque para o ensaio C, com a menor vazão final, de 2,67mL/min. Nota-se que tanto para o geotêxtil de 300g/m² (ensaios A e C) como para o de 400g/m² (ensaios B e D), os ensaios com concentrações de sólidos totais iniciais superiores (ensaio A com 4,30% e ensaio D com 6,01% de ST) apresentaram vazões iniciais menores, indicando que o maior teor de sólidos totais do lodo bruto pode resultar em menor vazão de drenagem, conforme levantado por Mortara (2011).

Em suma, pode-se perceber tendência de redução das vazões com passar do tempo e extinção da lâmina líquida em até 120 minutos após a aplicação do lodo bruto. Cabe ressaltar também que apesar das discrepâncias encontradas nas vazões iniciais, os valores encontrados a partir de 30 minutos de ensaio são bastante semelhantes. A Figura 4 apresenta o gráfico das vazões dos experimentos realizados.



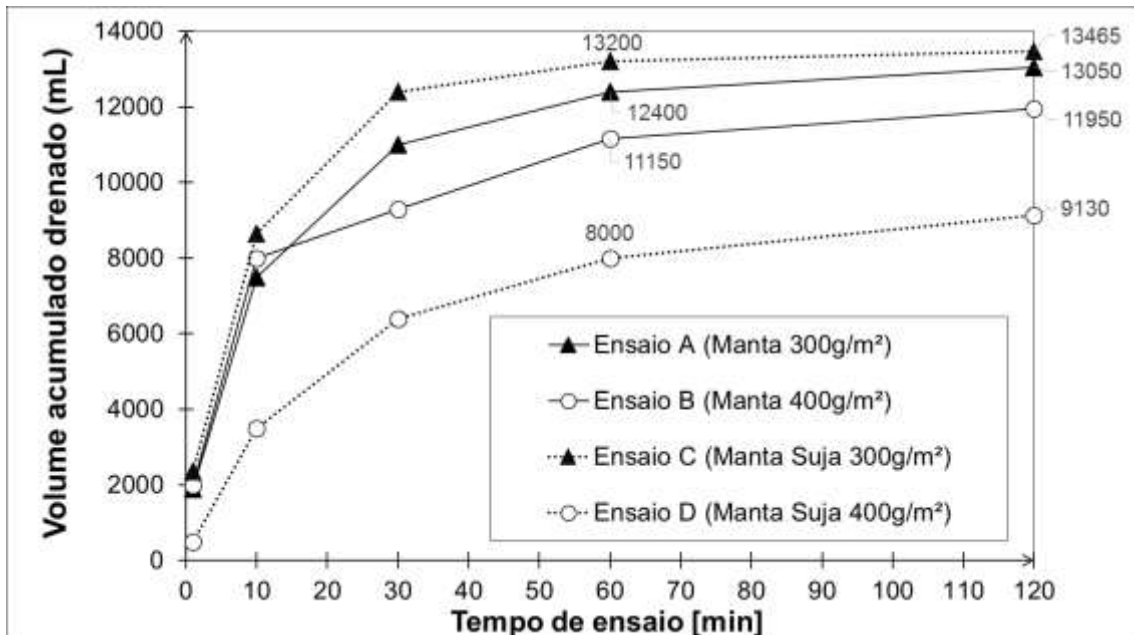
Figura 4: Gráfico da variação da vazão de drenagem (mL/min) em função do tempo de ensaio.



Fonte: do Autor.

Outro parâmetro avaliado durante a fase de drenagem do ensaio é o volume acumulado drenado, cujo gráfico é apresentado pela Figura 5.

Figura 5: Gráfico da variação do volume acumulado drenado (mL) em função do tempo de ensaio.



Fonte: do Autor.

Quanto à vazão de drenagem, percebe-se que os ensaios com melhores resultados das vazões também se destacaram quanto ao volume acumulado drenado. É importante notar que após



60 minutos, todos os ensaios drenaram mais de 8L, uma redução de 40%, sendo que os ensaios A, B e C atingiram redução acima de 40% em apenas 30 minutos.

Após 120 minutos, os ensaios com as mantas com gramatura de 300g/m² possuíam volume drenado superior a 13L, apresentando desempenho superior aos experimentos com manta de 400g/m². De modo geral a Tabela 4 apresenta a redução de volume de lodo nos ensaios.

Tabela 4: Redução de volume de lodo (%) nos experimentos.

Tempo de ensaio (min)	Redução de volume de lodo (%)			
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D
1	9,50%	10,00%	11,75%	2,50%
10	37,50%	40,00%	43,25%	17,50%
30	55,00%	46,50%	62,00%	32,00%
60	62,00%	55,75%	66,00%	40,00%
120	65,25%	59,75%	67,33%	45,65%

Fonte: do Autor.

Assim, todos os ensaios apresentaram aptidão ao desaguamento com redução média de 59% do volume de lodo aplicado, sendo que os resultados obtidos com a manta de 300g/m² destacaram-se em relação aos outros ensaios. O ensaio A (manta limpa) atingiu 65,25% de redução de volume em 120 minutos e o Ensaio C (manta suja) 67,33%.

Entretanto, o ensaio D teve desempenho abaixo dos demais com redução de volume de 45,65% em 120 minutos, provavelmente devido à concentração de sólidos totais superior aos demais ensaios.

Após a avaliação dos parâmetros de drenagem, deve-se observar também a qualidade do líquido drenado. Dessa forma, a Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade analisados.

Tabela 5: Parâmetros de qualidade do líquido drenado nos ensaios.

