

PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA

R.L.G.Miranda^{1,2}, ricardoengmec@live.com
W.M.Barcellos¹, william_barcellos@yahoo.com.br
V.E.G.Galvão¹, vilma_girao@yahoo.com.br
T.M.Dantas¹, thiagomdantas@alu.ufc.br
S.P.Pereira², silvano.pereira@cagece.com.br
S.F.Araújo², suelen.araujo@cagece.com.br

¹Universidade Federal do Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza, Ceará

²Companhia de Água e Esgoto do Ceará, Rua Lauro Vieira Chaves, 1030 - Vila União, Fortaleza, Ceará

Resumo: O presente trabalho trata de uma investigação experimental sobre uma pequena estação de tratamento de águas residuárias (ETAR), que utiliza reatores biológicos anaeróbicos do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) com capacidade de processamento de 125.000 litros de esgoto bruto a uma taxa de tratamento para 8,9 l/s, correspondendo à efluentes de pouco mais de 6.000 habitantes. Neste estudo, a produção de biogás é monitorada, avaliando-se a concentração de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e de sulfeto de hidrogênio (H_2S) no biogás ao longo do dia. O desempenho do processo de digestão anaeróbia é avaliado também quanto aos efeitos da temperatura ambiente e do procedimento de operação (injeção e drenagem de biomassa) no fluxo de biogás e na concentração de metano. Foram analisadas as dificuldades operacionais inerentes às propriedades físicas e químicas das águas residuárias enquanto biomassa, identificando os efeitos da demanda química de oxigênio (DQO) e as concentrações de CO_2 e de H_2S , por estes afetarem a estabilidade da combustão e corroerem a estrutura física de qualquer sistema térmico de geração instalado. O biogás produzido foi submetido a um sistema simples de purificação a base de óxido de ferro para remoção de H_2S para ser injetado em um motogerador de 3,8 kW, movido a motor de combustão interna de ciclo Otto, gerando potência para atender parcialmente as demandas internas de energia da ETAR. Os resultados apontaram uma concentração de metano de 80% no biogás bruto com vazões de biogás suficientes para manter parte da demanda energética da ETAR.

Palavras-Chaves: ETAR, biogás, UASB.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, as águas residuárias são consideradas de alto potencial de exploração para obtenção de água, energia e nutrientes fertilizantes com conteúdo de nitrogênio e fósforo. Neste contexto, o uso de efluentes para produção de combustível (biogás) tem sido considerado economicamente atraente, de modo que foram experimentadas diferentes tecnologias para conversão energética deste tipo de biomassa. Por exemplo, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) desenvolveu sistemas de tratamento de águas residuárias de plantas aquáticas vasculares aplicado a resíduos domésticos e químicos nos Laboratórios Nacionais de Tecnologia Espacial, conforme Wolverton e McDonald (1987). Nos sistemas de tratamento de águas residuárias da NASA, o metano (CH_4) é produzido através de digestão anaeróbica, a fim de fornecer energia às próprias demandas operacionais bem como para outras necessidades como aquecimento, preparação de alimentos, produção de água quente e etc.

De acordo com Probiogás (2017), as principais vantagens da energia proveniente do biogás é a possibilidade de produção descentralizada, cogeração para produção de eletricidade e calor, redução de emissão de metano, e possível obtenção de lucro através da comercialização de energia.

A fonte de energia comumente explorada e útil em águas residuárias é a fração orgânica medida pela demanda química de oxigênio (DQO), o que indica a quantidade de oxigênio (O_2) necessária para oxidar o material orgânico para dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). A fração orgânica é dividida entre dissolvido e suspenso, e entre biodegradável e refratário, conforme McCarty et al. (2011).

Deve ser comentado que os sistemas anaeróbicos oferecem vantagens competitivas que tornam interessantes serem adotados por várias empresas de saneamento, especialmente em climas quentes. A característica chave desta tecnologia é o baixo custo operacional para manter a degradação da matéria orgânica presente nas águas residuárias, em um

ambiente sem oxigênio, onde as bactérias anaeróbicas convertem matéria orgânica em metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico (H_2S). No entanto, este último gás representa um grande impedimento para a adoção desta tecnologia, pois o mesmo é responsável pelo odor característico da decomposição de águas residuárias e por seu potencial de ação corrosiva.

Considerando que o biogás resulta da conversão de um recurso renovável (biomassa), espera-se que este atinja uma composição química variável como função do processo de digestão anaeróbia e principalmente da natureza da biomassa. Basicamente, o biogás produzido neste tipo de instalação, pode ser composto em volume de 50% -70% de CH_4 ; 30% -50% de CO_2 ; e vestígios de gases como amônia (NH_3), hidrogênio (H_2) e nitrogênio (N_2) juntamente com ácido sulfídrico, de acordo com OML (2009).

Estes gases são considerados perigosos e podem criar uma atmosfera perigosa se ventilados de forma inadequada, destacando que H_2S é o mais comumente encontrado e considerado o mais perigoso. A exposição a concentrações elevadas de H_2S é extremamente prejudicial porque interage imediatamente com a hemoglobina do sangue, bloqueando o suprimento de oxigênio aos órgãos e tecidos vitais do corpo. Uma grande preocupação com a detecção de H_2S é que o nariz humano perde sua capacidade de detectar o gás quando exposto a níveis perigosos ou por longos períodos de tempo. Além disso, a presença de CO_2 e umidade no biogás tende a prejudicar o processo de combustão, principalmente quando o biogás é aplicado a motores de combustão interna como máquina de propulsão térmica do sistema de geração de energia. Isso pode ser explicado pela presença de CO_2 levar à redução da velocidade da chama na combustão. No entanto, o teor de CO_2 em baixa concentração demonstrou reduzir as emissões de NO_x , conforme Ren et al. (2010).

Estudos realizados por Surata et al. (2014) concluíram que o maior desempenho do motor à biogás pode ser alcançado removendo-se a impureza H_2S e o teor de H_2O no combustível. Assim, a presença de CO_2 , H_2S e umidade no biogás tende a prejudicar o processo de combustão, principalmente quando o biogás for aplicado a motores de combustão interna como máquina de propulsão térmica do sistema de geração de energia.

