

II-089 – ANÁLISE DO DESAGUAMENTO E SECAGEM DE LODO ANAERÓBIO EM LEITO COM PISO DE BLOCOS DRENANTES

Sabrina Mariel Corrêa da Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Escola de Engenharia de Lins (UNILINS). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental - Saneamento pela Escola de Engenharia de Bauru (FEB/UNESP).

Cali Achon⁽²⁾

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 com bolsa FAPESP. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv-UFSCar).

Paulo Ricardo Santos Coimbra⁽³⁾

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

Endereço⁽¹⁾: Rua Valença, 408 – Palmeiras de São José – São José dos Campos - SP - CEP: 12237-824 - Brasil - Tel: (15) 99803-0566 - e-mail: sabrina-mcs@hotmail.com

RESUMO

Diante do aumento da fiscalização ambiental e aumento de volume de lodo gerado durante o tratamento de esgoto, concessionárias públicas e privadas têm buscado por alternativas mais econômicas e eficientes para o desaguamento e secagem de lodo, devido ao seu alto custo de gerenciamento e destinação. O leito de secagem com piso de blocos drenantes é uma nova modalidade de método natural para desaguamento e secagem do lodo visto como alternativa promissora para sistemas de tratamento de esgoto de pequeno e médio porte. Porém a eficiência no desaguamento não depende somente do sistema em si, mas também do tipo e concentração de lodo, das condições de operação e principalmente das condições climáticas que influem na secagem natural. Portanto o presente trabalho analisou o desaguamento e secagem de lodo anaeróbico sem polímero em leito de piso de blocos drenantes em escala piloto, com duas concentrações de lodo diferentes em dois períodos do ano distintos. O leito com piso de blocos drenantes mostrou-se eficiente no desaguamento reduzindo o volume de lodo após 24h em torno de 70%, independente da taxa de aplicação de sólidos. Em relação a secagem, em condições climáticas favoráveis, o lodo atingiu acima de 60%ST em 22 dias de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: Desaguamento de Lodo, Secagem de lodo, Leito de Secagem, Bloco Drenante.

INTRODUÇÃO

O lodo, resíduo gerado durante o tratamento de esgotos, tem recebido maior atenção por parte das concessionárias de saneamento por conta do desafio de atingir o seu gerenciamento sustentável, a começar principalmente pela maior exigência e fiscalização dos órgãos ambientais.

Além da pressão do quesito ambiental, há a pressão da sociedade pela cobrança de maior qualidade e cobertura dos serviços de água e esgoto. A Resolução nº 375 (CONAMA, 2006) além de definir critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), também considera a problemática do aumento de produção de lodo por ser uma característica intrínseca dos processos de tratamento de esgoto, o qual tende um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana.

A crise do lodo se completa com o impacto na economia das concessionárias devido ao aumento dessas exigências na qualidade e quantidade do lodo a ser disposto. Os custos para o gerenciamento do lodo podem significar de 20 a 60% do total da ETE (VON SPERLING *et al*, 2007).

Por estes motivos as concessionárias públicas e privadas de saneamento têm buscado pela solução ideal para cada tipo de ETE, pois o adequado planejamento para destinação final do lodo é determinado a partir de uma série de características, desde sua concepção de tratamento do esgoto, que influencia na quantidade e tipo de

lodo, até as etapas de tratamento do lodo, as quais incluem: estabilização, desaguamento, higienização e secagem.

A etapa do desaguamento de lodo é a que demanda maior operação e custos para ETE, mas que se for eficiente, é também a mais importante para que os custos de transporte e disposição final sejam reduzidos, porque é quando ocorre a remoção da maior parte do volume de lodo, a água. Tendo em vista as diversas tecnologias para o gerenciamento dos lodos, a análise tecnológica dessas alternativas tem o objetivo de determinar qual método terá melhor desempenho para cada tipo de ETE. Geralmente em ETE de pequeno a médio porte localizado fora da área urbana e com disponibilidade de área, o método de desaguamento mais utilizado é o leito de secagem. Por outro lado, se a ETE for de grande porte e localizada em área urbana, os métodos mecanizados são os mais utilizados.

