

ESTUDO DE AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA PARA SECAGEM TÉRMICA DE LODO COM BIOGÁS NA ETE FRANCA

Antônio Sérgio Chaves Ferreira(1)

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL), Técnico em Eletrotécnica pela ETEC Getulio Vargas. Em sua trajetória profissional atuou como encarregado de manutenção na ETE São Miguel e no departamento de interceptação e sistemas isolados da RMSP, no departamento de engenharia da unidade de tratamento de esgotos, onde instalou, acompanhou e desenvolveu o sistema gaseificação por plasma do lodo até o presente.

.**Endereço**⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo – São Paulo - CEP: 05429-900 – Brasil
- Tel: +55 (11) 94746-8185 - e-mail: antonioscferreira@sabesp.com.br

Resumo

A busca pela universalização do tratamento de esgoto, essencial para a saúde das pessoas principalmente na vida urbana, gera cada vez mais uma quantidade maior de lodo de esgoto, resíduo deste tratamento, isto nos faz buscar novos processos e tecnologias para tratar adequadamente este resíduo, aproveitar os recursos disponíveis neste lodo está se tornando mandatório como temos visto nos fundamentos da economia circular e ESG. A imposição do aterro sanitário, onde a ETE dispõe o lodo atualmente, exigindo o teor de sólidos do lodo para 50%, nos fez buscar alternativas para atender esta exigência e a partir desta secagem podemos vislumbrar novas possibilidades e reaproveitamento do lodo, contudo se mantivermos os processos da ETE Franca como estão hoje necessitaremos de uma grande quantidade de energia e, conseqüentemente aumento das despesas e ainda uma maior emissão de GEE para esta secagem, propomos então neste artigo um estudo com diversos cenários e além do balanço energético da secagem, o aperfeiçoamento da desidratação, objeto de outro estudo da nossa área.

Introdução

O tratamento de esgoto gera um subproduto significativo: o lodo. Este material, rico em matéria orgânica e nutrientes, representa um desafio ambiental e um potencial recurso. O descarte inadequado do lodo pode contaminar o solo e a água, enquanto o tratamento e aproveitamento podem gerar benefícios socioambientais e econômicos. A secagem do lodo é uma etapa crucial nesse processo, pois reduz seu volume e facilita o transporte, armazenamento e posterior utilização.

A partir de 2025 a ETE Franca só poderá dispor em aterro o lodo proveniente do tratamento de esgotos com teor de sólido mínimo de 50%, e como dispõe de área de secagem solar de apenas uma fração do volume total necessário.

A biodigestão é um processo que tem como finalidade a estabilização ou mineralização do lodo com produção de biogás, que é um gás composto majoritariamente por metano seguido de dióxido de carbono. Esse tipo de processo é atualmente utilizado na ETE Franca onde parte do biogás é convertido em metano que abastece a frota da Sabesp na região e o excedente de biogás poderá ser utilizado na secagem do lodo, porém mesmo que utilizássemos todo o biogás gerado na ETE não seria suficiente para a secagem do lodo.

Isto posto, faz-se necessário então a secagem térmica para elevar o teor de sólidos que hoje está entre de 20% a 25% de ST, a quantidade de energia necessária para esta redução de umidade, se não alterarmos os processos atuais, principalmente a desidratação será de grande monta, impactando fortemente a conta de despesas da planta e gerando um grande volume de gases de efeito estufa (GEE). Como alternativa propomos: A modificação da desidratação da ETE (objeto de outro estudo do nosso departamento) e a partir desta modificação, otimizar a secagem no secador solar existente de forma a não precisarmos de fontes externas e energia, bastando a utilização do biogás excedente produzido pelos digestores da ETE Franca e não aproveitado para o abastecimento da frota de veículos da companhia.