Por isso, garantir a sustentabilidade de um sistema de geração de energia elétrica a partir do uso racional de águas residuais em uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR), no que diz respeito aos aspectos técnicos, econômicos e ambientais, tem sido a principal questão. De modo geral, para manter as demandas operacionais de energia de uma planta típica de tratamento de águas residuais domésticas (envolvendo o tratamento de lodo ativado aeróbio e a digestão anaeróbica de lodo) é necessário cerca de 0,6 kWh/m³ de águas residuárias tratadas, nas quais cerca de metade da energia gerada é aplicada ao sistema de abastecimento de ar para as bacias de aeração, conforme McCarty et al. (2011). Especificamente sobre pequenas ETARs, o equilíbrio custo-benefício deve ser melhor avaliado para não ficar comprometido pelo baixo e irregular fluxo de águas residuárias ao longo do período de operação de 24 horas. Além disso, deve ser considerado nessa análise a variação do teor de metano na composição do biogás produzido em todo o ciclo de operação, levando em conta os efeitos da temperatura e da radiação solar sobre os reatores biológicos anaeróbicos.

Com base nesses argumentos, pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC) e Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) tentaram em conjunto, alcançar uma visão holística sobre as dificuldades inerentes à operação de pequenas ETAR, em que o tratamento anaeróbico de águas residuárias é aplicado para construir uma usina de energia sustentável. Uma investigação experimental foi então realizada em uma instalação constituída por reatores biológicos anaeróbicos do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), sistema de purificação de biogás; motor de combustão interna de ciclo Otto; gerador de corrente alternada; e instrumentos de controle. Procurou-se conhecer os desempenhos do reator ao longo do tempo de operação, verificando os efeitos da temperatura do processo e do procedimento operacional no fluxo de biogás e nas concentrações de metano.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A presente investigação experimental tem sido sustentada por um estudo de caso que se refere a um sistema de geração distribuída de energia elétrica em uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) no estado do Ceará - Brasil, como uma unidade de geração de energia alternativa de pequena escala. Esta ETAR é um tipo de projeto-piloto da CAGECE que visa desenvolver uma instalação auto-sustentável através do uso racional do biogás obtido a partir da digestão anaeróbia das águas residuárias. Apesar de ser uma planta de pequeno porte, a ETAR pode ser considerada como uma usina de tratamento de águas residuárias padrão, pois cumpre todos os requisitos legais e governamentais em termos de legislação aplicada a saneamento, além de possuir os componentes de instalação adequados e alinhados à motivação de sua existência.

A ETAR consiste em uma conjunção de seções interligadas por tubulações e sistema de equipamentos, através das quais as águas residuárias são conduzidas e transformadas em biogás e, finalmente, em energia. Assim, as águas residuárias são recebidas na planta, conduzidas à calha Parshall para medição de vazão e transportadas para um reservatório, para que em seguida seja bombeada para tratamento. Este tratamento abrange os seguintes passos: i) sistema de produção de biogás que depende de reatores biológicos anaeróbicos do tipo UASB; ii) seção de purificação onde basicamente as impurezas sólidas e o sulfeto de hidrogênio são removidos do biogás; e iii) seção de geração de energia onde um motor de combustão interna é aplicado para operar como o principal dispositivo de propulsão. A Fig. 1 apresenta um desenho esquemático que fornece a idéia geral sobre a ETAR, mostrando as seções que constituem a planta em estudo.

Considerando que este trabalho é eminentemente prático, a metodologia aplicada para permitir a análise de sistemas foi adequada aos recursos disponíveis na instalação, a fim de obter dados confiáveis para entender o processo e identificar os parâmetros relevantes de operação e projeto. Portanto, alguns instrumentos foram instalados em posições estratégicas em todo o circuito de gás para apontar os valores de pressão, temperatura e composição do biogás.

A ETAR foi monitorada diariamente ao longo do período de três meses, registrando dados de produção de biogás, tais como: fluxo de gás, teor de metano e sulfeto de hidrogênio e temperatura do efluente do tratamento anaeróbico de águas residuárias. Neste período, as condições climáticas foram analisadas quanto à sua influência na produção de biogás e esses dados adquiridos foram registrados de forma a analisar sua variação ao longo do dia.

