



II-1409 - ESTUDO DA PRODUÇÃO DE METANO NO BIOGÁS E DISSOLVIDO NO EFLUENTE DE REATOR UASB EM VARIAÇÃO DA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS

Jonas Martins Karl da Silva⁽¹⁾

Graduando de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Daniel Carvalho Mota

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Unichristus. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Cláudio Leite de Souza

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço (1): Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte/MG – Escola de Engenharia, Bloco 1 – sala 4541; CEP: 31270-901 – Brasil -- E-mail: jonasmkarls@gmail.com

RESUMO

A utilização de equipamentos de baixos custos de implantação, operação e manutenção é cada vez mais crescente no ramo do saneamento básico e em diversas outras áreas do conhecimento. Com isso, a tecnologia dos reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB) ganha destaque por estas características no tratamento de esgoto doméstico, além da produção do gás metano (CH_4), com a possibilidade de aproveitamento do mesmo para a geração de energia. O presente trabalho se direcionou ao estudo dos parâmetros de influência direta na produção do gás metano e do metano dissolvido no efluente, sendo realizados experimentos com reator UASB piloto (360 L) tratando esgoto sanitário/doméstico real em Belo Horizonte. Verificou-se a média de 74,7% de remoção de DQO para todas as fases, média de produção de metano no biogás de 31 L/dia, uma média de 16 mg/L de metano dissolvido no efluente.. Foi constatada uma média de produção de metano no biogás em relação à produção total de metano de 58,4%, ademais, uma carga orgânica média de 0,15 gDQO.gSTV⁻¹.dia⁻¹. Foi também experimentando um descarte elevado de lodo anaeróbio na 3ª fase, que diminuiu a massa de STV para 2,3 kg STV, próxima da massa mínima. Em conclusão, o descarte de lodo demonstrou a influência direta entre a quantidade de sólidos totais voláteis (STV) de lodo e a produção de metano (CH_4) no biogás. Somado a isso, observou-se estabilidade geral nos parâmetros de análises realizadas, sendo as maiores diferenças encontradas entre a 3ª e a 4ª fase. Por fim, não foram verificadas diferenças relevantes na produção de metano em diferentes regimes de alimentação, vazão variável e constante.

PALAVRAS-CHAVE: biogás, reator uasb, lodo anaeróbio, produção de metano, esgoto sanitário.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Atlas Esgotos (ANA, 2017), no Brasil, somente 42,60% dos esgotos são coletados e tratados e estima-se que serão necessários R\$ 149,5 bilhões para a universalização desse serviço. Nesse cenário, observa-se a necessidade de tecnologias de coleta e tratamento de esgotos que apresentem boa eficiência, baixos custos de implantação e operação e simplicidade na construção, operação e manutenção, facilitando o acesso ininterrupto desses serviços com menores investimentos.

Seguindo essa lógica, entende-se que o tratamento anaeróbio de efluentes, com foco no Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (mais conhecido como UASB), apresenta grande potencial para solucionar

parte desse desafio. Além das características citadas anteriormente, essa tecnologia apresenta baixa geração de lodo, lodo com boas características, possibilidade de geração de energia pela combustão do biogás e baixa dependência de equipamentos (VON SPERLING, 2014), favorecendo sua aplicação em diversas situações.

Caracterização geral do reator UASB

O reator opera com um fluxo hidráulico ascendente, com o esgoto bruto sendo inserido na parte inferior do reator e o efluente tratado saindo na parte superior, conforme indicado na Figura 1. Devido a conformação do reator e a ação da gravidade, é possível obter um tempo de permanência da biomassa maior que o tempo de detenção hidráulica (TDH), possibilitando o desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios e melhorando a qualidade do efluente final com menor escape de sólidos.

A biomassa presente no UASB se concentra na zona de digestão, na forma de lodo anaeróbio, dividindo-se em duas fases: o leito do lodo, região com sólidos mais concentrados, localizado na parte mais baixa do reator, e a manta de lodo, com sólidos menos concentrados, localizada logo acima do leito (CHERNICHARO, 2007). Conforme tratado em Souza (2010), existem dispositivos dentro do reator com os quais é possível a separação correta entre as 3 fases existentes (sólido, líquido e gasoso). Esse processo é realizado pelo separador trifásico do reator UASB e divide-se entre a separação sólido/líquido e a líquido/gás, executado na zona de decantação e no interior do separador trifásico respectivamente. Após o tratamento, o efluente final sai por um sistema de coleta e o gás gerado (biogás) sai pela interface do separador trifásico.