Objetivo

Propor de forma simplificada e com base em balanço energético e de massa, um estudo de viabilidade técnico-econômica de uma modificação no sistema de desidratação e a utilização da estufa de secagem solar para minorar a necessidade de energia térmica, que será utilizada nos secadores térmicos que estão sendo instalados na ETE,

garantindo a secagem do lodo de forma adequada sem a necessidade de uso de fontes externas extremamente custosas e que gerariam uma grande quantidade de gases de efeito estufa (GEE).

Métodos de secagem de lodo de esgoto

Existem diversas formas de secagem que podem ser aplicadas na secagem de lodo, descrevemos abaixo apenas alguns tipos destas tecnologias:

Secagem Natural

A secagem natural envolve a exposição do lodo ao sol e ao vento em leitos de secagem. Este método é simples e de baixo custo, mas depende de condições climáticas favoráveis e requer grandes áreas de terreno.

Secagem Térmica

A secagem térmica utiliza calor para remover a umidade do lodo. Existem diversas tecnologias, incluindo:

- **Secadores de Tambor Rotativo:** O lodo é introduzido em um tambor rotativo aquecido, onde a umidade é evaporada.
- **Secadores de Esteira:** O lodo é transportado em cintas através de uma câmara aquecida, onde o calor é aplicado diretamente ou indiretamente.
- **Secadores de leito fluidizado:** O lodo é mantido em suspensão por um fluxo de ar quente, promovendo uma secagem rápida e uniforme.

Secagem em Estufa Solar

A secagem em estufa solar é um método que combina a secagem natural e o uso de tecnologias simples para acelerar o processo. As estufas solares são estruturas fechadas com cobertura transparente que permitem a entrada de radiação solar. O calor gerado aumenta a temperatura interna, promovendo a evaporação da umidade do lodo.

- **Vantagens:** Baixo custo operacional, redução de odores e menor dependência de condições climáticas extremas.
- **Desvantagens:** Requer espaço físico considerável e pode necessitar de mecanismos adicionais de controle de umidade e temperatura.

Metodologia

Procuramos comparar as necessidades energéticas a partir de diversas umidades de saída do processo de desidratação, para isso tomamos como base a umidade (ST 20%) e volume de lodo atual (90 ton/dia) e comparamos com várias umidades possíveis no sistema de desidratação, que foram obtidas em testes entre Janeiro e Fevereiro deste ano, identificando a necessidade de complemento de energia até o ponto mínimo de equilíbrio em que não será necessário a complementação de energia com fonte externa, começamos realizando um exercício de uso da estufa de secagem solar, pois a capacidade de evaporação é medida pela diminuição de água contida no lodo, então fixamos este dado de capacidade de evaporação e simulamos o aumento de entrada de lodo, mantendo a capacidade de água evaporada (12 ton/dia em média), como segue:

Tabela 1: Capacidade de secagem do secador solar para diferentes teores de sólidos de entrada

Cenário Atual

Massa de lodo desaguado	20000 Kg/dia	
Teor de sólidos	20 %	
Massa Seca	4000 Kg/dia	
Massa seca a 50%	8000 Kg/dia	
Massa de água evaporada	12000,00 Kg/dia	Evaporação de água por dia

Desague 26% secagem 50% com a mesma capacidade de evaporação do cenário atual

Capacidade de evaporação	12000 Kg/dia
Teor de sólidos entrada secador	26 %
Teor de sólidos saída secador	50 %
Massa de lodo desaguado entrada do secador 26%	25000,00 Kg/dia

Desague 27% secagem 50% com a mesma capacidade de evaporação do cenário atual

Capacidade de evaporação	12000 Kg/dia
Teor de sólidos entrada secador	27 %
Teor de sólidos saída secador	50 %
Massa de lodo desaguado entrada do secador 27%	26086,96 Kg/dia

Desague 28% secagem 50% com a mesma capacidade de evaporação do cenário atual

Capacidade de evaporação	12000 Kg/dia
Teor de sólidos entrada secador	28 %
Teor de sólidos saída secador	50 %
Massa de lodo desaguado entrada do secador 26%	27272,73 Kg/dia