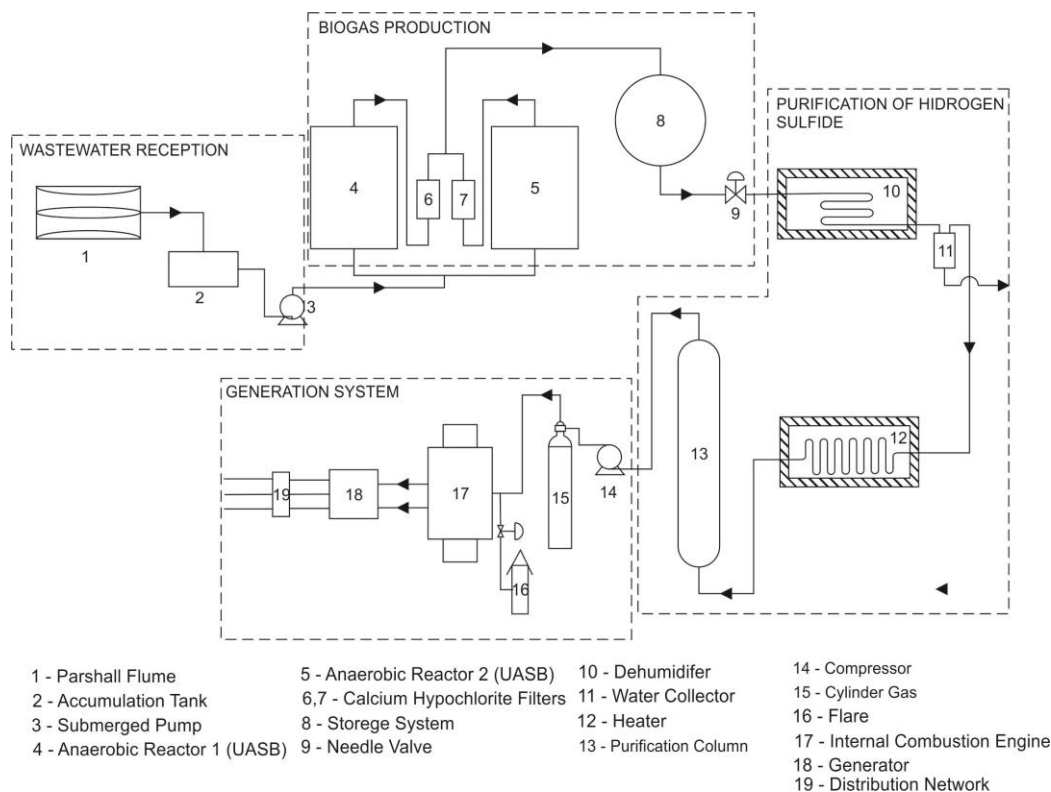


Figura 1. Desenho esquemático da ETAR com geração de energia através do biogás.

2.1. Produção de Biogás

Os UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors*) são reatores de manta de lodo em que as águas residuais afluentes entram em sua seção inferior, em um movimento ascendente. Inicialmente, o fluxo passa por uma camada de lodo biológico que se encontra no fundo e em seguida pelo separador de fase. Os sólidos orgânicos suspensos são digeridos por ação bacteriana, resultando em produção de biogás e crescimento de biomassa bacteriana. O biogás segue uma trajetória ascendente para o separador de fases onde é direcionado à unidade de coleta na porção superior do reator.

A ETAR, selecionada para este estudo, é composta por dois reatores UASB, localizados em Fortaleza (3 ° 50'2, 29 "S, 38 ° 35'1 .99" O), com capacidade média de tratamento de até 8,9 L/s, equivalente a uma população de 6.145 habitantes. Além desses reatores, esta ETAR possui uma estação de bombeamento equipada com duas bombas com potência de 5 cv, uma unidade de desinfecção, quatro unidades de leito de secagem de lodo e unidades de tratamento de odor compostas por dois depuradores operados com solução de hipoclorito de cálcio. Na Fig. 2, alguns componentes de instalação da planta-piloto são identificados, mostrando a posição relativa de cada um na planta.

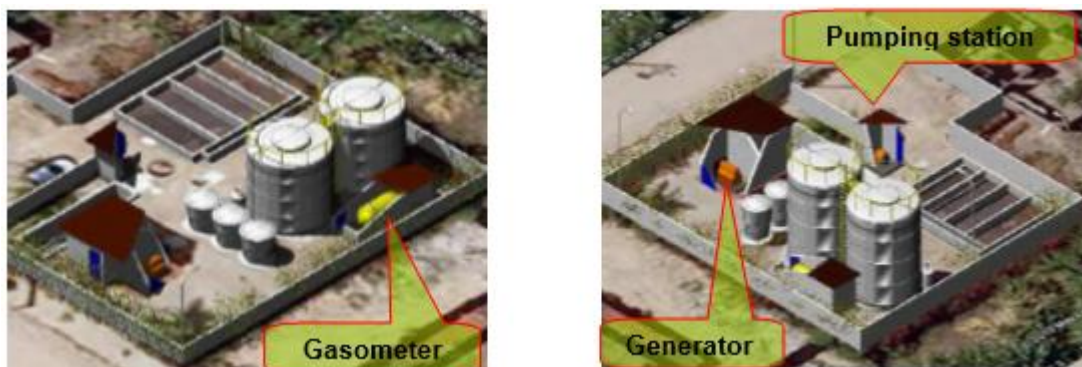


Figura 2. Planta de tratamento de águas residuais com dois reatores UASB, gerador, estação de bombeamento e armazenamento de biogás.

A vazão da estação de bombeamento foi previamente mensurada com medidor Doppler ultrasônico. Os volumes diários foram medidos pela multiplicação da vazão acima pelas quantidades de horas diárias de operação de cada bomba. A carga orgânica removida pela ETAR foi monitorada semanalmente medindo a concentração de DQO em esgoto bruto e tratado, de acordo com Apha (1997).

Para monitorar a produção de biogás, instalou-se um medidor volumétrico na saída de cada reator, registrando os valores acumulados por hora durante as 12 semanas. A concentração de metano e H_2S no biogás produzido foram determinadas por um instrumento portátil de detecção de gás Draeger, modelo X-AM 5.600, previamente calibrado. Este instrumento foi equipado com sensores eletroquímicos e infravermelhos para H_2S e CH_4 , respectivamente. Para confirmar esta medida, realizou-se a cromatografia gasosa das mesmas amostras, realizada pelo Departamento de Engenharia Química (UFC). Deve-se mencionar que todo o biogás produzido pelos dois reatores foi armazenado em um *gasholder* (gasômetro) para uma reserva de até 7 m^3 , onde foi direcionado para um gerador ou uma bomba, ambos equipados com um motor de combustão interna, alimentados por biogás. O biogás excedente e não utilizado foi queimado em um *flare* ou liberado para a atmosfera.

2.2. Sistema de Purificação de Biogás

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, que são consideradas como impurezas (além de partículas sólidas em suspensão), como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima em combustores convencionais, tornando-os menos eficientes. Além disso, a presença de sulfato de hidrogênio (H_2S) causa corrosão na instalação, especialmente em componentes mecânicos internos dos motores térmicos do sistema de propulsão, bem como nos dutos da descarga de gases de combustão, diminuindo não só a eficiência térmica, mas também a durabilidade da instalação. De acordo com Coelho (2006), o reator biológico anaeróbico que processa as águas residuárias pode produzir um biogás contendo até 2% de H_2S e vestígios de nitrogênio e hidrogênio, dependendo do tipo de conversão de biomassa.