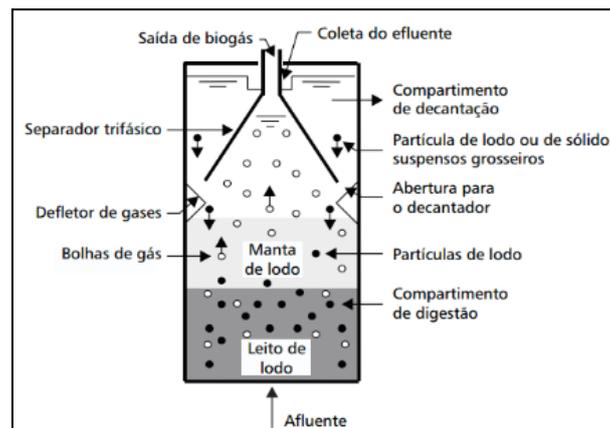


Figura 1: Desenho esquemático de um reator UASB, Fonte: PROSAB (1999)

Outro aspecto importante é que o reator UASB depende da quantidade e qualidade do lodo presente em seu interior para efetuar com sucesso o tratamento. Com o fluxo ascendente, o leito e manta de lodo se expandem, promovendo o contato do efluente com a biomassa presente no reator, realizando assim a degradação da matéria orgânica e a formação dos gases decorrentes desta (ABBASI E ABBASI, 2012; MELO, 2015). Dessa forma, a quantidade e qualidade do lodo poderão afetar a formação e composição do biogás.

Por fim, de acordo com a literatura, para reatores UASB tratando esgoto sanitário, têm-se concentrações de 15 a 25 mg/L de metano dissolvido no efluente tratado: (Souza *et al.*, 2011; Matsuura *et al.*, 2015), concentrações médias de DQO no afluente (esgoto bruto) de 450 a 800 mg/L (VON SPERLING, 2014), e 55 a 70% de eficiência média de remoção de DQO (CHERNICHARO, 2007).

Microbiologia do processo de digestão anaeróbia

Dentro de um sistema de tratamento de efluentes com digestão anaeróbia, como é o caso de reatores UASB, a digestão é dividida nas seguintes fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese.

Em primeiro momento, a hidrólise, juntamente com a acidogênese, realizam a quebra de moléculas maiores presentes no esgoto bruto, como carboidratos, lipídeos e proteínas, transformando-as em ácidos graxos e ácidos orgânicos voláteis. Adiante, ocorre o processo de acetogênese, que converte compostos orgânicos intermediários, como o propionato, a acetato. Como um dos processos finais, a metanogênese ocorre e os microrganismos metanogênicos produzem energia, gerando o metano (CH_4), principal constituinte do biogás, subproduto predominante dessa fermentação anaeróbia. A sulfetogênese, ocorre na presença de sulfato (SO_4^{2-}), com a redução deste em sulfeto (H_2S), a partir das bactérias sulforredutoras, utilizando substratos comuns às bactérias metanogênicas (CHERNICHARO, 2007). Por fim, o biogás gerado no processo pode proporcionar a geração de energia a partir da combustão do biogás, no qual o metano (CH_4) é o constituinte de maior destaque, por possuir alto poder calorífico.

Dentre os fatores físicos que influenciam no processo de digestão apresentado, a temperatura é muito importante na seleção de espécies. Cada microrganismo possui uma faixa de temperatura que influencia no seu crescimento, com uma temperatura mínima à máxima, além de uma faixa ótima (CHERNICHARO, 2007). Se tratando do UASB na realidade brasileira, a temperatura de operação do reator (entre 20°C e 30°C) costuma estar entre duas faixas ótimas de temperatura para o crescimento microbiano, no caso a psicrófila (entre 4°C e 15°C) e a mesófila (entre 30 e 35°C).

OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a produção de metano em reator UASB na escala piloto em diferentes condições de vazão de alimentação com esgoto sanitário tipicamente doméstico. Os objetivos específicos foram os seguintes:

- Avaliar a produção total diária de biogás/metano, sob hidrograma afluyente variável, em comparação com a produção sob vazão constante;
- Avaliar, sob hidrograma variável, a quantidade mínima de lodo necessária para uma produção diária teoricamente esperada de biogás e metano;
- Investigar a influência na produção de biogás e do metano, de parâmetros como DQO aplicada e removida, metano dissolvido efluente, lodo anaeróbio (sólidos totais voláteis) e sulfato dissolvido.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG/COPASA, localizada nos limites da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Ribeirão Arrudas, em conjunto do laboratório de Físico-Química do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), localizado na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), tendo início efetivo no mês de janeiro de 2022 e término no mês de setembro de 2022 (aproximadamente 240 dias de pesquisa).

Aparatos para realização da pesquisa

Diversos fatores podem influenciar na produção de gás metano (CH_4), portanto, alguns parâmetros tiveram constante monitoramento, que estão apresentados no Quadro 1:

Quadro 1: Verificações realizadas em campo, Fonte: Autoria Própria

Parâmetros	Periodicidade	Unidade de medida
Vazão de efluente líquido	Semanal	L/min
Temperatura de esgoto bruto/efluente	Quinzenal	Graus Celsius
Volume de biogás gerado	Semanal	L/d
Temperatura do biogás	Semanal	Graus Celsius
pH do esgoto bruto/efluente	Semanal	-
Sólidos sedimentáveis	Semanal	ml/L

Esses parâmetros foram monitorados por diferentes métodos, na qual serão explicados no seguinte parágrafo. Seguindo a ordem do Quadro 1, a vazão de efluente líquido foi feita por meio de um béquer com volume de 1 litro e um cronometro digital para contagem dos Litros/minuto. Em segundo lugar, a temperatura do afluente e efluente foi medida por dois aparelhos da marca Elitech® RC-4 Datalogger com intervalos quinzenais, em que um era mantido por uma semana em um compartimento de entrada do afluente e o outro na coleta de efluente no topo do reator UASB, o sistema do aparelho realizou medições a cada minuto dentro dessas semanas. O terceiro e o quarto item foram captados pelo mesmo dispositivo, no caso um gasômetro do tipo tambor, do modelo TG05 e do fabricante Ritter®, em que foi possível observar e anotar o progresso de produção total de biogás entre semanas e, também, a temperatura dentro do dispositivo e, conseqüentemente, da tubulação. O quinto item, que se trata do pH afluente e efluente, teve sua medição feita pela sonda multiparamétrica, do modelo HQ40d e da marca Hach®, na qual 1 litro afluente e efluente eram armazenados em béquers. A sonda era inserida dentro do recipiente até a estabilização própria do aparelho, assim os dados de pH eram fornecidos. Por último, a verificação de sólidos sedimentáveis afluentes e efluentes segue métodos padrões (APHA, 2012).

Para realização da coleta e posterior análise do biogás, foi estabelecido um procedimento padrão de coleta deste com bag de 1 litro, coletando o biogás durante meia hora devido à sua baixa vazão. Após realizada a coleta de biogás, foram realizadas 3 medições de 30 segundos para a análise no aparelho LANDTEC® tipo GEMTM 5000, que tem como objetivo quantificar os gases de uma amostra (em porcentagem). Na tabela a seguir estão representados os parâmetros de operação aplicados ao reator.

Tabela 1: Parâmetros operacionais do reator entre as fases, Fonte: Autoria própria

Parâmetros	Características aplicadas ao reator			
	1ª fase	2ª fase	3ª fase	4ª fase
Hidrograma variável	Sim	Não	Sim	Sim
Vazão média diária (L/min)	0,57			
Vazão instantânea (L/min)	0,92	0,57	0,92	0,92
Quantidade de lodo	Máxima	Máxima	Próximo da mínima	Aproximando da máxima
Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)	10,6 horas			

Para a realização das fases 1, 3 e 4 foi utilizado um timer analógico com as seguintes configurações: 96 contatos diários (liga/desliga) a cada 15 minutos, essas configurações se mantiveram iguais em todas as fases com hidrograma variável. Esse timer analógico proporciona um hidrograma variável para o sistema como demonstrado na Figura 2, com desligamentos e retomadas do sistema e uma vazão semelhante a vazão de esgoto bruto real recebida diariamente em uma ETE, com momentos de pico durante o dia e baixas durante a noite, por exemplo.