Desague 29% secagem 50% com a mesma capacidade de evaporação do cenário atual

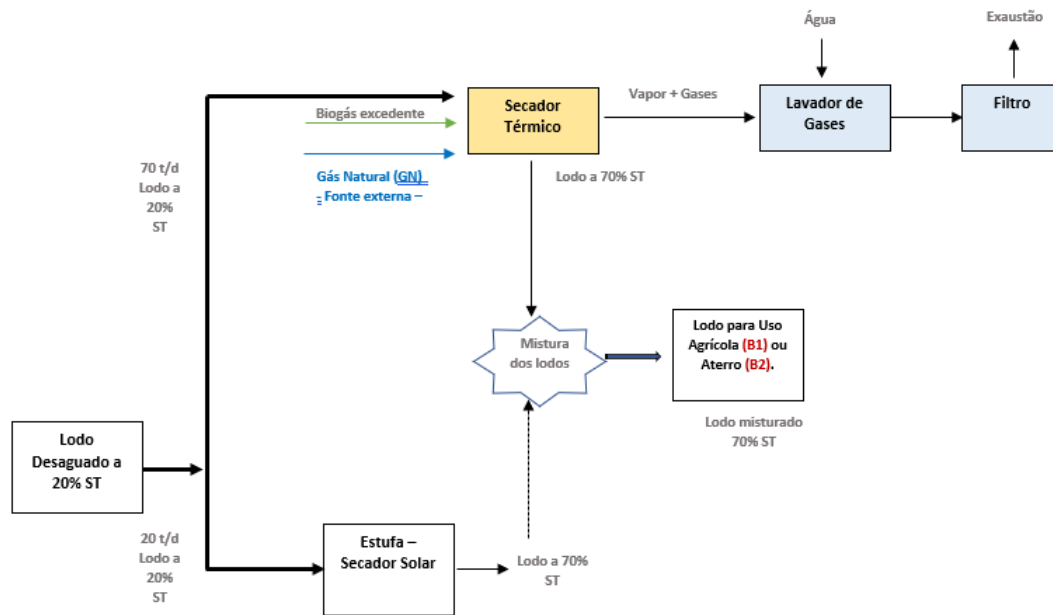
Capacidade de evaporação	12000 Kg/dia
Teor de sólidos entrada secador	29 %
Teor de sólidos saída secador	50 %
Massa de lodo desaguado entrada do secador 26%	28571,43 Kg/dia

Desague 30% secagem 50% com a mesma capacidade de evaporação do cenário atual

Capacidade de evaporação	12000 Kg/dia
Teor de sólidos entrada secador	30 %
Teor de sólidos saída secador	50 %
Massa de lodo desaguado entrada do secador 26%	30000,00 Kg/dia

A partir destas capacidades calculadas identificamos as necessidades de energia para a secagem, a energia disponível a partir do biogás, custo de energia extra caso seja necessário.

Figura 2: Cenário “1” – Uso de Biogás excedente da ETE e compra de GN para secagem térmica do lodo, com as alternativas de uso agrícola (B1) ou destinação do lodo a 50% ST a Aterro Sanitário (B2).



Fonte: elaboração própria.

Cenário 1: Condição atual, lodo desaguado a 20% de teor de sólidos

Secagem Térmica ETE Franca		
<u>Considerações iniciais</u>		
Lodo base seca à ser processada	18000,00	Kg/dia
Lodo desaguado à 20% SST	90000,00	Kg/dia
Lodo desaguado enviado para estufa	20000,00	Kg/dia
Lodo à ser seco no secador	70000,00	Kg/dia
Secagem horária	2916,67	Kg/h
Teor de sólidos Entrada	20,00	%
Teor de sólidos Saída	50,00	%
Lodo seco à 50% SST	1166,67	Kg/h
Quant. de água a evaporar	1750,00	Kg/h
Dado do secador Gratt*	900,00	Kcal/KgH2O
Energia para secagem	1575000,00	Kcal/h
Energia para secagem por dia	-37,80	Gcal/dia
<u>Biogás produzido nos digestores</u>		
Produção média diária de biogás	2968,00	Nm ³ /dia
Consumo de biogás para abastecimento da frota	187,25	Nm ³ /dia
Biogás disponível	2780,75	Nm ³ /dia
Poder calorífico do biogás	5500,00	Kcal/Nm ³