No Brasil, o método mais utilizado e mais antigo é o leito de secagem. Apesar do uso das tecnologias mecanizadas terem aumentado nos últimos anos, ainda existe a tendência de se optar pelo leito de secagem para o desaguamento de lodo em ETE municipais, visto que além do clima do país ser propício a secagem natural, a população de 44% dos municípios brasileiros está abaixo de 10.000 habitantes (IBGE, 2015). Devido a estes mesmos motivos, existe uma maior propensão do tratamento do esgoto destes pequenos municípios ser do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), o qual gera descarte de lodo anaeróbio.

O projeto de leito de secagem no Brasil é caracterizado por um tanque retangular onde em seu interior é incluído uma camada filtrante composta de areia e brita para permitir a drenagem da água presente no lodo (ABNT, 2011). As vantagens da utilização de leitos de secagem são: baixo valor de investimento, simplicidade operacional, baixo consumo de energia elétrica, baixa sensibilidade a variações nas características do lodo e torta de lodo com alto teor de sólidos. Entre as desvantagens destacam-se: elevada área requerida, necessidade de estabilização prévia do lodo, influência do clima no desempenho operacional, lenta remoção do lodo seco, elevada mão de obra para limpeza, limite de teor de sólidos de lodo em 30% para não dificultar a remoção, facilidade em colmatação (entupimento) ocasionando maior frequência de manutenções na camada filtrante.

Com o objetivo de minimizar as desvantagens deste processo natural de drenagem e secagem, evoluções nos sistemas têm surgido, dentre os quais podemos destacar o leito com piso de blocos drenantes, ou *wedge wire* como é chamado internacionalmente.

O bloco drenante é um meio filtrante que substitui as camadas de brita e areia de um leito convencional, o qual já vem sendo aplicado aqui no Brasil por indústrias e concessionárias de águas e esgotos, como a Companhia do Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

Apesar do leito com piso de blocos drenantes já ser aplicado, existe pouco estudo sobre o seu desempenho, bem como informações para o dimensionamento dos leitos. Hoje o dimensionamento de qualquer modalidade de leito de secagem é baseado na NBR 12.2009 (ABNT, 2011), que estabelece normas para projeto de ETE e define como taxa de aplicação de sólidos (TAS) máxima de 15kgST de lodo por m² de leito de secagem. Alguns projetistas relatam dificuldades ao considerar apenas esta informação para projetar um leito de secagem, pois ao determinar a taxa de aplicação não consideram a concentração de sólidos inicial no lodo, o tipo de lodo e as condições climáticas do meio ambiente de secagem.

Portanto, diante dos fatos apresentados este artigo tem como objetivo analisar o desempenho do leito de secagem com piso de blocos drenantes para o desaguamento e secagem de lodo anaeróbico de ETE com duas taxas de aplicação de sólidos diferentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

O bloco drenante utilizado no teste é feito de polipropileno composto, com medidas de 30x30cm com 5cm de altura e segundo o fabricante possui 12% de área livre com aberturas cônicas de 0,07mm (BRASWORLD). Na Figura 1 está apresentado o bloco drenante utilizado nos ensaios.

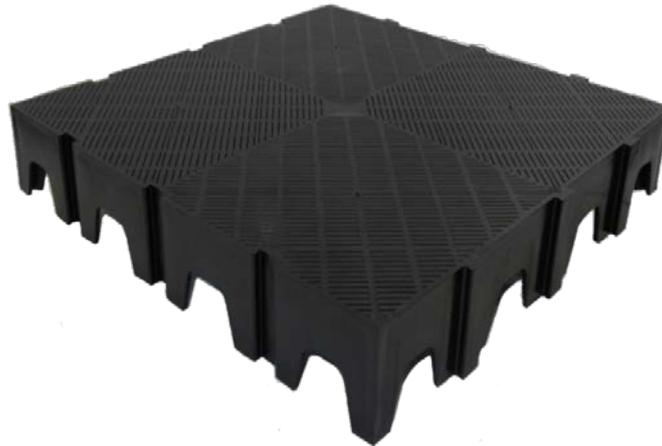


Figura 1 - Bloco drenante em polipropileno.
(Fonte: Brasworld)

Foi construído um leito de secagem com piso de bloco drenante piloto para realização dos ensaios com medidas internas de 90x90cm por 28cm de altura, com o total de 9 blocos drenantes. Em um dos lados do leito foi colocado um registro para que a vazão de drenagem fosse controlada.

