PROTOTIPAÇÃO DE SISTEMA DE CICLO FECHADO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA COM BIOGÁS E AQUECIMENTO DE BIODIGESTORES EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE GRANDE PORTE (3M³/S)

Samuel Francisco de Souza[(1)]
Tecnólogo em Eletricidade formado pela Universidade Mackenzie, especializado em eletrônica industrial, com MBA em Parcerias Público Privadas e Concessões. Certificado internacionalmente em M&V (Certified Measurement and Verification Profissional - CVMP ®). Profissional sênior com mais de 30 anos de experiência em sistemas de tratamento de esgotos, atuando em automação e eficiência energética.
Marcos Felipe Mello Rocha
Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Minas Gerais, pós-graduado em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética pela Universidade de São Paulo.

Endereço[(1)]**:** Rua Luiz Scott, 209 Ap132A – Vila Pouso Alegre - Barueri - SP - CEP: 06440-260 - País - Tel: +55 (11) 98225-5741 - e-mail: sfsouza@sabesp.com.br.

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto (ETE) por lodos ativados convencionais geram biogás rico em metano nos seus biodigestores. Esse subproduto, que é um excelente combustível, nem sempre é aproveitado, sendo simplesmente queimado para reduzir o impacto ambiental, já que o gás metano é muito mais poluente que o gás carbônico.
Atualmente existem algumas tecnologias que aproveitam o biogás para gerar energia elétrica e nesse processo também é gerada energia térmica, em alguns casos, com quantidade superior à de energia elétrica.
A proposta deste trabalho foi a prototipação, utilizando um software de simulação, de um ciclo fechado para geração de energia elétrica com o biogás como combustível e a utilização da energia térmica gerada nesse processo para o aquecimento dos biodigestores, melhorando o processo e aumentando a produção de biogás, fechando assim o ciclo. Para essa prototipação considerou-se a utilização do esgoto tratado da própria ETE como fluido térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Cogeração de Energia, Economia Circular.

INTRODUÇÃO

A prototipação simulou um sistema fechado de geração de energia elétrica, tendo o biogás como combustível para microturbinas e que não desperdiçasse a energia térmica produzida, mas que a utilizasse no tratamento de esgotos para aquecer os biodigestores que, de projeto, previam utilização de aquecedores térmicos (Caldeiras), previstas para serem implantadas no projeto de ampliação da estação de tratamento.

A simulação previu a utilização de microturbinas e de um sistema de trocadores de calor utilizando o próprio esgoto tratado como fluido térmico para aquecer os biodigestores. Esse aquecimento melhora o processo, diminui a quantidade de lodo, aumenta a produção de biogás e consequentemente permite gerar mais energia elétrica e térmica, fechando o ciclo.

O software de simulação (balanço de massa) utilizado foi desenvolvido por engenheiros da própria companhia. Para prototipação foram utilizados dados operacionais, dados de projeto e dados da literatura internacional como a "*Environmental Protection Agency*" (*EPA*). Também foi realizado um estudo de viabilidade financeira para a implantação do sistema utilizando dados de contratos e orçamentos realizados no mercado.

Como benefícios a simulação demonstrou:

- A geração de energia elétrica para utilização na própria ETE, reduzindo a dependência das concessionárias de energia, além de tornar o processo mais sustentável;

- A geração de energia térmica, que utilizada para aquecer os biodigestores, melhora o processo de digestão, gera mais biogás, reduz a produção de lodo, a utilização de produtos químicos, o transporte de lodo por caminhões e a própria disposição do lodo nos aterros.

Tanto os resultados técnicos como os financeiros foram positivos demonstrando melhora no processo de tratamento, redução na utilização de produtos químicos, redução do lodo gerado, redução de custos e viabilidade financeira para a implantação.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Superintendência de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo, que faz parte da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho foi prototipar a utilização do biogás, um subproduto gerado na ETE, como combustível para microturbinas em um ciclo fechado de geração de energia elétrica e térmica, disponibilizando a energia elétrica na rede interna e aquecendo os biodigestores com a energia térmica residual, conforme detalhado abaixo:

- Reutilização do subproduto biogás gerado nos biodigestores para gerar energia elétrica utilizando microturbinas;
- Aquecer os biodigestores com a energia térmica residual gerada na produção da energia elétrica;
- Reutilizar o esgoto tratado na própria ETE como fluido no sistema dos trocadores de calor;
- Melhorar o processo nos biodigestores, diminuindo a produção de lodo através do aquecimento que aumenta internamente a destruição de sólidos voláteis;
- Diminuição da utilização de produtos químicos;
- Redução de custos com energia elétrica;
- Diminuição do transporte de lodo para os aterros e, consequentemente, diminuição da emissão de gases efeito estufa.