Neste estudo de ETAR, o sistema de purificação de biogás é instalado na posição da linha de biogás entre o reservatório de material flexível que recebe o biogás dos reatores biológicos anaeróbicos e a central de geração de energia. Mantendo-se a qualidade e o fluxo de biogás suficiente para o sistema de propulsão por combustão interna, os motores podem funcionar de forma satisfatória. Como é mostrado na Fig. 1, a seção de purificação de biogás é constituída por dispositivos complementares montados em série, isto é, sistema de desumidificação; aquecedor; e coluna de purificação de biogás que basicamente remove H_2S . Embora um sistema de purificação completo também deva ter um sistema de remoção de CO_2 , nesta configuração, apenas a remoção de H_2S foi implementada devido a fatores de custo e, principalmente, devido ao alto teor de metano na composição de biogás (próximo de 80%) produzido através de reatores biológicos anaeróbicos.

Com base em Kohl (1997), de modo geral, os processos de purificação de gás normalmente são categorizados por um dos seguintes métodos: i) Absorção em um líquido; ii) Adsorção em um sólido; iii) Permeação através de uma membrana; iv) Conversão química; ou v) Condensação. No entanto, considerando este estudo uma investigação inicial sobre a ETAR do CAGECE, o sistema de purificação selecionado para remover o H_2S do biogás foi confeccionado através da utilização de uma coluna constituída por um tubo de plástico relativamente longo, preenchido por óxido de ferro em conjunto um material inerte (plástico, cerâmico, etc.), com geometria convexa e dimensões adequadas em relação ao diâmetro do tubo, com base em padrões técnicos dos materiais usuais utilizados para enchimento de reatores. Esta mistura de material sólido está disposta em camadas, de modo que, o biogás é forçado a atravessar uma rota tortuosa ao longo do leito de filtração. O reator de remoção de H_2S funciona de acordo com o princípio de remoção para a base de óxido metálico, em que a reação é ligeiramente endotérmica e as condições ótimas de reação em termos de temperatura devem estar entre 305 e 325 K, conforme Crynes (1978). Deste modo, a remoção de H_2S é precedida de processos de desumidificação e aquecimento de biogás, a fim de garantir uma boa eficiência, conforme mostrado na Fig. 1.

Amostras de biogás são coletadas para que a eficiência do sistema de purificação seja medida, de modo que as porcentagens de remoção de H_2S próximas a 100% são esperadas devido aos danos causados pela presença desse gás nos componentes mecânicos internos da máquina térmica aplicada ao sistema de geração de energia. Além disso, o cromatógrafo utilizado neste estudo tem como limitação uma concentração de H_2S inferior a 2 ppm. Assim, dois tipos de análises de composição de biogás foram aplicados neste estudo para avaliar a qualidade do biogás produzida pelos reatores biológicos anaeróbicos: i) medição da composição através de um analisador portátil pertencente ao CAGECE; e ii) medição através de cromatografia gasosa em laboratório da Universidade Federal do Ceará.

A medida da composição de biogás na ETAR é realizada com o analisador portátil, onde os teores de CH_4 e H_2S são avaliados no ponto da tubulação de biogás antes da seção de purificação. Com esses dados de concentração de biogás, o sistema de purificação é avaliado em tempo real, onde apenas valores inferiores a 2 ppm podem ser aceitos para realização da coleta de biogás e envio para análise cromatográfica laboratorial (Micro GC 4900 - VARIAN). Assim, as amostras são coletadas e armazenadas em sacos de teflon, em que o procedimento de coleta respeita o intervalo necessário para obter composições de biogás ao longo do dia. Essas amostras são então submetidas à cromatografia no mesmo dia em que elas são obtidas. Porém, antes de coletar amostras de gás nos momentos especificados, o analisador portátil de gás da CAGECE é usado continuamente para estimar a concentração de H_2S presente no fluxo de biogás, de forma a garantir que este gás que será submetido à análise cromatográfica laboratorial, possua concentração inferior a 2 ppm.

2.3. Sistema de Geração de Energia

A seção de geração de energia elétrica da ETAR foi instalada no final da tubulação de biogás, depois de ter atravessado várias etapas, desde o reservatório de armazenamento de material flexível, passando pela seção de purificação, até chegar ao motor de combustão interna que move o gerador de energia. A seguir, são comentadas algumas informações técnicas sobre os componentes da instalação térmica e alguns detalhes sobre o procedimento de operação.

A especificação do motor de combustão interna (MCI) de ciclo Otto, acoplado ao gerador de corrente elétrica alternada (CA), baseou-se no perfil da produção de biogás desta ETAR, onde sua composição química também foi medida. Assim, o sistema de geração é composto pelo motor da empresa BRANCO, modelo B4T - BIO LE 5000, com potência de 5 HP, mantendo um consumo de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ e respeitando a concentração de metano conforme indicado pelo fabricante (superior a 60%).

Deve-se mencionar que, tanto para o MCI quanto para o gerador de CA, os cálculos realizados para estimar a potência nominal tiveram como base a taxa de produção de biogás na ETAR em estudo. Assim, a usina elétrica é constituída por um gerador monofásico acoplado ao MCI (Motor de Combustão Interna), fornecendo potências nominais e máximas de 3,6 KVA e 4 KVA, respectivamente.

A instalação da geração de energia térmica desta ETAR foi estruturada com instrumentos de monitoramento e dispositivos acessórios que compõem o sistema de geração, para o qual foram consideradas possíveis situações de flutuação de carga, qualidade de biogás e variação de fluxo. A especificação do motor-gerador foi determinada a partir do fluxo médio diário, levando em consideração a sazonalidade da região que afeta o processo biológico dos reatores UASB.

Além disso, foi utilizado um queimador do tipo *flare* (queimador de classe atmosférica), tipicamente empregado em aterros sanitários, agroindústrias e ETAR, em que há produção de biogás. Em geral, esse tipo de queimador torna-se essencial para regularizar o fluxo de biogás a ser enviado ao sistema de geração, possibilitando a queima do excesso de biogás e, assim, mitigando os impactos ambientais da instalação.