Em parceria com a UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos), o leito piloto foi colocado na ETE Monjolinho, em São Carlos/SP. A ETE operada pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) trata atualmente 636L/s. O sistema de tratamento é composto por tratamento preliminar, tratamento biológico por reatores UASB, tratamento físico-químico e flotação por ar dissolvido, desinfecção com radiação ultravioleta e pós-aeração por escada hidráulica.

As amostras de lodo para realização dos ensaios foram coletadas na saída de um dos reatores UASB, na primeira válvula com altura de 1,40m da base do reator, para obter o lodo mais concentrado.

O volume de lodo desaguado foi determinado a partir da altura de camada de lodo de 20cm acima do piso de bloco drenante, ou seja, 25cm no total. Então, o volume total descartado foi de aproximadamente 202,5L.

O lodo foi descartado diretamente do fundo do reator para o piloto com auxílio de uma mangueira com engate no registro do reator, sem adição de condicionantes, então era sabido que não haveria uma separação de sólido-líquido a ponto de liberar água livre de forma eficiente, como acontece quando se usa polímeros. Devido a isso, a operação de descarte ocorreu como é indicado para leitos *wedge wire* no manual da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1987). Durante a alimentação de lodo no leito o registro de drenagem permaneceu fechado, permitindo que a camada de lodo atingisse até a marca de 20cm acima do piso de bloco drenantes, e após seu preenchimento foi estabelecido um tempo de repouso para ocorrer a decantação do sólido e formar uma camada de lodo mais concentrado no fundo, o qual também age como meio filtrante da água, e conseqüentemente garante melhor resultado na captura de sólidos e qualidade do drenado. O tempo de repouso de 20min foi estipulado a partir do primeiro ensaio após ser possível notar a clarificação na superfície do lodo. O leito foi levemente inclinado, para que a drenagem ocorresse mais facilmente através do registro de saída conforme está apresentado na Figura 2.



Figura 2 - Leito piloto com inclinação para escoamento através do registro.

Foram coletadas amostras do drenado para sua caracterização e medido a altura reduzida da camada de lodo com auxílio de uma régua para estimar redução de volume durante a drenagem. Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros de controle e os tempos de coleta de dados durante a drenagem.

Tabela 1 - Parâmetros de controle durante o desaguamento.

Controle / Tempo (min)	1	11	31	41	51	61	71	81	91	101
Coleta de amostra	x	x	x		x			x		x
Altura		x	x	x	x	x	x	x	x	x

As amostras coletadas do drenado foram analisadas segundo os padrões *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) com o método 2130 para turbidez (APHA; AWWA; WEF, 2011). Amostra do lodo bruto descartado também foi coletada para determinação de teor inicial de sólidos totais conforme a SMEWW 2540 (APHA; AWWA; WEF, 2011). A partir dos dados da concentração de sólidos totais e volume descartado foi calculada a taxa de aplicação de sólidos (TAS) por área de leito de secagem.

Como o leito piloto estava inclinado, a redução de volume de lodo foi calculada a partir do volume do trapézio através das dimensões do leito e das alturas de camada de lodo medidas a cada instante no lado da parede do registro e na parede oposta.

Para acompanhamento da secagem de lodo foram coletadas três amostras da torta de lodo após 24 horas do descarte, e mais cinco amostras em triplicata durante todo o período de secagem. As médias para o teor de sólidos (%ST) foi relacionado com o tempo de secagem para reproduzir a curva de secagem.

Foram realizados dois ensaios com o lodo anaeróbio em escala piloto. O TP 1 iniciou dia 10 de maio de 2016, estação de outono no Brasil, e o TP 2 iniciou dia 27 de agosto de 2016, estação de inverno. No primeiro teste, o TP 1, foi instalado uma cobertura sobre o leito piloto para proteger contra as chuvas, no entanto o mesmo não aguentou e cedeu, então durante o TP 2 o leito ficou descoberto.

Durante o período de secagem informações sobre as condições climatológicas como temperatura e umidade do ar, radiação solar e precipitação foram extraídas do site do Instituto Nacional Meteorológico (INMET) da Estação Automática de São Carlos A711 para relacionar a influência no processo de secagem natural do lodo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Taxa de Aplicação de Sólidos

A taxa de aplicação de sólidos (TAS) é uma das variáveis determinantes de projeto que influencia no desempenho dos leitos de secagem. Segundo Mortara (2011) quanto maior a TAS, maior a espessura da camada após a drenagem, e consequentemente maior dificuldade na perda de umidade. A partir do resultado da concentração de sólidos totais, as TAS foram calculadas e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxa de aplicação de sólidos.

