

III-364 - AVALIAÇÃO OPERACIONAL DO SISTEMA DE SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO DE LODO PROVENIENTE DE UM SISTEMA DE METANIZAÇÃO VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODISSÓLIDOS

Bernardo Ornelas Ferreira ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Rafael Prado Alves

Graduando em Engenharia Civil pela UFMG, bolsista de Iniciação Científica pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Marina Souza Oliveira

Graduanda em Engenharia Ambiental pela UFMG, bolsista de Iniciação Científica pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Luis Felipe Dornfeld Braga Colturato

Engenheiro Ambiental. Doutor em Saneamento pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Diretor Executivo da Methanum Resíduo e Energia – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne, Reino Unido. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901 Brasil.
Tel: +55 (31) 9350-9095 - e-mail: ornelas.ambiental@gmail.com

RESUMO

A ausência de área adequada para descarte final de resíduos urbanos em vários municípios brasileiros é um aspecto que aponta para a necessidade de implementação de sistemas descentralizados de tratamento de resíduos, em especial locais onde o saneamento básico ainda é incipiente ou inexistente. Sob este panorama, a metanização (digestão anaeróbia) de resíduos orgânicos têm tomado destaque no âmbito do tratamento da matéria orgânica com o aproveitamento dos subprodutos gerados, a destacar o biogás (passível de recuperação energética) e o lodo (com potencial de utilização agrícola e como água de reúso). As legislações ambientais que tratam sobre disposição final do lodo se tornam mais exigentes, por isso é necessário garantir os requisitos ambientais e de segurança para reutilização do lodo ou para a sua disposição final. O principal foco no gerenciamento do lodo é a remoção da parcela líquida, para redução de seu volume e, desta forma, reduzir os gastos com o transporte e com a área para disposição final. Nesse sentido, esta pesquisa visa avaliar a eficiência de desidratação de um sistema de separação sólido-líquido, com vistas à produção de biossólidos. Dentre as unidades estudadas, a malha geotêxtil com porosidade de 400 µm apresentou melhor desempenho, alcançando maiores teores de sólidos em um menor espaço de tempo, quando comparadas com a malha de 200 µm. De uma maneira geral, o lodo digerido anaerobicamente apresenta uma boa capacidade de desaguamento.

PALAVRAS-CHAVE: Metanização, biodigestor, lodo anaeróbio, desaguamento.

INTRODUÇÃO

A ausência de área adequada para descarte final de resíduos urbanos em vários municípios brasileiros é um aspecto que aponta para a necessidade de implementação de sistemas descentralizados de tratamento de resíduos, em especial locais onde o saneamento básico ainda é incipiente ou inexistente.

Sob este panorama, a metanização (digestão anaeróbia) de resíduos orgânicos têm tomado destaque no âmbito do tratamento da matéria orgânica com o aproveitamento dos subprodutos gerados, a destacar o biogás (passível de recuperação energética) e o lodo (com potencial de utilização agrícola e como água de reúso) (CHERNICHARO, 2007; FNR, 2010). Uma das vantagens dos sistemas descentralizados de tratamento é a possibilidade da reutilização de todos os produtos na comunidade local, seja ela uma cidade de pequeno porte, cidades isoladas ou campi universitários.

A água de reúso pode ser utilizada para a emulsificação do material orgânico a ser introduzido no digestor e na fertirrigação de culturas agrícolas. O biogás, com elevado potencial energético, pode ser aproveitado como energia elétrica e térmica, através de um sistema de cogeração. O lodo produzido, também denominado bio sólido, apresenta potencial de aplicação agrícola como insumo, em vista da substituição de fertilizantes químicos.

As legislações ambientais que tratam sobre disposição final do lodo se tornam mais exigentes, por isso é necessário garantir os requisitos ambientais e de segurança para reutilização do lodo ou para a sua disposição final. O lodo, visto muitas vezes como material passível de aterramento, atualmente é avaliado como uma fonte de energia após seu tratamento nas etapas de gerenciamento do lodo. O principal foco no gerenciamento do lodo é a remoção da parcela líquida, para redução de seu volume e, desta forma, reduzir os gastos com o transporte e com a área para disposição final.

É de grande importância a desidratação do lodo, visto que a água presente influi em suas características físicas e em seu manuseio, já que é responsável por grande parte do volume. A remoção de volume é facilmente alcançada, visto que a água removida nessa etapa, denominada de água livre, não está associada a partícula de sólidos e é facilmente separada por gravidade, representando 70 a 75% do total da umidade (MOO-YOUNG, 2002).