METODOLOGIA UTILIZADA

A partir da ideia da geração de energia elétrica utilizando o biogás, associada ao aproveitamento da energia térmica decorrente desse processo, a utilização de microturbinas foi escolhida para o estudo devido a sua alta disponibilidade e grande potencial de geração de energia térmica no processo de cogeração, associada a uma baixa emissão de poluentes.

Uma vez definida a tecnologia, utilizou-se um software de simulação para fazer o balanço de massa do processo e o balanço energético da ETE a fim de determinar o volume de biogás disponível, o potencial de geração energética (elétrica e térmica) e os ganhos operacionais previstos no processo com o aquecimento do lodo.

Para tanto, realizou-se um levantamento dos dados operacionais da estação escolhida para o protótipo. Como alguns dos dados de entrada necessários para a simulação não estavam disponíveis, dados do projeto da ETE também foram utilizados.

Uma vez que a simulação é realizada em regime permanente, simulou-se inicialmente a condição atual da ETE sem o aquecimento dos biodigestores a fim de se obter os dados iniciais de comparação. Na sequência, a condição com aquecimento foi testada, considerando a utilização da energia térmica gerada pelas microturbinas e fornecendo a nova vazão de biogás prevista com o aquecimento do lodo.

Em posse do volume estimado de biogás produzido nos biodigestores com o lodo já aquecido e após um levantamento de informações técnicas e comerciais com fabricantes de microturbinas que podem utilizar o biogás como combustível, adotou-se um dimensionamento preliminar para o protótipo, o qual permitiria gerar um montante considerável de energia elétrica para a ETE e ao mesmo tempo auxiliar no aquecimento dos biodigestores.

A partir do dimensionamento do sistema, dos orçamentos levantados e dos resultados simulados, realizou-se um estudo de viabilidade financeira a fim de avaliar custos de investimento e despesas operacionais assim como o potencial de retorno financeiro do projeto. Na avaliação financeira considerou-se não apenas os custos evitados com a autoprodução de energia elétrica, mas também as despesas reduzidas a partir da diminuição da quantidade de lodo produzido, ou seja, os impactos na utilização de produtos químicos e no transporte e disposição final nos aterros. Também foram considerados na análise os benefícios ambientais e sociais associados aos resultados obtidos, principalmente a redução na emissão dos gases de efeito estufa.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados das simulações no software de balanço de massa, com e sem o aquecimento do lodo proveniente da cogeração, podem ser observados na Tabela 1. São dados quantitativos e qualitativos.

Tabela 1 - Parâmetros de processo resultantes da simulação de balanço de massa

PARÂMETROS	UNIDADE	SEM AQUECIMENTO	COM AQUECIMENTO
Q Afluente	m^3/s	2,66	2,66
Volume de esgoto	$m^3/mês$	6.881.760	6.881.760
DQO Afluente	mg/L	593	593
SST Afluente	mg/L	249	249
Idade do Lodo	d	5	5
Lodo gerado	ton/d	150	120
ST lodo digerido	%	2,32	2,66
Temperatura digestores	°C	22,4	35
Q de Biogás	Nm^3/d	8.691	14.411

Q – Vazão
DQO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
SST – Sólidos Suspensos Totais
ST – Sólidos Totais

Observa-se que o aquecimento do lodo tem o potencial de reduzir em 20% o lodo gerado no processo de tratamento e aumentar em 65,8% a produção de biogás.

A partir da vazão de biogás obtida na simulação com o aquecimento do lodo, foram contatados fornecedores de sistemas de geração de energia que utilizam biogás como combustível e utilizados os dados técnicos e financeiros levantados para calcular os custos e o montante de energia elétrica que poderia ser gerada. Para isso, previu-se a utilização de seis microturbinas com potência instalada de 200 kW. Os resultados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo da autoprodução de energia elétrica

Vazão de biogás (N.m³/dia)	Nº de turbinas	Potência útil gerada por turbina (kW)	Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)	Energia Elétrica Gerada (kWh/ano)
14411	6	175	756.000	9.072.000

A partir dos resultados obtidos nas simulações da Tabela 1, foi possível calcular uma redução de 18% na quantidade de produtos químicos e de 20% no montante de lodo a ser transportado e disposto. Os resultados projetados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Projeção de redução na utilização de produtos químicos e quantidade de lodo a dispor

PARÂMETROS	UNIDADE	SEM A COGERAÇÃO	COM A COGERAÇÃO	REDUÇÃO
Produção de Lodo	t/mês	4.500	3.600	900
Produtos químicos	t/mês	660	540	120
Lodo para Disposição Final	t/mês	5.160	4.140	1.020

A partir das reduções observadas, foram estimados os custos evitados a partir da implantação da cogeração para aquecer os biodigestores e gerar energia elétrica. Estes resultados estão resumidos na Tabela 4. As informações foram tiradas dos processos de compra reais.