Teste	Volume inicial de lodo bruto (L)	Teor de sólidos totais no lodo bruto - ST (%)	Taxa de aplicação de sólidos - TAS (kgST/m ²)
TP 1	202,5	1,2	3
TP 2	202,5	2,8	7

Como pode ser observado na Tabela 2, ocorreu uma variação na concentração de sólidos no lodo do reator UASB. Diante disso é importante considerar registros da concentração de sólidos ao longo de um ano, se possível vários anos, para projetar um leito de secagem que atenda tanto a TAS mínima quanto a máxima, otimizando o investimento de uma forma econômica e eficiente.

Segundo a sugestão do fabricante de piso *wedge wire* GRAVITY FLOW SYSTEM, a TAS para lodo anaeróbio pode variar de 4,8 a 27,8kgST/m², o que indica que o TP 1 estaria abaixo do mínimo e analisando por este sentido, o leito estaria superdimensionado. No entanto, o volume descartado para os dois ensaios foi o mesmo, devido a carga hidráulica estabelecida de 20cm acima do piso. Quando a operação do leito permitir que a drenagem do leito aconteça ao mesmo tempo com a alimentação, principalmente quando se utiliza polímero, maior volume de lodo poderá ser descartado, e conseqüentemente haverá aumento na TAS.

Desaguamento

Conforme mencionado anteriormente, o volume descartado de lodo foi de aproximadamente 202,5L. Isto representou uma altura de camada hidráulica de 20cm acima do piso de bloco drenante. Nas Figuras 3 e 4 estão apresentadas as curvas de redução de volume durante o desaguamento.

Ao comparar as Figuras 3 e 4, percebe-se uma similaridade no volume de lodo reduzido entre os dois ensaios, acima de 70% em 24h (1440min) para o TP 1 e, quase 70% para o TP 2. Em 11min de drenagem os dois ensaios também apresentaram praticamente a mesma redução de volume, quase que 30%, independente da concentração inicial de sólidos do lodo no descarte. Provavelmente isto pode ser explicado, devido ao fato dos dois iniciarem a etapa de desaguamento com a mesma carga hidráulica de 20cm acima dos blocos drenantes.

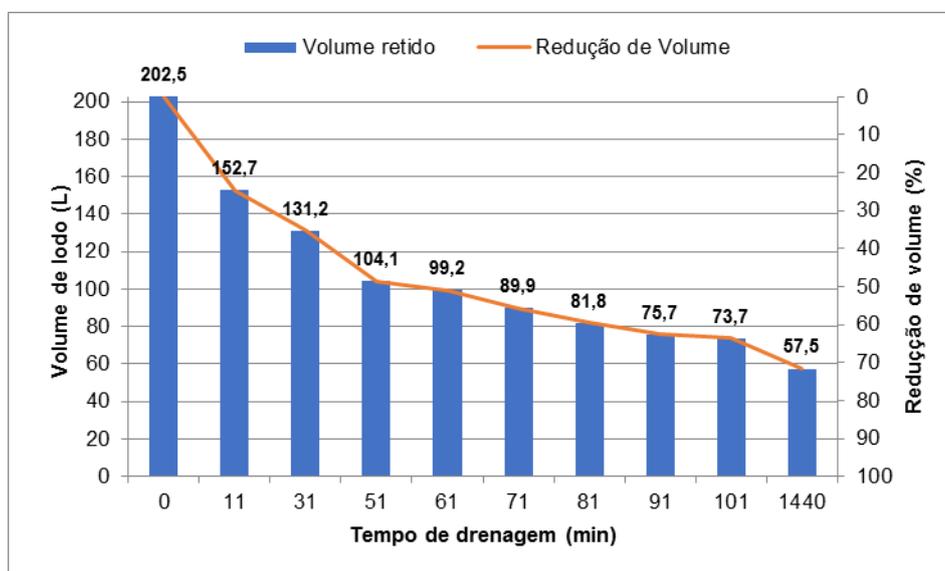


Figura 3 - Redução de volume durante o desaguamento do TP 1.