Os métodos de desaguamento mais comumente utilizados incluem processos naturais, tais como leitos de secagem e lagoas de lodo; e processos mecânicos, como centrífugas, filtros à vácuo, filtros prensa de placas, filtros prensa de esteiras e prensas parafuso. Recentemente, tem-se utilizado malhas geotêxteis (*bags* de geotêxtil) em diferentes conformações (VANZETTO, 2012).

O objetivo da pesquisa é avaliar a eficiência de desidratação de um sistema de separação sólido-líquido, com vistas à produção de bio sólidos

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi desenvolvido na Plataforma de Metanização de Resíduos Orgânicos (pMethar), implantada no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O sistema é dotado de uma unidade de triagem de resíduos, um tanque de alimentação de substrato, um reator de metanização, reservatório de material digerido, um sistema de desaguamento do lodo digerido, um sistema de condicionamento de biogás, um sistema de cogeração de eletricidade e calor a partir do biogás e um sistema de secagem térmica de lodo (Figura. 1). A eletricidade e o calor gerados na unidade de cogeração serão utilizados para uso na própria planta e áreas adjacentes, enquanto os bio sólidos e a água para reúso serão utilizados para fertirrigação de áreas verdes no entorno da planta.



Figura 1: a) Contêiner de triagem/laboratório; b) reator de metanização; c) sistema de separação sólido-líquido e secagem do material digerido; d) sistema de pós-tratamento de efluentes líquidos; e) plataforma de tratamento e armazenamento de biogás

O reator de metanização em estudo é operado em um único estágio de digestão anaeróbia, sob a via úmida de tratamento. A mistura do sistema é realizada por recirculação interna da biomassa através do bombeamento desta em diferentes alturas de sucção e recalque. O aquecimento do sistema é realizado pela recirculação de água quente em uma serpentina instalada na parte interna do reator. A água é aquecida por um sistema a vácuo de aquecimento solar.

Subsequente ao reator de metanização, o efluente é direcionado ao sistema de separação sólido-líquido (Figura 2), composto por quatro tanques em polipropileno de quinhentos litros (500L) equipados com malhas geotêxteis de diferentes aberturas (Tabela 1). Com o intuito de minimizar as perdas d'água por evaporação, visando a maior recuperação/produção possível de água para reúso, os leitos foram mantidos com a tampa fechada.



Figura 2: Desenho esquemático da unidade separação sólido-líquido e dos leitos de drenagem

Tabela 1: Síntese dos parâmetros da unidade de desaguamento e dos ensaios realizados nos leitos de drenagem

Parâmetros	Unidade	Unidade de separação sólidos líquido	
		I	II
Diâmetro do leito	cm	105	
Altura útil	cm	50	
Volume de lodo aplicado	L	360	
Malha geotêxtil	µm	400	200

Rotina operacional e monitoramento

O lodo efluente ao reator de metanização é armazenado no reservatório de material digerido. Em seguida, com o uso de uma bomba de deslocamento positivo, é aplicada uma batelada de 360L de efluente em cada unidade de separação sólido-líquido, com a teor de sólidos igual a $11,6 \text{ gST.L}^{-1}$ (Figura 3). Após a batelada, a massa líquida é mantida em repouso para o adensamento do lodo e filtração do excesso de água presente nesse.



Figura 3: Operação e monitoramento dos leitos de desaguamento

Em princípio, a separação de fases ocorre por diferença de densidade. Uma camada de lodo adensada forma-se no fundo do leito, ao passo que uma camada de líquido sobrenadante destaca-se na parte superior. Ao longo do teste de separação sólido-líquida, o líquido sobrenadante percola pelo leito, sendo encaminhado para unidade de pós-tratamento de efluentes líquidos (em desenvolvimento). Quando a porção de lodo adensado tornava-se

visível (desaguamento aparente) era realizado o primeiro ensaio de sólidos totais (ST), conforme (APHA, 2005). Após o término de cada ensaio, o biossólido era removido do leito e as malhas lavadas com água. Nesse contexto, foram ainda realizados testes para avaliar a viabilidade de reutilização das malhas geotêxteis, a partir de novas bateladas aplicadas ao sistema.