Funcionamento do reator em escala piloto

O reator utilizado para a presente pesquisa é demonstrado na Figura 3, o reator UASB em escala piloto, que possui as seguintes características:

- Aproximadamente 360 litros de capacidade (volume útil);
- Produzido em fibra de vidro;
- 4 metros de altura;
- 30 centímetros de diâmetro externo;
- 6 torneiras para amostragem e retirada de lodo.

A existência de uma plataforma elevada e externa ao reator possibilitou acesso a parte superior do mesmo, com isso checagens quanto ao funcionamento correto e limpeza da espuma do separador trifásico foram possíveis. Em soma, a plataforma também auxiliou na coleta do efluente tratado e de sua temperatura em diferentes alturas do reator, para posterior análise de metano dissolvido.

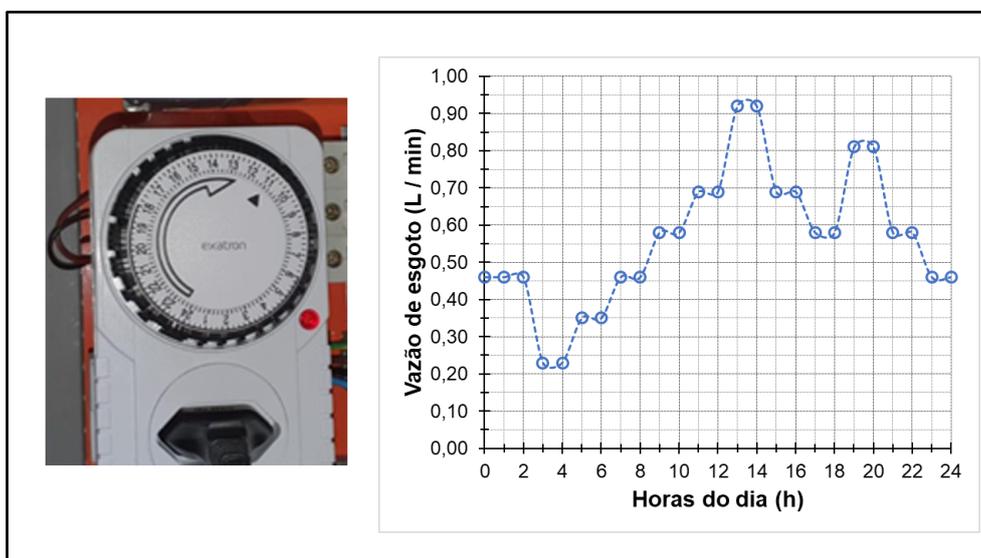


Figura 2: Timer analógico programado para desligar o sistema de bombeamento em momentos do dia (a esquerda), Gráfico de vazão de esgoto pelas horas do dia (a direita), Fonte: Autoria Própria

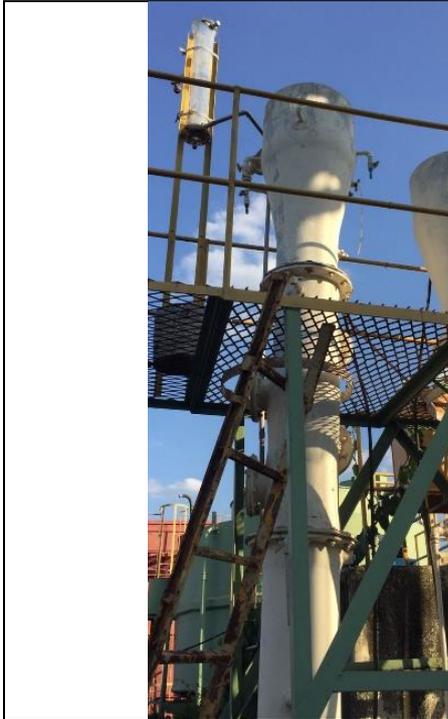


Figura 3: Reator UASB em escala piloto dentro do Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CEPTS), juntamente com a plataforma elevada, Fonte: Autoria própria



Figura 4: 1ª e 2ª torneiras de pontos de coleta de lodo anaeróbio, com sólidos mais granulados, Fonte: Autoria própria

Todos os reatores UASB são compostos por alimentação única no fundo, zona de digestão (onde se localizam o leito e a manta de lodo), defletores de gases, separador trifásico, calha coletora de efluente tratado.