No entanto, o TP 2 sofreu uma estabilização entre 11 e 101 min, reduzindo em 35%, ou seja, manteve-se no leito em torno de 65% do volume de lodo em 1h e 40min de drenagem. Em contrapartida, o TP 1 sofreu redução de volume de forma crescente com o tempo e atingiu mais de 60% de redução em volume de lodo no mesmo tempo de 1h e 40min. Este fato é justificado através da concentração inicial de sólidos no lodo bruto, conforme apresentado na Tabela 2. O lodo do TP 1 continha menos sólidos, em torno de 98,8% de água, contra, 97,2% para o TP 2. Como o teor inicial de sólidos totais do lodo no ensaio TP 2 foi mais elevados

2,8%, a camada decantada durante o período de descanso foi mais alta, tornando o caminho de filtração da água maior, ou seja, a drenagem foi mais lenta o que explica a menor redução de volume no mesmo tempo.

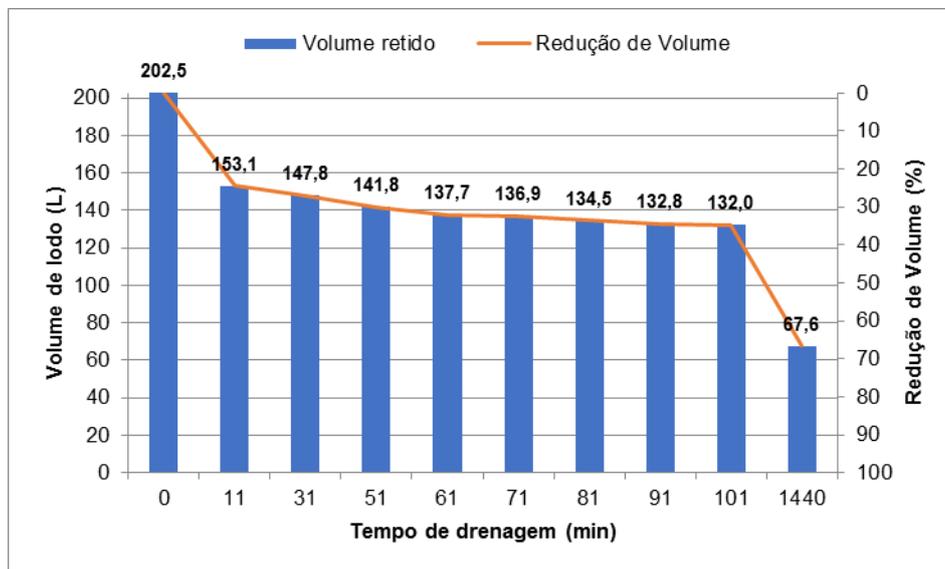


Figura 4 - Redução de volume durante o desaguamento do TP 2.

Por outro lado, ao analisar a redução de volume após 1440min do descarte, ou seja, em 24h a redução de volume para os dois ensaios foi cerca de 72% para TP 1 e 67% para TP 2. Isto indica que, para a duração de drenagem de um dia em leito com piso de blocos drenantes, a TAS não influencia significativamente a redução de volume para um mesmo tipo de lodo e operação de descarte. Ao comparar descartes de lodo aeróbio condicionado com polímero em leito com piso de blocos drenantes, a redução de volume lodo após 1 hora do descarte foi de 70%, e após 24h foi de 90% para lodo com concentração menor que 1% (SILVA *et al*, 2016). No entanto, segundo SILVA *et al* (2016), a drenagem mais rápida se deve além do piso de blocos drenantes, à floculação ótima do lodo e coagulante, que permitiu a liberação de mais água livre.

Em relação à qualidade da água do lodo drenado, a Figura 5 apresenta a turbidez obtida durante o desaguamento. Como pode ser observada na Figura 5, a qualidade do drenado também foi afetada pelo teor de sólidos do lodo bruto descartado e, conseqüentemente pela TAS.