Para avaliar a qualidade do efluente final e a eficiência de remoção de matéria orgânica, também foram realizados testes de DQO, NTK, sólidos suspensos totais (SST), coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* do percolato ao leito drenante (APHA, 2005). Essas informações visam subsidiar a definição e o projeto de um sistema para o pós-tratamento da fração líquida efluente do sistema de separação sólido-líquido.

Cabe salientar ainda que, para remoção do excesso de água no biossólido, o composto retido no geotêxtil será encaminhado para uma unidade de secagem térmica (em desenvolvimento), cujo calor será proveniente dos gases de exaustão do motor de cogeração de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa buscou avaliar o sistema de separação sólido-líquido do efluente do reator de metanização para produção e valorização do biossólido. Buscou-se ainda definir indicadores de produção de biossólidos a partir dos volumes de lodo aplicados e de geração de efluente percolato pelo sistema de separação sólido-líquido.

Testes de separação sólido-líquido

Observa-se que o desaguamento aparente na Unidade I ocorreu no 6º dia, momento em que a concentração de sólidos atingiu 57,5 gST.L⁻¹ (Figura 2), ao passo que na Unidade II o desaguamento aparente só foi observado a partir do 13º dia de operação, quando a concentração de sólidos aferida foi de 54,5 gST.L⁻¹. Ao fim do ensaio (15º dia), o lodo adensado na Unidade I alcançou o teor de sólidos igual a 106,70 gST.L⁻¹, resultando em uma massa final de sólidos totais igual a 2,56 kgST. Já na Unidade II, o teor final de sólidos atingiu 76,9 gST.L⁻¹ e massa final de sólidos igual a 2,78 kgST.

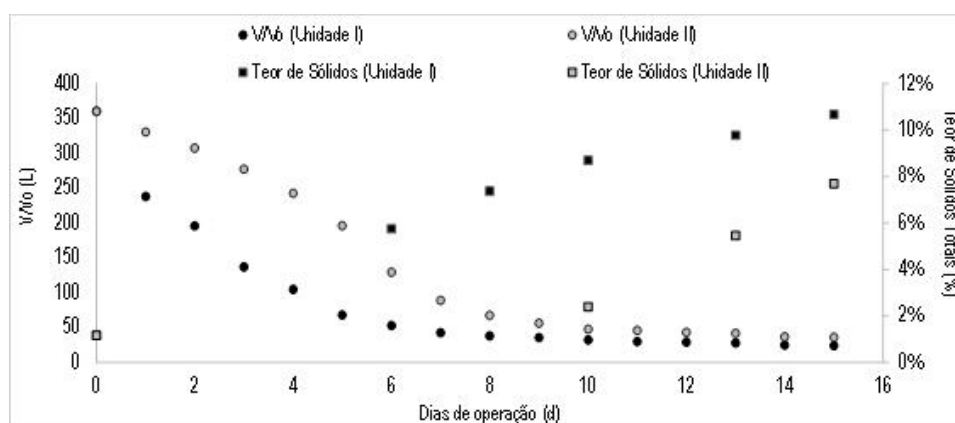


Figura 4: Ensaio de desaguamento nas unidades de separação sólido-líquido dotadas por malhas geotêxteis de 400 e 200 μ m.

Na Unidade I de separação sólido-líquido, observa-se que a taxa de filtração foi mais acentuada no início do experimento, sendo observada a redução de 71% do volume inicial no 5º dia de operação. No entanto, ao longo do processo de desaguamento, a taxa de filtração decresce ao passo que a eficiência de desaguamento aumenta. Isso ocorre, principalmente, em virtude da formação de uma “torta” de lodo no fundo do geotêxtil, resultado do processo de colmatação dos poros do geotêxtil. Uma vez formada a “torta” há uma maior retenção de sólidos e, conseqüentemente, o aumento da massa de sólidos totais dentro da unidade de separação sólido-líquido.

Acerca da Unidade II de separação sólido-líquido, observa-se uma maior resistência de filtração, dada a menor abertura de poros da malha geotêxtil (200 μm). No 5º de operação observou-se a redução de 46% do volume inicial.

Observados os parâmetros aferidos no ensaio realizado com a malha geotêxtil de abertura de poros igual a 400 μm (Unidade I) pode-se estimar alguns indicadores de produtividade da unidade de separação sólido-líquido, tais como: a produção de biossólidos por volume de lodo aplicado, a qual atingiu o valor de 7,11 kgST.m^{-3} de lodo aplicado; e a geração de efluente líquido percolado por volume de lodo aplicado, a qual alcançou o valor de 0,93 $\text{m}^3 \text{ percolado.m}^{-3}$ de lodo aplicado.