Para testar o desempenho do motor-gerador de biogás da ETAR, utilizou-se um banco de resistência para determinar a carga a ser aplicada gradualmente no motor. A potência real produzida poderia então ser estimada pela variação das resistências de carga em incrementos de aproximadamente $0,2 \Omega$, começando com $0,4 \Omega$ (menor resistência) a $3,4 \Omega$ (máximo).

Como pode ser visto na Fig. 1, no sistema de geração de energia, um compressor e um cilindro de armazenamento de biogás foram utilizados para manter a regularidade da pressão no fornecimento de combustível ao motor. As mudanças na produção de biogás ao longo do dia foram compensadas pelo reservatório de material flexível, utilizado para o armazenamento de biogás bruto, instalado após os reatores biológicos.

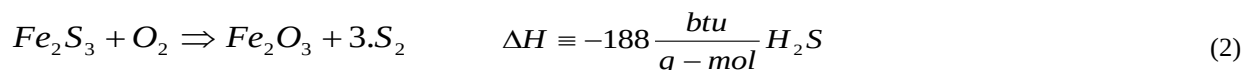
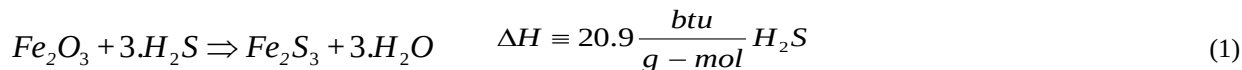
O objetivo de pressurizar o biogás foi manter o fornecimento contínuo ($2 \text{ m}^3/\text{h}$) de combustível para MCI, seguindo assim as orientações do fabricante. Associado ao banco de resistências para medir a carga elétrica consumida, utilizaram-se alguns instrumentos para estimar a potência elétrica, como o voltímetro e amperímetro, além de medidores de fluxo para monitorar o fornecimento de combustível ao motor.

3. ANÁLISE TERMODINÂMICA

3.1. Processo de Purificação

O óxido de ferro remove compostos de enxofre (H_2S) formando sulfeto de ferro insolúvel. O óxido de ferro pode ser regenerados com exposição ao ar, formando assim enxofre elementar; no entanto, ao longo do tempo, o leito de purificação deve ser substituído, pois este será saturado com a presença de enxofre elementar. Um dos produtos de óxido de ferro mais comuns é a "esponja de ferro", no entanto, o óxido de ferro puro foi empregado neste estudo de caso como uma análise preliminar.

As Equações (1) e (2), de acordo com Crynes (1978) ilustram as reações químicas envolvidas na remoção de H_2S por Fe_2O_3 e a posterior regeneração na presença de oxigênio.



A "esponja de ferro" pode ser aplicada em batelada, com substituição após a saturação, ou em operação permanente, com um pequeno fluxo de ar na corrente de gás para revivificação contínua, conforme Crynes (1978). De acordo com Taylor (1956), no modo batelada, a experiência operacional indica que apenas cerca de 85% da eficiência teórica pode ser alcançada.

Vetter et al (1990) relataram que os níveis de H_2S em um digestor foram reduzidos de altos níveis, em torno de 3600 ppm, para abaixo de 1 ppm usando um reator de 1,5 m de diâmetro e 2,5 m de profundidade, com recheio de "esponja de ferro". Utilizando uma configuração proporcional em termos de dimensões do reator, com base no dispositivo construído por este último autor, o sistema de purificação de biogás instalado na ETAR do CAGECE em estudo, atingiu valores de eficiência de remoção de H_2S de 100%, aproximadamente, como esperado e necessário.

3.2. Balanço de Energia da ETAR

Um balanço energético da ETAR em estudo foi aplicado para avaliar se as condições de operação levam à sustentabilidade da instalação. Em primeiro lugar, foi tomado como base de cálculo a produção real de biogás a partir de reatores biológicos anaeróbicos instalados na ETAR, bem como a eficiência térmica do motor de combustão interna, obtida através da medição prática da energia elétrica utilizando o banco de resistências elétricas.

Os valores experimentais de potência elétrica gerada encontrados na ETAR flutuaram entre 3 e 3,9 kW, dependendo do teor de metano no biogás, que apresentou baixo intervalo de variação, de 75 a 83% de concentração de CH_4 . Deve-se mencionar que a variação do fluxo de biogás ao longo do dia também influenciou a potência de saída do sistema de geração de energia.

Neste equilíbrio, foi levada em conta a energia total consumida pelos principais dispositivos, como: bomba, compressor e sistemas de desumidificação e aquecimento. Além disso, deve-se considerar que, em grandes instalações de tratamento de águas residuais, a eficiência térmica global tende a ser maior, favorecendo a auto-sustentabilidade da instalação.

A análise do potencial de geração baseou-se tanto na produção média em período contínuo de 24 horas, como apenas durante o horário comercial (das 08:00 às 17:00 horas). Foram obtidos dados de potência, que apontaram valores em torno de 1,74 kW e 2,08 kW, levando em consideração: i) a eficiência térmica do motor de combustão interna que é próximo de 13%; ii) a eficiência de conversão elétrica de aproximadamente 85%; e iii) a concentração média de cerca de 80% de CH_4 .