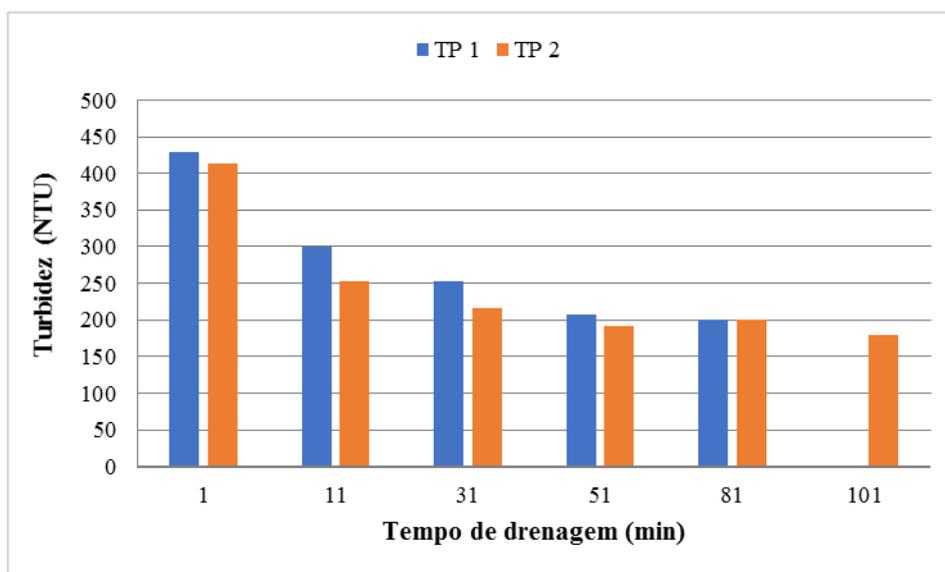


Figura 5 - Turbidez do drenado durante o desaguamento dos TP 1 e TP 2.

No primeiro minuto de drenagem, a água drenada obteve alto valor de turbidez, acima de 400NTU para os dois ensaios. Esta água nos momentos iniciais é o volume de água ultrapassado o bloco drenante no início de alimentação de lodo no leito. Como o lodo não foi condicionado com polímero e, ainda não havia camada de lodo formada para contribuir na filtração, parte do volume inicial acabou passando pelas aberturas de 0,7mm do bloco drenante. No tempo de 11min, a qualidade do drenado para turbidez melhorou 30% para o TP 1 com TAS de 3kgST/m² e quase 40% para o TP 2 com TAS de 7kgST/m². O melhor desempenho para o TP 2 se deve ao fato do teor inicial de sólidos ser maior, 2,8%, com aspecto do lodo menos líquido e maior camada de lodo sólido formada sobre o bloco drenante.

Apesar do drenado do TP 2 ter reduzido 56% na leitura da turbidez entre 1 e 101min de desaguamento, o valor em 101min de 180NTU é alto comparado a qualidade do drenado de lodo condicionado com polímero. Silva *et al* (2016) encontrou valores de turbidez abaixo de 10NTU a partir de 5min de drenagem de lodo aeróbio condicionado com polímero em leito com piso de blocos drenantes. Quando comparado com leito de drenagem com o meio filtrante de manta geotêxtil, Mortara (2011) obteve em média 64NTU de turbidez no drenado para lodo anaeróbio sem polímero, aplicando uma TAS de 13,6kgST/m² e teor de sólido inicial de 2,4%, e em média 12NTU para o lodo anaeróbio condicionado com polímero aplicando TAS 12,8kgST/m² e teor de sólido inicial de 2,3%. Estes resultados corroboram maior eficiência no desaguamento quando o lodo é condicionado.

Secagem

A partir dos dados de teor de sólidos e o tempo de secagem foi possível plotar a curva de secagem para o TP 1 e TP 2, os quais estão ilustrados nas Figuras 6 e 7.

Como pode ser observado, o formato da curva de secagem para o TP 1 e TP 2 foram parecidas com uma tendência linear, exceto pela maior amplitude do TP 2 que atingiu maior teor final de sólidos totais.

Após o primeiro dia do desaguamento, o teor de ST ficou aproximado, 13,9% para TP 1 e 14,4% para o TP 2. Nota-se que apesar do teor de ST do lodo bruto do TP 2 ter sido mais que duas vezes o valor do TP 1, 2,8% e 1,2%, respectivamente, após a drenagem o resultado na redução de umidade foi praticamente a mesma, justificado pelo tipo de lodo e a camada hidráulica inicial serem os mesmos.