No ensaio realizado com a malha de 200 μm (Unidade II), a produção de biossólidos observada foi de 7,73 kgST.m^{-3} de lodo aplicado, enquanto a geração de efluente líquido percolado por volume de lodo aplicado alcançou o valor de 0,90 $\text{m}^3 \text{ percolado.m}^{-3}$ de lodo aplicado.

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros estudados durante o processo de separação sólido-líquido em cada unidade.

Tabela 2: Síntese dos ensaios de desaguamento nas unidades de separação sólido-líquido

Parâmetros	Unid.	Unidade de separação sólido-líquido	
		I	II
Malha geotêxtil	μm	400	200
Volume da batelada de lodo	m^3	0,36	0,36
Tempo de desaguamento aparente	d	6	13
Teor de sólidos totais no desaguamento aparente	%	5,8	5,5
Volume de lodo no desaguamento aparente	m^3	0,053	0,042
Tempo de desaguamento total (d)	d	15	15
Teor de sólidos totais final	%	10,7	7,6
Volume remanescente no leito	m^3	0,024	0,036
Carga de sólidos totais final	kgST	2,56	2,78
Produtividade de biossólido	$\text{kgST.m}^{-3} \text{ lodo}$	7,11	7,73
Geração de efluente líquido	$\text{m}^3 \text{ percolado.m}^{-3} \text{ lodo}$	0,93	0,90

É importante salientar que, os sólidos dissolvidos no meio líquido percolam facilmente entre os poros da malha geotêxtil. Via de regra, estações de tratamento de efluentes lançam mão de coagulantes para agregar os sólidos dissolvidos e, conseqüentemente, aumentar a eficiência de retenção de sólidos. Acerca disso, na ρMethar , torna-se necessária a implantação de uma unidade para o pós-tratamento da fração líquida efluente, em vistas da remoção adicional de sólidos dissolvidos e da matéria orgânica remanescente.

Os principais parâmetros que ratificam o uso de uma unidade de pós-tratamento da fração líquida efluente são descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Principais parâmetros aferidos no sistema de separação sólido-líquido

Parâmetro	Ponto de coleta	Nº de dados	Valor	Unidade
SST	Unidade I	16	3,2	g.L^{-1}
	Unidade II	16	2,9	g.L^{-1}
NTK	Unidade I	4	1513	mg.L^{-1}
	Unidade II	4	1198	mg.L^{-1}
DQO	Sistema de separação sólido-líquido	8	4686	mg.L^{-1}
Coliformes totais	Sistema de separação sólido-líquido	6	$1,20 \times 10^{-5}$	$\text{NMP. } 100\text{mL}^{-1}$
<i>E. Coli</i>	Sistema de separação sólido-líquido	6	$1,70 \times 10^{-4}$	$\text{NMP. } 100\text{mL}^{-1}$

Viabilidade de reúso das malhas geotêxteis

Com o propósito de avaliar a viabilidade técnica da separação sólido-líquido por leitos dotados de manta geotêxtil, aferiu-se a taxa média de filtração quando as malhas foram reutilizadas em novas bateladas.

Dada a reutilização do geotêxtil para novas bateladas, observou-se uma maior vazão de lodo filtrado no início do processo, prejudicando a retenção de sólidos nas unidades (Figura 5). Isso pode ter ocorrido em função das forças de tensão exercidas pela massa líquida no geotêxtil, implicando no aumento da porosidade da trama geotêxtil e, conseqüentemente, na maior perda de sólidos no efluente líquido.