Energia bruta biogás	15,29	Gcal/dia
Perdas térmica	15,00	%
Energia disponível biogás	13,00	Gcal/dia
<u>Necessidade de energia externa para secagem</u>		
Energia necessária p/ secagem	-37,80	Gcal/dia
Energia disponível biogás	13,00	Gcal/dia
Energia complementar p/ secagem	-24,80	Gcal/dia
Poder calorífico do gás natural	8600,00	Kcal/Nm ³
Perdas térmicas no sistema	15,00	%
Quantidade de gás natural	3392,61	Nm ³ /dia
Valor do Nm ³ do gás natural **	6,38	R\$/Nm ³
Custo dia	21642,15	R\$/dia
Custo mês com gás natural	649264,51	R\$/mês
Preço por tonelada para aterro	120,00	R\$/ton
Lodo para aterro caso não seja possível enviar para a agricultura	4560,00	R\$/dia
Lodo para aterro caso não seja possível enviar para a agricultura	136800,00	R\$/mês
Custo mensal gás natural e aterro	786064,51	R\$/mês

** Orçamento Gás Brasileiro

Cenário 2: Lodo desaguado a 26% de Teor de Sólidos:

Secagem Térmica ETE Franca		
<u>Considerações iniciais</u>		
Lodo base seca à ser processada	18000,00	Kg/dia
Lodo desaguado	69230,77	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador solar	25000,00	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador térmico	44230,77	Kg/dia
Secagem horária secador térmico	1842,95	Kg/h
Teor de sólidos Entrada	26,00	%
Teor de sólidos Saída	50,00	%
Lodo seco	1105,77	Kg/h
Quant. De água a evaporar	737,18	Kg/h
Dado do secador Gratt *	900,00	Kcal/KgH ₂ O
Energia para secagem	663461,54	Kcal/h
Energia para secagem por dia	-15,92	Gcal/dia
<u>Biogás produzido nos digestores</u>		
Produção média diária de biogás	2968,00	Nm ³ /dia
Consumo de biogás para abastecimento da frota	187,25	Nm ³ /dia
Biogás disponível	2780,75	Nm ³ /dia



Poder calorífico do biogás	5500,00	Kcal/Nm ³
Energia bruta biogás	15,29	Gcal/dia
Saldo de energia		
Energia biogás	15,29	Gcal/dia
Energia para secagem por dia	-15,92	Gcal/dia
perdas térmicas	15,00	%
Saldo de energia	-2,92	Gcal/dia

Cenário 3: Lodo desaguado a 27% de Teor de Sólidos:

Secagem Térmica ETE Franca		
<u>Considerações iniciais</u>		
Lodo base seca à ser processada	18000,00	Kg/dia
Lodo desaguado	66666,67	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador solar	26086,96	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador térmico	40579,71	Kg/dia
Secagem horária secador térmico	1690,82	Kg/h
Teor de sólidos Entrada	27,00	%
Teor de sólidos Saída	50,00	%
Lodo seco	1014,49	Kg/h
Quant. De água a evaporar	676,33	Kg/h
Dado do secador Gratt *	900,00	Kcal/KgH ₂ O
Energia para secagem	608695,65	Kcal/h
Energia para secagem por dia	-14,61	Gcal/dia
<u>Biogás produzido nos digestores</u>		
Produção média diária de biogás	2968,00	Nm ³ /dia
Consumo de biogás para abastecimento da frota	187,25	Nm ³ /dia
Biogás disponível	2780,75	Nm ³ /dia
Poder calorífico do biogás	5500,00	Kcal/Nm ³
Energia bruta biogás	15,29	Gcal/dia
Saldo de energia		
Energia biogás	15,29	Gcal/dia
Energia para secagem por dia	-14,61	Gcal/dia
perdas térmicas	15,00	%
Saldo de energia	-1,61	Gcal/dia