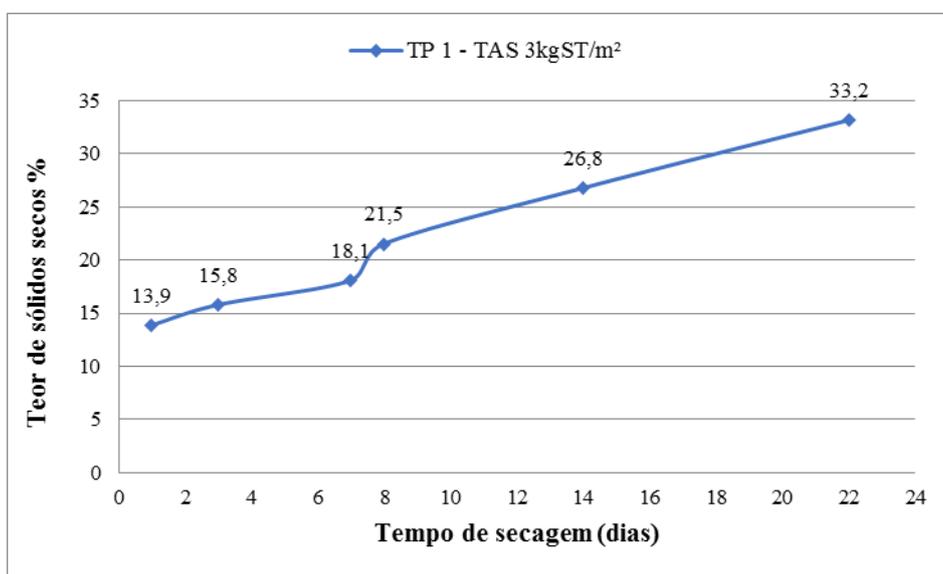


Figura 6 - Curva de secagem para o TP 1.

No entanto, dentro praticamente do mesmo período de secagem, os valores para %ST final foram diferentes. O TP 1 atingiu 33,2%ST em 22 dias e o TP 2 atingiu 63,5%ST em 24 dias.

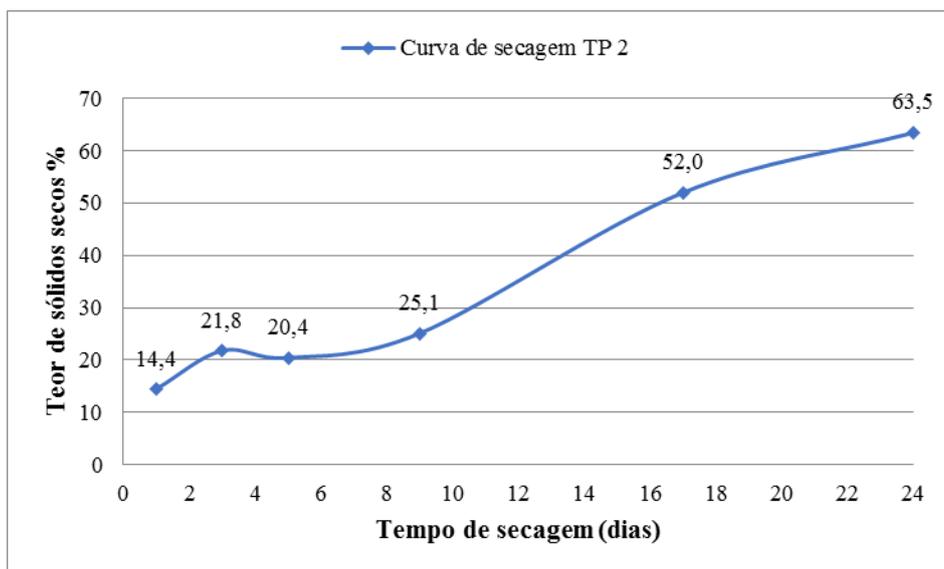


Figura 7 – Curva de secagem para o TP 2.

Apesar da coincidência da concentração de sólidos inicial do TP 2 ter sido mais que o dobro do TP 1, esta diferença na secagem final está relacionada às condições climáticas e não à concentração inicial do lodo de alimentação, já que a %ST após o primeiro dia do descarte ficaram muito próximas. Na Tabela 3 está apresentado as condições climáticas encontradas durante o período de secagem para TP 1 e TP 2. Como pode ser observado na Tabela 3, o TP 2 teve período mais favorável para secagem, embora ter iniciado ainda no inverno, pois a radiação solar média diária foi maior causando aumento de temperatura e a umidade relativa do ar foi a mais baixa.