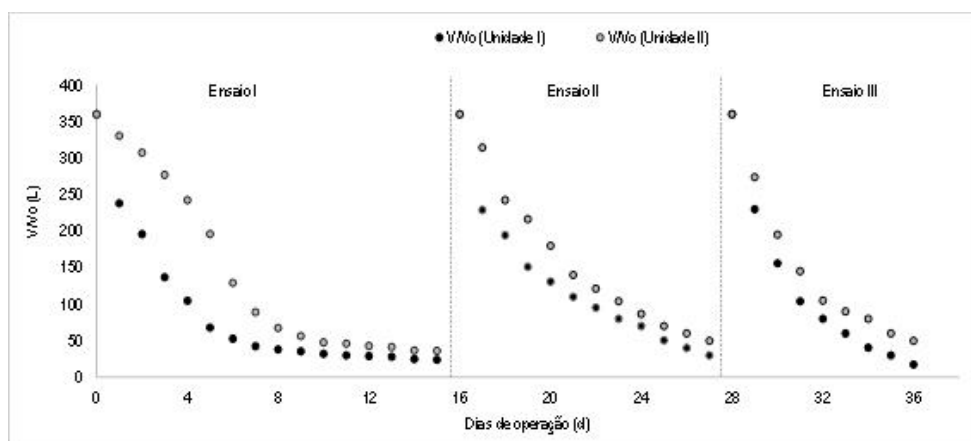


Figura 5: Avaliação da viabilidade de reúso das malhas geotêxteis para a separação de fases sólido-líquida

Observada a Tabela 4, nota-se que a taxa de filtração aumentou ao passo que novas bateladas eram aplicadas ao sistema, principalmente no terceiro ensaio realizado nas Unidades I e II, em que houve o aumento de 25 e 66% na taxa de filtração, respectivamente, em comparação ao primeiro ensaio de separação sólido-líquido.

Tabela 4: Taxa de filtração média nas unidades de separação sólido-líquido

Ensaio	Taxa de filtração	Taxa de filtração
	Unidade I (L.d-1)	Unidade II (L.d-1)
I	45,4	32,8
II	50,2	44,0
III	60,3	54,7

Como alternativa para potencializar o reúso das malhas geotêxteis, recomenda-se a realização de testes sem a remoção dos sólidos retidos nos leitos, como forma de avaliar o efeito da colmatação na eficiência da separação sólido-líquido e no reúso das malhas. Também recomenda-se o estudo da adição de coagulantes naturais, como forma de agregar as partículas dissolvidas e em suspensão, desde que não interfiram no processo de pós-tratamento da fase líquida. Além disso, a aplicação de vácuo no sistema ou o uso de um bag pressurizado, podem promover a melhoria das eficiências das unidades.

Avaliação operacional das unidades de separação sólido-líquido

No período operacional estudado, observou-se que o ambiente criado dentro dos leitos de drenagem (sombreado e úmido) propiciou uma proliferação pronunciada de insetos (larvas, moscas, mosquitos e baratas), após os primeiros dias de desaguamento. Notou-se também um acentuado odor de gás amoníaco liberado no momento de abertura das tampas dos leitos, a sua liberação foi favorecida pelas altas temperaturas dos tanques, promovendo a volatilização da amônia contida no lodo.

Quando disposto nas áreas verdes adjacentes, observou-se o crescimento de espécies vegetais e ervas daninhas no biossólido, fato que reforça a necessidade do seu pós-tratamento térmico, tanto para destruição de microrganismos quanto para inativação de sementes remanescentes do tratamento anaeróbio.

CONCLUSÃO

As unidades de separação sólido-líquido apresentaram melhor desempenho de retenção de sólidos durante a primeira batelada aplicada, visto que as forças de tensão exercidas pela massa líquida sobre a malha geotêxtil prejudicaram a retenção de sólidos nos testes seguintes. Salienta-se ainda que a perda de sólidos na fração percolada do lodo impacta sensivelmente o dimensionamento e a operação da unidade de pós-tratamento de líquidos afluentes a ser implantada a jusante.

Dentre as unidades estudadas, a malha geotêxtil com porosidade de 400 µm apresentou melhor desempenho, alcançando maiores teores de sólidos em um menor espaço de tempo, quando comparadas com a malha de 200 µm. De uma maneira geral, o lodo digerido anaerobicamente apresenta uma boa capacidade de desaguamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido das seguintes agências e instituições: CNPq, FAPEMIG, FEAM, SNSA - Ministério das Cidades, Escola de Engenharia da UFMG, Departamento de Gestão de Áreas Verdes da UFMG, Methanum Engenharia Ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, W. A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Washington, D. C: American Public Health Association: 1496 p. 2012.
2. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: UFMG, 246 p., 2007.
3. FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. Gülzow, Alemanha, 2010.
4. MOO-YOUNG, H. K. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tube. Geotextiles and Geomembranes. ELSEVIER nº20. E.U.A. 2002.
5. VANZETTO, A. S. Análise das Alternativas Tecnológicas de Desaguamento de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto. [Distrito Federal] 2012. 185p. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília. 2012.