Alguns dados sobre potência absorvida pelos equipamentos da instalação foram obtidos em operação. No entanto, outros foram estimados de acordo com os fabricantes, a exemplo: i) A potência absorvida pela bomba de elevação de esgoto - A planta possui 2 (duas) bombas para o manejo de esgoto, com potência de 2,21 kW (cada uma), que funciona alternadamente. ii) A potência absorvida pelo desumidificador - Após alguns testes e experimentos, o grupo de pesquisa decidiu removê-lo da instalação, pois a umidade do biogás não foi significativa para justificar o uso do desumidificador trabalhando continuamente no sistema. iii) A energia absorvida pelo sistema de purificação de biogás - Estudos mostraram que o pequeno aquecimento do biogás para a purificação com óxido de ferro aumenta a eficiência de remoção de H_2S , portanto, elevou-se a temperatura do biogás para cerca de 50 ° C, o que mostra o consumo em torno de 0,0165 kW, baseado na produção média; iv) A potência absorvida pelo compressor - Para fornecimento de 2m³ / h, utilizou-se um compressor de 0,37 kW, que armazena biogás em um cilindro acumulador e fornece-o para o motor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Produção de Biogás

O monitoramento da produção volumétrica de biogás, em três meses de trabalho, registrou uma variação de fluxo de 0,4 a 1,24 m³/h para o primeiro reator e de 0,5-1,1 m³/h para o segundo, com as respectivas médias de 0,9 e 0,8 m³ / h, como mostrado na Fig. 3.

A produção total (referente aos reatores 1 e 2) variaram de 0,8 a 2,3 m³ / h, com uma média de 1,7 m³ / h. A menor produção coincidiu com o fluxo mínimo de águas residuais, que está relacionado à quantidade de matéria orgânica disponível para o reator. No entanto, a temperatura mostrou-se bastante uniforme (28,5 a 29,3 °C) durante o período monitorado. Como mencionado anteriormente, os dados de composição química do biogás produzido diariamente foram obtidos através de dois instrumentos, isto é, analisador portátil de gás e cromatógrafo de gás em laboratório. Abaixo, a Tab. 1 e as Fig. 3, 4, 5 e 6 mostram composição e qualidade do biogás obtido:

Tabela 1. Composição do biogás bruto da ETAR do CAGECE.

Composição média de amostras de biogás	[CH ₄] (%)	[CO ₂] (%)	[N ₂] (%)	[H ₂ S] (ppm)
	68 - 82	12 - 22	8 - 11	1300 - 3150

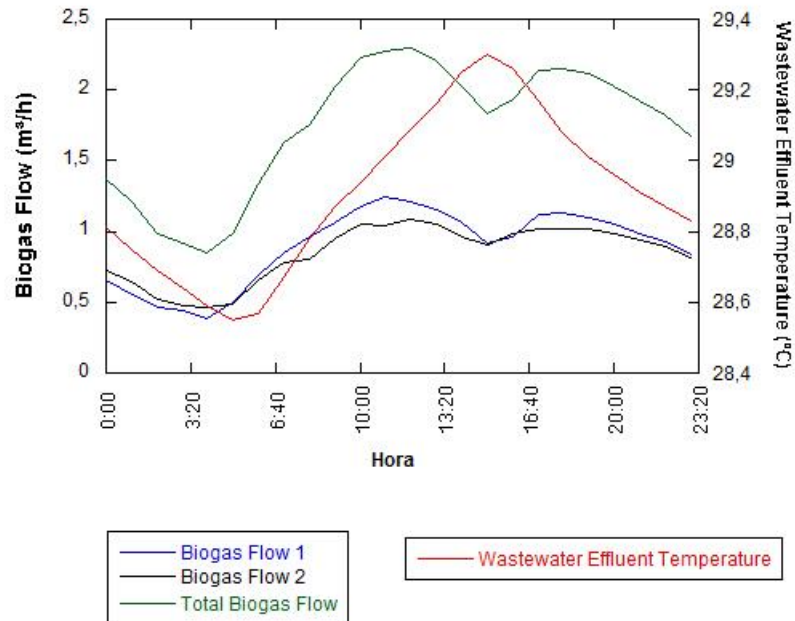


Figura 3. Fluxo de biogás e temperatura do efluente em três meses de estudo.

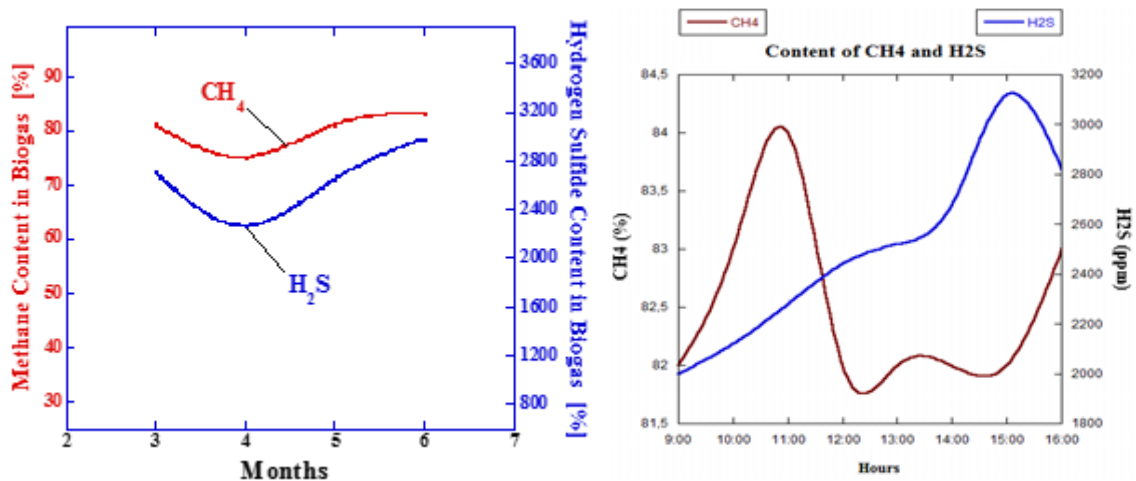


Figura 4. Concentração de H₂S e CH₄ no biogás produzido em três meses de estudo.