A figura a seguir demonstra o esquema do sistema UASB em escala piloto:

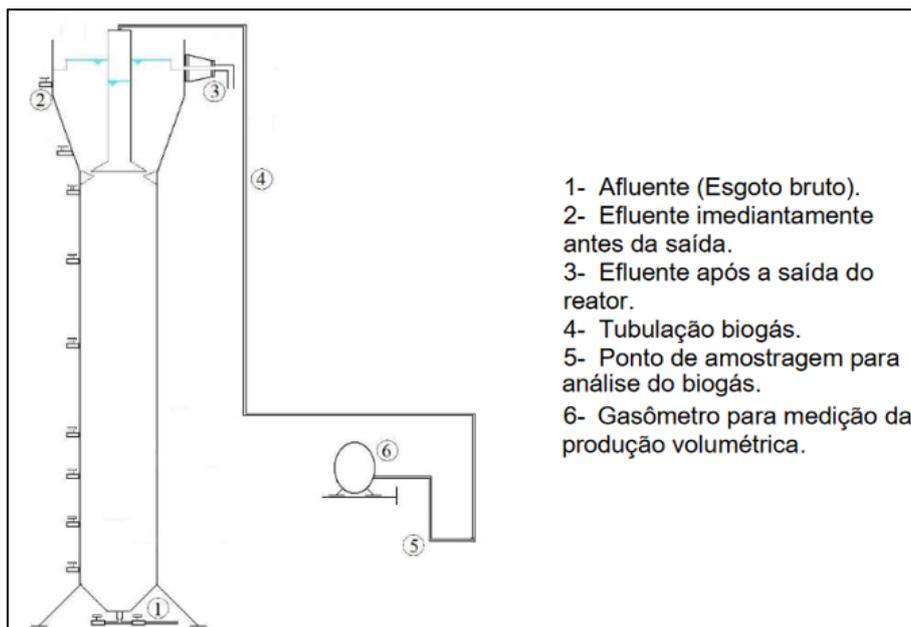


Figura 5: Desenho esquemático do reator UASB em escala piloto, Fonte: modificado de SOUZA, 2010.

Análises laboratoriais

Em soma ao que foi exposto, as análises laboratoriais foram realizadas para a determinação de parâmetros físicos e químicos das amostras, melhor identificadas no quadro a seguir.

Quadro 2: Identificação das análises laboratoriais, Fonte: Autoria própria

Nome	Periodicidade	Método utilizado
Demanda Química de Oxigênio	Semanal	Colorimétrico
Sólidos totais e voláteis	Quinzenal	Gravimétrico
Sólidos suspensos totais e voláteis	Semanal/quinzenal	Gravimétrico
Metano dissolvido	Semanal	Cromatografia gasosa
Sulfato dissolvido	Semanal/quinzenal	Colorimétrico

A análise de DQO está de acordo com APHA, 2012 e foi realizada pelo método colorimétrico (PLAS *et al.*, 1992). Por sua vez, metano dissolvido em cromatografia gasosa foi realizado pelo método de *headspace-cromatografia* (SOUZA *et al.*, 2011) e por fim, sulfato dissolvido, sólidos totais e suas subdivisões seguiram métodos padrões (APHA, 2012).

RESULTADOS

Em seguida serão apresentados os dados encontrados durante toda a pesquisa, divididos de acordo com as análises físico-químicas. Com o objetivo principal de identificação quantitativa para posterior aprofundamento na seção seguinte “ANÁLISE DOS RESULTADOS”.