Tabela 3 – Condições climáticas durante o TP 1 e TP 2.

Teste	Estação	Período (dias)	Temperatura Média (°C)	Umidade Média (%)	Radiação Média (kJ/m ²)	Radiação Acumulada (kJ/m ²)	Precipitação Acumulada (mm)
TP 1	Outono	22	17,9	85	13.620,7	334.207,5	151,2
TP 2	Inverno	24	20,5	66,5	20.098,5	451.002,0	39,6

Ao comparar com os resultados obtidos por Mortara (2011), o leito com piso de blocos drenantes apresentou vantagem na secagem comparado ao leito de drenagem com manta geotêxtil. No Teste de Mortara (2011) o teor de sólidos final encontrado em 20 dias de secagem foi de 23,7%, para TAS de 13,6% iniciando a etapa de secagem com quase 12%ST. Segundo Mortara (2011), o período de secagem foi entre fevereiro e março de 2011, estação de verão no Brasil, o que caracteriza alta temperatura e radiação solar. O TP 2 o qual ocorreu durante estação do inverno, poderia ter encerrado a etapa de secagem em 9 dias com 25,1%ST, valor próximo ou até acima do atingido por sistemas mecânicos e desaguamento que usam condicionantes.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir dos ensaios em escala piloto de leito com piso de blocos drenantes com lodo anaeróbio se mostraram satisfatórios pelo tipo de operação, apesar de ter apresentado uma drenagem mais lenta e qualidade da água drenada inferior em relação a turbidez, comparado com desaguamento de lodo anaeróbio e aeróbio condicionados com polímero.

Em relação a secagem, as condições climáticas se mostraram determinantes no resultado, principalmente a umidade relativa do ar.

Quanto a taxa de aplicação de sólidos, os resultados apresentados comprovam que não basta fixar uma TAS para dimensionar um leito, sendo que poderá ocorrer variação de concentração de sólidos no lodo, variação na operação e variação das condições climáticas que influem na secagem e umidade final.

Ainda com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- A redução de volume após 24h do descarte é em torno de 70% para o lodo anaeróbio sem polímero, independente da concentração inicial de sólidos;
- Durante a fase de drenagem a vazão ou velocidade de remoção da água livre do lodo é dependente do teor inicial de sólidos no lodo bruto, quanto mais elevado mais lenta a drenagem;
- Após a etapa de drenagem de 24 horas, o lodo anaeróbio atinge em torno de 14%ST independente da concentração inicial de sólidos;
- A camada de lodo formada sob o piso de bloco drenante contribui para uma melhor qualidade da água drenada quando não se usa polímero;
- Em boas condições de secagem, o lodo anaeróbio em leito com piso de blocos drenantes poderá atingir acima de 60%ST em torno de 22 dias de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22º ed. Washington. 2011.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Brasília 2011.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 03 de março de 2017.
4. BRASWORLD. Imagem bloco drenante. Disponível em:< <http://www.brasworld.net/site/secagem-de-lodo/bloco-drenante/>>. Acesso em: 30 de julho de 2015.
5. GRAVITY FLOW SYSTEM. GFS Wedgewater Filter Bed. Disponível em: <<http://www.gravityflow.com/>>. Acesso em: 10 de abril de 2015.
6. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 17 de abril de 2017.
7. INMET <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 25 de novembro de 2016.
8. MORTARA, F. C.; Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios. Dissertação Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011. 241p.
9. SILVA, S. M. C da *et al.* Avaliação do comportamento de secagem de lodo aeróbio em leito de secagem com piso de blocos drenantes durante as estações do ano no Brasil. Simpósio XVII SILUBESA – ABES, 2016.
10. USEPA. Design manual: Dewatering Municipal Wastewater Sludge. 1a ed. Cincinnati: EPA, 1987.
11. VON SPERLING, M. (Org.); ANDREOLI, C. V; FERNANDES, F. Sludge treatment and disposal. 1. ed. Londres: IWA Publishing, 2007. v. 1. 244p.