Tempo de ensaio (min)	Ensaio A			Ensaio B			Ensaio C			Ensaio D		
	pH	Turbidez (UNT)	Cor (uC)	pH	Turbidez (UNT)	Cor (uC)	pH	Turbidez (UNT)	Cor (uC)	pH	Turbidez (UNT)	Cor (uC)
1	6,85	242	705	6,87	171	1405	6,72	134	755	6,73	555	2730
10	6,93	83	525	6,93	64	528	6,95	65	498	7,06	161	1105
30	7,02	46	395	7,15	41	332	7,34	45	367	7,16	81	680
60	7,23	31	279	7,51	34	323	7,82	34	294	8,33	-	484

Fonte: do Autor.

Quanto a qualidade do drenado nota-se uma tendência de redução nos valores de turbidez e cor aparente das amostras com o passar do tempo. Após 30 minutos de ensaio encontraram-se resultados semelhantes para turbidez e cor aparente nos ensaios A, B e C, com destaque para o primeiro ensaio, que apresentou após 60 minutos os menores valores dos parâmetros de qualidade com 279uC para cor aparente e 31UNT para turbidez.



Analisando os ensaios com a manta de 300g/m² (ensaios A e C) nota-se que a turbidez do líquido drenado com uso da manta suja (ensaio C) é bem inferior no início do ensaio, tendendo a se aproximar após 30 minutos. O mesmo observa-se quando são comparados os ensaios A e B, com uso das mantas de 300g/m² e 400g/m² limpas.

Com relação a cor aparente com uso da manta suja de 300g/m² (ensaio C), o valor é pouco superior no início do ensaio, reduz após 10 minutos, porém em 60 minutos atinge novamente valores superiores ao ensaio A. Em contrapartida, quando comparamos os resultados dos ensaios A e B, a cor inicial do drenado para o ensaio B é o dobro. Contudo, os valores tendem a se aproximar após 10 minutos.

Os resultados da Tabela 5 podem ser considerados um indicativo de que a manta geotêxtil é mais efetiva na retenção de partículas em suspensão do que dissolvidas. Quanto aos resultados do líquido drenado para os ensaios com a manta de 400g/m² (ensaios B e D), apesar de a turbidez e cor ser relativamente superior com o uso da manta suja (ensaio D) é difícil estabelecer comparações devido ao elevado teor de sólidos inicial do lodo bruto no ensaio D, de 6,01%.

Por fim, os ensaios apresentaram pH semelhante no minuto inicial. Contudo, esse parâmetro não apresentou relações explícitas com os demais parâmetros, variando de 6,73 a 6,87 no início do ensaio.

CONCLUSÃO

As pesquisas relacionadas ao desaguamento de lodo de ETE em Leito de Drenagem são poucas quando comparadas ao lodo de ETA. Contudo, os resultados encontrados para o desaguamento de lodo de ETA em LD demonstram a eficiência e aplicabilidade deste sistema natural de redução de volume deste resíduo, sugerindo os estudos de uso do LD para lodo de ETE também.

Em relação a drenagem a vazão inicial média foi semelhante com exceção do ensaio com manta geotêxtil suja de 400g/m², que pode também ter sido influenciado pelo elevado teor de sólidos totais do lodo bruto. As vazões foram reduzindo, tendendo ao fim da drenagem em até 120 minutos, quando os ensaios alcançaram redução de 45,65% até 67,33% em termos volumétricos. A manta de 300g/m² se destacou alcançando após 120 minutos os dois maiores valores de redução com a manta limpa e suja.

Quanto à qualidade, constatou-se tendência de redução nos parâmetros de cor aparente e turbidez, sendo que valores semelhantes entre os ensaios foram encontrados após 30 minutos, com exceção do ensaio com a manta geotêxtil de 400g/m² suja. O uso da manta de 300g/m² suja reduziu os valores de turbidez inicial, porém o mesmo não ocorreu para a cor aparente, tendendo a se igualar após 30 minutos.

Por fim notou-se que a concentração de sólidos totais do lodo bruto pode ter influenciado tanto nos parâmetros de drenagem como na qualidade do drenado, sendo necessários estudos mais detalhados para avaliar seu efeito no desaguamento.

AGRADECIMENTO



Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa (Processo nº. 123356/2015-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C.L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J.S. Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. *Revista Engenharia Sanitária e ambiental*. Rio de Janeiro. v. 13, n. 1, p. 54-62, jan/mar. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522008000100008>>. Acesso em: set. 2016.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 20.ed. Washington DC, USA. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, Rio de Janeiro, 2011. 53 p.

BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por Leito de Drenagem**. 2007. 249 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

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, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005, 27 p.

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, 2006a, 32 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA N.º 380 de 31 de outubro de 2006**. Retifica a Resolução CONAMA nº 375/2006 - 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, 2006b, 2 p.

BRASIL. Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. **Resolução CONAMA No 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011.

BRASIL. 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.

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).

CORDEIRO, J.S., REIS, R. F.; ACHON, C.L.; BARROSO, M. M. **Evolução dos Leitos 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, cód. 332-T8-Cordeiro-Brasil-1, 8 p.

FONTANA, A.O. **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**. 2004, 161 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos, 2004.



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, jan/abr. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.002>>. Acesso em: set. 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Org). **Lodo gerado durante o tratamento de água e esgoto**. Transversal: guia do profissional em treinamento: nível 2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, 2008, 90 p.

MORTARA, F. C. **Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios**. 2011. 241p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

REIS, R.F. **Estudo de Influência de Cobertura Plástica na Remoção de Água de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Leitos de Drenagem**. 2011. 131p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo**. 1ª ed. – São Paulo: SMA, 2014, 350 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015**. 1ª ed. – São Paulo: CETESB, 2016, 562 p.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil**. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

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.