Metano no biogás e dissolvido (CH₄)

Em primeiro momento, todos os gráficos produzidos a seguir foram relacionados aos 240 dias de pesquisa, em que alguns deles não começam no dia 0 e não terminam no dia 240 devido a algumas das análises que foram iniciadas ou tiveram seu término em períodos diferentes. Será apresentado na tabela abaixo (Tabela 2) as concentrações médias obtidas de DQO afluente, metano dissolvido e metano no biogás. Importante ressaltar que a porcentagem de metano no biogás ficou entre 58% e 70% e a concentração de metano dissolvido no efluente ficou entre 13 e 20 mg/L.

Tabela 2: Resultados médios de algumas das análises por divisão de fases, Fonte: Autoria própria

Fases da pesquisa	DQO afluente (mg/L)	DQO efluente (mg/L)	Remoção de DQO (%)	Metano dissolvido no efluente (mg/L)	Metano no biogás (L/dia)	Metano no biogás (%)
1ª fase	366	82	77	16,9	32,1	58
2ª fase	535	139	73	13,9	36,5	70
3ª fase	544	148	73	13,3	20,4	66
4ª fase	384	91	76	19,8	35,0	67

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Em relação ao que foi apresentado na Tabela 2 e anteriormente, as concentrações médias de DQO afluente estão de acordo com as proporções típicas, entretanto, ao se tratar das eficiências de remoção de DQO, a presente pesquisa obteve uma remoção de DQO superior à eficiência média de remoção (CHERNICHARO, 2007), estando acima de 70% em todas as fases da pesquisa. Foi determinada também a carga biológica encontrada em cada fase: 1ª fase foi de 0,08 gDQO.gSTV⁻¹.dia⁻¹, na 2ª fase 0,07 gDQO.gSTV⁻¹.dia⁻¹, na 3ª fase 0,29 gDQO.gSTV⁻¹.dia⁻¹ e na 4ª fase 0,15 gDQO.gSTV⁻¹.dia⁻¹. Importante observar no gráfico a seguir em que a porcentagem de remoção de DQO pelo reator UASB, em linha verde no gráfico (DQO_{removida}), permaneceu sem grandes variações durante as fases, desvio padrão no afluente de 152, 105, 137, 114 mg/L e no efluente de 32, 33, 29 e 47 mg/L, respectivamente da 1ª a 4ª fase.

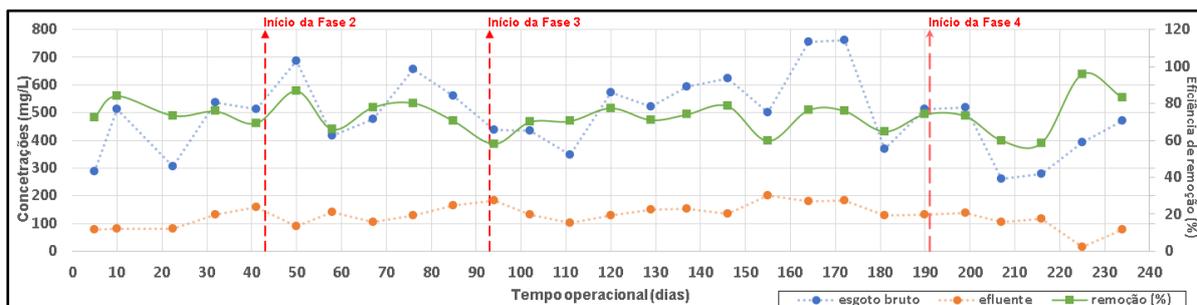


Figura 6: Gráfico da Demanda Química de Oxigênio (DQO x tempo), Fonte: Autoria própria

Lodo - Sólidos Totais Voláteis (STV)

O seguinte gráfico apresenta os dados processados para o perfil de STV de lodo na zona de digestão, é notório que o ponto 1 (0,25 m) não apresentou grandes variações, influenciado pela ação gravitacional junto ao fundo do reator. Por outro lado, principalmente em relação ao ponto 2 (1,00 m), houve grande variação, a partir do início da 3ª fase, demonstrando a influência sofrida à manta de lodo anaeróbico pelo descarte e pelo crescimento de biomassa logo em seguida. Relevante esclarecer que o ponto 4 somente obteve concentrações < 1 g/L, o que seria, graficamente, de difícil observação, sobrepondo com os dados do ponto 3 em vários momentos e por isso foi retirado do gráfico.