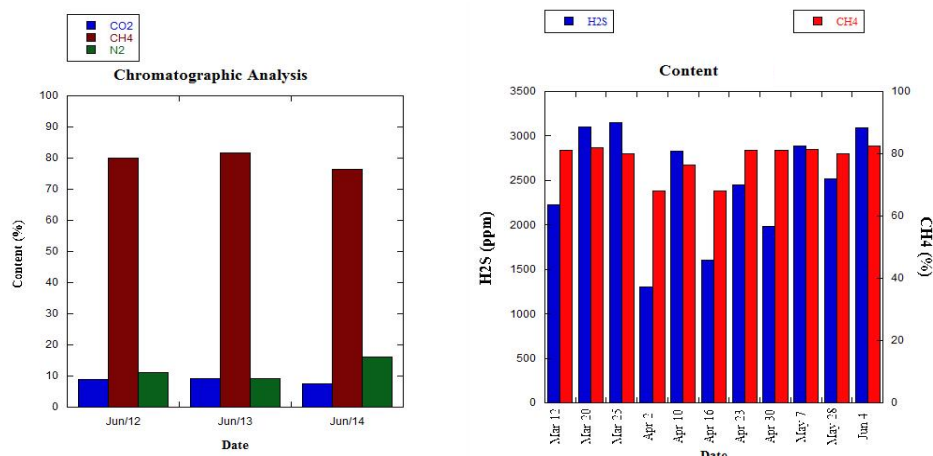


Figura 5. Concentração de H₂S e CH₄ em três meses de estudo.

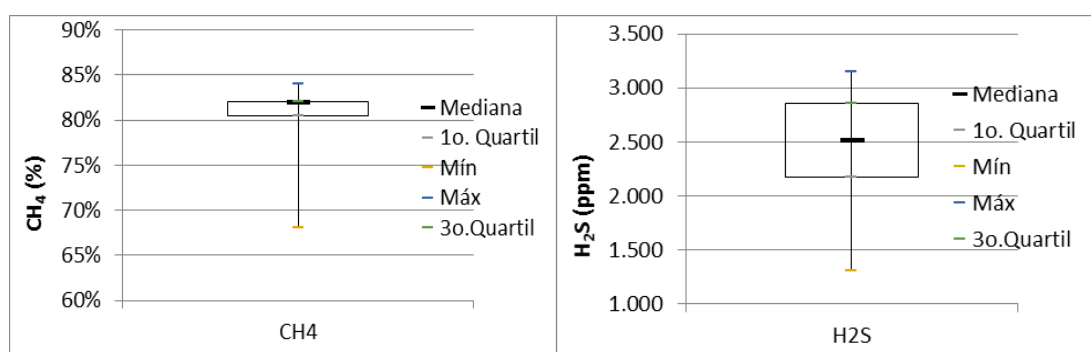


Figura 6. Monitoramento das concentrações de CH₄ e H₂S.

Sobre a produção de biogás, é possível considerar que, durante os três meses, o biogás obtido a partir dos reatores biológicos anaeróbicos (UASB) foi monitorado semanalmente para verificar os teores de sulfeto de hidrogênio e metano na composição de biogás, conforme mostrado nas Figuras 3, 4, 5 e 6. É possível perceber através da Fig. 4 que os valores da concentração média flutuaram entre 2300 e 3000 ppm para o H₂S e entre 75 e 83% para o CH₄. Esses valores são coerentes com os reportados por Lobato (2011), onde o intervalo de variação ficou entre 60-85% para CH₄ e 1.000-2.000 para H₂S.

Essa alta concentração de ambos os gases pode ser explicada pela alta DQO presente em águas residuais brutas (640-1.250 mg / L) e o clima quente. Os valores mais baixos de produção de biogás foram encontrados 72 horas após uma descarga de lodo, na qual reduziu-se temporariamente a produção de biogás devido a perda de parte do leito bacteriano. Com base na Fig. 5, onde a produção de metano e sulfeto de hidrogênio são apresentados para o período de estudo, é possível observar uma redução significativa dos gases produzidos em algumas datas específicas, que podem ser explicados por problemas de abastecimento de água no bairro em torno da ETAR no início e no meio do mês de abril.

4.2. Geração de Energia

O consumo de energia e os valores de produção foram estimados com base em dois modos de operação da planta, ou seja, período contínuo de 24 horas e horário comercial de operação. Em ambos os casos, os valores de consumo foram obtidos superiores aos valores da produção, indicando que a planta não é 100% sustentável. No ponto mínimo de produção de energia, as instalações exigem mais energia do que pode produzir, principalmente, quando as bombas estão trabalhando.

É possível concluir que, em média, a ETAR deve funcionar com fornecimento de energia complementar. Outra alternativa seria acumular biogás durante o período da noite, a fim de ter uma energia excedente acumulada e utilizar outro motor para gerar energia necessária para o suprimento da demanda das bombas. De qualquer forma, mesmo sem garantia de sustentabilidade, os cálculos demonstraram que a geração em horário comercial é a melhor forma de suplementação de energia, para redução dos custos energéticos.

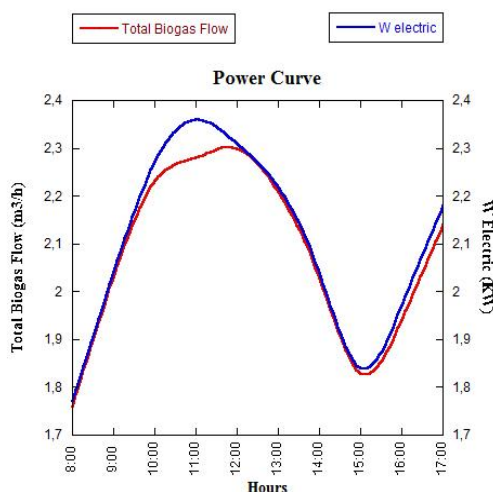


Figura 7. Curva de potência e fluxo de biogás entre as 8h às 17h.

Analisando o gráfico de energia gerado a partir dos dados operacionais da ETAR, Fig. 7, é possível perceber que a produção de energia depende basicamente de dois fatores: a concentração de metano e a taxa de produção de biogás. De acordo com experimentos realizados no campo, observa-se que a concentração de metano é praticamente constante ao longo do dia com aproximadamente 83%, por isso temos o gráfico da potência produzida seguindo a tendência da linha de produção de biogás.