Cenário 4: Lodo desaguado a 28% de Teor de Sólidos:

Secagem Térmica ETE Franca		
<u>Considerações iniciais</u>		
Lodo base seca à ser processada	18000,00	Kg/dia
Lodo desaguado	64285,71	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador solar	27272,73	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador térmico	37012,99	Kg/dia



Secagem horária secador térmico	1542,21	Kg/h
Teor de sólidos Entrada	28,00	%
Teor de sólidos Saída	50,00	%
Lodo seco	925,32	Kg/h
Quant. De água a evaporar	616,88	Kg/h
Dado do secador Gratt *	900,00	Kcal/KgH ₂ O
Energia para secagem	555194,81	Kcal/h
Energia para secagem por dia	-13,32	Gcal/dia
<u>Biogás produzido nos digestores</u>		
Produção média diária de biogás	2968,00	Nm ³ /dia
Consumo de biogás para abastecimento da frota	187,25	Nm ³ /dia
Biogás disponível	2780,75	Nm ³ /dia
Poder calorífico do biogás	5500,00	Kcal/Nm ³
Energia bruta biogás	15,29	Gcal/dia
Saldo de energia		
Energia biogás	15,29	Gcal/dia
Energia para secagem por dia	-13,32	Gcal/dia
perdas térmicas	15,00	%
Saldo de energia	-0,32	Gcal/dia

Nota: Equilíbrio devido aos fatores de segurança que utilizamos

Cenário 5: Lodo desaguado a 29% de Teor de Sólidos:

Secagem Térmica ETE Franca		
<u>Considerações iniciais</u>		
Lodo base seca à ser processada	18000,00	Kg/dia
Lodo desaguado	62068,97	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador solar	28571,43	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador térmico	33497,54	Kg/dia
Secagem horária secador térmico	1395,73	Kg/h
Teor de sólidos Entrada	29,00	%
Teor de sólidos Saída	50,00	%
Lodo seco	837,44	Kg/h
Quant. De água a evaporar	558,29	Kg/h
Dado do secador Gratt *	900,00	Kcal/KgH ₂ O
Energia para secagem	502463,05	Kcal/h
Energia para secagem por dia	-12,06	Gcal/dia
<u>Biogás produzido nos digestores</u>		
Produção média diária de biogás	2968,00	Nm ³ /dia
Consumo de biogás para abastecimento da frota	187,25	Nm ³ /dia
Biogás disponível	2780,75	Nm ³ /dia
Poder calorífico do biogás	5500,00	Kcal/Nm ³
Energia bruta biogás	15,29	Gcal/dia
Saldo de energia		



Energia biogás	15,29	Gcal/dia
Energia para secagem por dia	-12,06	Gcal/dia
perdas térmicas	15,00	%
Saldo de energia	0,94	Gcal/dia

Cenário 6: Lodo desaguado a 30%de Teor de Sólidos:

Secagem Térmica ETE Franca		
<u>Considerações iniciais</u>		
Lodo base seca à ser processada	18000,00	Kg/dia
Lodo desaguado	60000,00	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador solar	30000,00	Kg/dia
Lodo desaguado enviado ao secador térmico	30000,00	Kg/dia
Secagem horária secador térmico	1250,00	Kg/h
Teor de sólidos Entrada	30,00	%
Teor de sólidos Saída	50,00	%
Lodo seco	750,00	Kg/h
Quant. De água a evaporar	500,00	Kg/h
Dado do secador Gratt *	900,00	Kcal/KgH ₂ O
Energia para secagem	450000,00	Kcal/h
Energia para secagem por dia	-10,80	Gcal/dia
<u>Biogás produzido nos digestores</u>		
Produção média diária de biogás	2968,00	Nm ³ /dia
Consumo de biogás para abastecimento da frota	187,25	Nm ³ /dia
Biogás disponível	2780,75	Nm ³ /dia
Poder calorífico do biogás	5500,00	Kcal/Nm ³
Energia bruta biogás	15,29	Gcal/dia
<u>Saldo de energia</u>		
Energia biogás	15,29	Gcal/dia
Energia para secagem por dia	-10,80	Gcal/dia
perdas térmicas	15,00	%
Saldo de energia	2,20	Gcal/dia