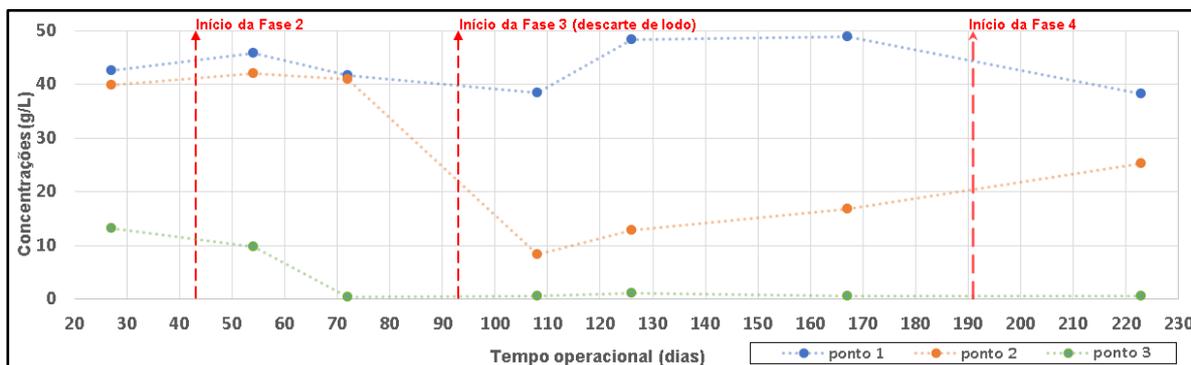


Figura 7: Gráfico da concentração de sólidos totais voláteis (g/L) (concentração x tempo), Fonte: Autoria própria

A análise da quantidade de sólidos totais voláteis dos 4 primeiros pontos de coleta (lodo anaeróbio) resultou em:

Tabela 3: Quantidade de STV em cada fase, Fonte: Autoria própria

Fases da pesquisa	Dia operacional usado para o cálculo	Massa de STV (kg)
1ª fase	26	5,06
2ª fase	72	5,16
3ª fase	108	2,27
4ª fase	222	3,31

A massa mínima dentro do reator também foi calculada, resultando no valor de 1,88 kg STV, considerando a Atividade Metanogênica Específica (AME) padronizado em 0,15 kg DQO.kg STV⁻¹.d⁻¹ (Lobato *et al.*, 2018) e os valores médios de carga orgânica removida.

Sulfato dissolvido (SO₄⁻²)

Na tabela a seguir estão os dados de sulfato dissolvido encontrados em cada fase da pesquisa, em que as concentrações variam de 46 a 72 mg/L no afluente e entre 14 e 22 mg/L no efluente, faixas bastante típicas para sistemas predominantemente domésticos (SOUZA, 2010).

Tabela 4: Concentração média de sulfato dissolvido, Fonte: Autoria própria

Fases da pesquisa	Sulfato afluente (mg/L)	Sulfato efluente (mg/L)
1ª fase	46,3	13,8
2ª fase	61,3	20,4
3ª fase	70,2	21,5
4ª fase	71,7	22,0

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Será demonstrada a seguir uma análise ordenada dos dados apresentados no conteúdo anterior, na qual novas informações obtidas na pesquisa podem ser inseridas para complementar a explicação e a correlação do que foi estudado.

Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Totais Voláteis (STV)

Após a demonstração dos dados de DQO entre as fases (Tabela 2), seguem considerações sobre a carga orgânica aplicada no reator em relação a massa de lodo presente no mesmo. É observado uma semelhança entre as duas primeiras fases, pois a carga orgânica continuou quase constante devido a vazão média diária idêntica entre as fases, sem grandes mudanças em relação a massa de STV no lodo. Na 3ª fase após o descarte de lodo, a massa de STV diminuiu e, assim, aumentou-se a carga biológica. Por fim, na 4ª fase a massa de STV voláteis aumentou, diminuindo a carga biológica, retornando aos valores encontrados inicialmente.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, fica claro que logo após o descarte de lodo (3ª fase), a massa de STV teve uma diminuição brusca, de exatos 56%, chegando a 2,27 kg. Com isso, é passível de observar a proximidade da massa mínima (1,88 kg STV), o que resultou em valores menores de metano no biogás, com ampliação futura na 4ª fase.