5. CONCLUSÃO

O sistema de purificação de biogás, instalado na ETAR do CAGECE em estudo atingiu valores de eficiência de remoção de H_2S de 100%, aproximadamente, como era esperado e necessário, através da aplicação de óxido de ferro para remoção deste componente.

A alta concentração de metano e sulfeto de hidrogênio pode ser explicada pela alta DQO presente em águas residuárias brutas (640-1.250 mg/L) e clima quente. Os valores mais baixos foram encontrados 72 horas após uma descarga de lodo, que pode reduzir temporariamente a produção de biogás devido a perda de matéria orgânica.

É possível concluir que, em média, a ETAR deve funcionar com suprimento de energia complementar da concessionária de energia, visto a mesma não ser completamente autossustentável via utilização do biogás. Outra alternativa seria acumular biogás durante o período da noite, a fim de ter uma energia excedente acumulada, e utilizar outro moto-gerador para fornecer a energia necessária para o sistema de bombeamento, especificamente. De qualquer forma, mesmo sem a garantia de sustentabilidade, os cálculos demonstraram que o uso em horário comercial é a melhor forma de suplementação de energia, para redução dos custos deste insumo.

É possível perceber que a produção de energia depende principalmente da concentração de metano e da taxa de fluxo de produção de biogás. A concentração de metano é praticamente constante ao longo do dia, aproximadamente 83%, assim a potência produzida segue a linha de tendência de produção de biogás.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com recursos fornecidos pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico, pelo BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e pela CAGECE - Companhia de Água e Águas Residuais do Ceará.

7. REFERÊNCIAS

- APHA – American Public Health Association. Standart Methods for the examination of water and wastewater. In: EUA. 19 ed., Washington: D. C. APHA/AWWA-WPCF, 1995;
- Coelho, S. T., Velázquez, S. M. S. G., Pecora, V., Abreu, F. C. (2006). Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. XI Congresso brasileiro de energia. Rio de Janeiro, Brasil.
- Crynes, B. L., Ed. Chemical Reactions as a Means of Seperation: Sulfur Removal. Chemical Processing and Engineering Series. New York, Marcel Dekker, Inc., 1978.
- Kohl, A. and R. Neilson - Gas Purification. Houston, TX, Golf Publishing Company, 1997;
- Lobato, L. C. S., Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores uasb tratando esgoto doméstico, Tese do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

- Oml (Ontario Ministry of Labour), Occupational Health and Safety Guidelines for Farming Operations in Ontario, "Section 7: Hazardous Atmospheres and Confined Spaces", 2009.
- Perry L. McCarty, Jaeho Bae, and Jeonghwan Kim - Domestic wastewater treatment as a net energy producer: Can this be achieved?, *Environmental Science Technology*, 45: 7100–7106, 2011;
- Probiogás, Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto (Technical guide of biogas energy recovery in Sewage Treatment Plants), 2 ed., Ministério das Cidades, Brasília, 2017.
- Ren, X., Gao, H., Zhou, X., Crounse, J. D., Wennberg, P. O., Browne, E. C., LaFranchi, B. W., Cohen, R. C., McKay, M., Goldstein, A. H., and Mao, J. - Measurement of atmospheric nitrous acid at Blodgett Forest during BEARPEX2007, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6283–6294, 2010.
- Surata I.W., Nindhia T.G.T., Atmika I.K.A., Negara D.N.K.P., Putra I.W.E.P., Simple conversion method from gasoline to biogas fuelled small engine to powered electric generator, *Energy Procedia* 52, pp. 626-632, 2014.
- Taylor, D. K. - "Natural Gas Desulfurization (Parts 1-4)." *Oil and Gas Journal* (November 5, 19, and December 3, 10): 4 p., 1956;
- Vetter, R. L., D. J. Friederick, et al. - Full Scale Anaerobic Digester and Waste, Management System for a 300 Cow Dairy. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Agriculture and Food Processing Wastes*, ASAE, Chicago, IL: 236249, 1990;
- Wolverton, B. C., Aquatic Plants for Wastewater Treatment: An Overview. In: K. R. Reddy and W. H. Smith (Eds.), *Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Publishing, Inc., Orlando, Fla. pp. 3-15, 1987.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

BIOGAS PRODUCTION AT A WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR ENERGY MICROGENERATION

R.L.G.Miranda^{1,2}, ricardoengmec@live.com
W.M.Barcellos¹, william_barcellos@yahoo.com.br
V.E.G.Galvão¹, vilma_girao@yahoo.com.br
T.M.Dantas¹, thiagomdantas@alu.ufc.br
S.P.Pereira², silvano.pereira@cagece.com.br
S.F.Araújo², suelen.araujo@cagece.com.br

¹Federal University of Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza, Ceará

²Companhia de Água e Esgoto do Ceará, Rua Lauro Vieira Chaves, 1030 - Vila União, Fortaleza, Ceará

Abstract: *The present work deals with an experimental investigation on a small wastewater treatment plant (WWTP), which uses UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) anaerobic biological reactors with a processing capacity of 125,000 liters of raw sewage at a treatment rate to 8.9 l/s, corresponding to effluents of just over 6,000 inhabitants. In this study, the production of biogas is monitored, evaluating the concentration of methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and hydrogen sulphide (H₂S) in the biogas throughout the day. The performance of the anaerobic digestion process is also evaluated for the effects of the ambient temperature and the operation procedure (injection and biomass drainage) on the biogas flow and the methane concentration. The operational difficulties inherent to the physical and chemical properties of the wastewater as biomass were analyzed, identifying the effects of chemical oxygen demand (COD) and CO₂ and H₂S concentrations, as they affect the combustion stability and erode the physical structure of any thermal generation system installed. The biogas produced was submitted to a simple purification system based on iron oxide to remove H₂S to be injected into a 3.8 kW motor generator, powered by an Otto cycle internal combustion engine, generating power to partially meet the demands power plants of the WWTP. The results indicated a concentration of methane of 80% in the raw biogas with biogas flows sufficient to maintain part of the energy demand of the WWTP.*

Keywords: WWTP, biogas, UASB.

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.”