Tabela 4: Projeção de custos evitados

PARÂMETROS	UNIDADE	SEM A COGERAÇÃO	COM A COGERAÇÃO	REDUÇÃO
Despesas com produtos químicos	R$/mês	593.069	485.238	107.831
Despesas com disposição	R$/mês	845.414	678.298	167.117
Despesas com energia elétrica	R$/mês	1.299.946	1.125.613	174.333
Total mensal	R$/mês	2.738.430	2.289.149	449.281
Total anual	R$/ano	32.861.158	27.469.791	5.391.367

Para o projeto estudado, os custos de implantação (*CAPEX*) e operação (*OPEX)* do sistema por 05 anos foram estimados em 16 milhões de reais. Por outro lado, espera-se evitar mais de 5 milhões de reais em despesas por ano, conforme se observa no resultado da Tabela 4. Considerando-se os resultados projetados, foi realizado um estudo de viabilidade financeira que apontou um *"payback*" descontado de 3,7 anos para uma taxa conservadora de 12% ao ano. Os demais resultados deste estudo podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Resumo dos resultados do estudo de viabilidade financeira

PARÂMETROS	RESULTADOS
Payback Simples(anos)	2,9
Payback Descontado(anos)	3,7
VPL (R$)	31.826.122
TIR(TMA = 12% a.a.)	38%

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados foram muito positivos e a utilização do simulador criado na própria companhia, por engenheiros e mestres consagrados com vasto conhecimento teórico e prático, trouxe confiabilidade, uma vez que o simulador foi desenvolvido levando em consideração características regionais importantes para que os cálculos fossem fidedignos.

Os cálculos foram realizados sempre levando em consideração condições de menor favorabilidade para a garantia de resultados consistentes em caso de implantação do projeto.

Os cálculos de viabilidade financeira levaram em consideração o fornecimento, a instalação, a operação e manutenção do sistema prevendo entre fornecimento, instalação, operação e manutenção um período de 05 (cinco) anos.

A partir desse trabalho, devido os bons resultados encontrados, foi realizado o processo de contratação de um sistema em escala real para utilização de 4.000nm³/dia de biogás, sistema esse que está em implantação com previsão de início de operação até dezembro de 2024.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A energia elétrica gerada é suficiente para atender aproximadamente 21% da necessidade de energia elétrica da ETE diminuindo assim a dependência de fornecimento da concessionária de energia elétrica e impactando positivamente na matriz energética nacional.

Já a energia térmica é suficiente para auxiliar os sistemas de aquecimento dos biodigestores, otimizando o processo de tratamento e reduzindo a quantidade de lodo produzido.

A redução na produção de lodo com o aquecimento dos biodigestores é proporcional à redução de produtos químicos necessários para o desaguamento do lodo antes do envio para os aterros.

Em conjunto com os possíveis efeitos ambientais positivos decorrentes da implantação da proposta, a redução de transporte de lodo para os aterros reduz a quantidade de viagens com caminhões, o que em conjunto com a redução de aquisição de energia elétrica da distribuidora local, acarreta na redução de aproximadamente 2.700 toneladas/ano de emissão de gases de efeito estufa.
Também haverá a melhora da queima do biogás que será em ambiente confinado , diferente da forma atual em queimadores abertos menos eficientes.

Os custos de investimento e despesas com operação do sistema são relativamente altos, porém compensados pelas despesas operacionais evitadas e com a melhora do processo de tratamento o que garante ao projeto uma excelente atratividade financeira e torna viável a sua implantação.

Além dos ganhos operacionais os resultados são aderentes aos objetivos socioambientais e estão alinhados aos conceitos da economia circular.

Como a prototipação mostrou viabilidade técnico econômica o projeto de implantação do sistema foi aprovado e hoje encontra-se em implantação.

É um sistema que pode ser replicado para qualquer estação de tratamento de esgotos que também tenha o biogás como subproduto não utilizado.

Como o negócio da ETE não é geração de energia, uma importante recomendação é que toda contratação seja acompanhada de operação e manutenção do sistema, garantindo assim o máximo rendimento e confiabilidade operacional do sistema. Também é recomendado que o contrato preveja um vínculo entre remuneração, eficiência energética e disponibilidade operacional do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIRTON KUNS, *et al. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato - Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves,* 2019.209 p.

2. U.S. EPA *"Environmental Protection Agency"*, 1992.