Aplicações

É importante salientar que após a secagem o lodo pode ser utilizado para diversos fins e de diversas formas, tais como:

- **Aplicação Agrícola**

O lodo seco pode ser utilizado como fertilizante ou condicionador de solo devido ao seu conteúdo de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. No entanto, a presença de metais pesados e patógenos deve ser monitorada para evitar contaminação do solo e das culturas.

- **Produção de Energia**

O lodo seco possui um valor calorífico significativo, permitindo seu uso na geração de energia por combustão direta, co-combustão com outros combustíveis ou produção de biogás através da digestão anaeróbia.

- **Materiais de Construção**

O lodo seco pode ser incorporado em materiais de construção, como tijolos, cimento e concreto. A utilização do lodo como aditivo pode melhorar propriedades mecânicas e reduzir custos de produção, além de proporcionar uma destinação sustentável para o resíduo.

- **Recuperação de Produtos Químicos**

O lodo de esgoto contém substâncias valiosas, como fósforo, que podem ser recuperadas através de processos químicos específicos, contribuindo para a economia circular e reduzindo a dependência de recursos naturais não-renováveis.

Considerações Ambientais e de Saúde

A utilização do lodo seco em qualquer aplicação deve considerar rigorosamente as normas ambientais e de saúde pública. É crucial garantir que o lodo esteja livre de patógenos, metais pesados e outros contaminantes antes de sua aplicação.

Conclusões

A secagem de lodo de esgoto e seu aproveitamento representam importantes estratégias para a gestão sustentável de resíduos e conseqüentemente a melhoria no tratamento de esgoto. Nosso trabalho se baseou nos dados obtidos na operação do secador solar e nos dados do secador térmico que está sendo instalado na ETE Franca, visando otimizar os recursos já existentes e ou já adquiridos e perseguindo a melhor eficiência para garantir o uso apenas do biogás, dispensando a utilização de fontes externas, como já exposto anteriormente onerosas e com grandes emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Como podemos observar nos quadros comparativos e considerando os recursos disponíveis, só conseguiremos atingir a emancipação energética se a desidratação alcançar os níveis de teor de sólidos a partir 28%, onde teremos praticamente um equilíbrio entre a energia disponível e a energia requerida e para umidades acima disto temos uma sobra de energia. Isto se mostrou muito interessante e viável, visto que os testes da centrifuga de alta performance atingiu teores de sólidos sempre acima de 29%, contrastando com o custo de secagem sem as modificações no processo de desaguamento.

Outro ponto importante é o aproveitamento do lodo após a secagem, sua maior dificuldade é exatamente a quantidade de energia dispensada neste processo, vencida esta etapa de secagem se abre um leque de oportunidades, elencamos acima algumas das rotas possíveis e que estariam alinhadas a Economia Circular e as melhores práticas de ESG.

Referência Bibliográficas

1. Metcalf & Eddy, Inc. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education.
2. Andreoli, C. V., von Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). Sludge Treatment and Disposal. IWA Publishing.
3. Spinosa, L., & Vesilind, P. A. (2001). Sludge into Biosolids: Processing, Disposal, and Utilization. IWA Publishing.
4. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Education.
5. Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(1), 116-140.
6. Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science, 34(6), 755-781.
7. Tyagi, V. K., & Lo, S. L. (2013). Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 708-728.
8. USEPA. (2003). Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. EPA/625/R-92/013.

9. European Commission. (2001). Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge. Part 3 – Scientific and Technical Report.

Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35(1), 142-156.