A Tabela 5 apresenta o cálculo feito entre a produção de metano (DQO_{CH_4}) no biogás pela DQO removida.

Tabela 5: Produção de metano no biogás em relação à DQO removida no sistema (médias), Fonte: Autoria Própria

Fases do projeto	CH ₄ no biogás / DQO removida (% gDQO)
Fase 1	33,6
Fase 2	25,2
Fase 3	15,6
Fase 4	35,2
Média	27,4

A partir de uma análise dos dados dispostos na tabela acima, visualiza-se que a fase mais divergente das demais foi a 3ª fase, pois apresentou queda em relação a 2ª fase. Sabendo que a DQO removida pelo sistema permaneceu constante entre essas 2 fases (Tabela 2), consegue-se inferir que a queda foi ocasionada pela diminuição de metano no biogás. Por fim, é possível observar uma maior constância de dados entre as outras fases, pela menor variação de metano no biogás, já que a DQO removida permaneceu similar entre fases (Tabela 2).

Metano no biogás (CH₄)

De acordo com a Tabela 2, constatou-se que a produção total diária de metano no biogás cresceu da 1ª fase em relação a 2ª, de 32,8 para 36,5 L/dia (passagem do hidrograma variável para vazão média constante), com uma vazão de biogás sem grandes variações nos dois períodos, média de 32,1 L/dia e 36,5 L/dia na 1ª e 2ª fase respectivamente, mantendo praticamente constante a porcentagem de metano no biogás (Tabela 2). Somado a isso, a queda e a ascensão da produção de CH₄ no biogás ocorridas na 3ª e na 4ª fase, respectivamente, são outros pontos de interesse, que podem ser observados na Figura 8. Por fim, após cerca de 3 meses, já dentro da 4ª fase, o lodo anaeróbio foi ampliado devido ao crescimento microbiano natural (biomassa), demonstrando aumento de produção: média de 35 L/dia. Os desvios padrão foram de 8,4 L/dia, 6,6 L/dia, 4,4 L/dia e 8,2 L/dia da 1ª a 4ª fase respectivamente.

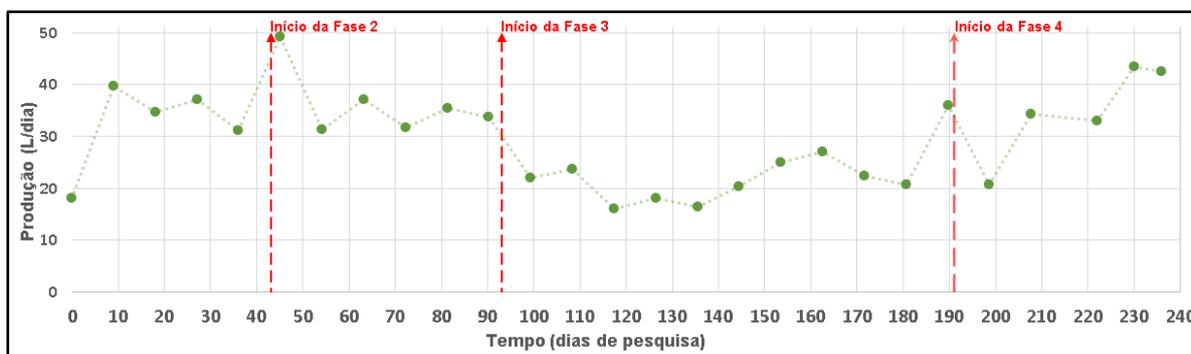


Figura 8: Gráfico de produção de metano no biogás (concentração x tempo), Fonte: Autoria própria

Tratando do mesmo assunto anterior, nota-se que a entrada constante de esgoto bruto no sistema (fase 2) pode influenciar no aumento da quantidade de metano produzida (em fase gasosa), possível de observação com a Tabela 2. Para melhor entendimento, a produção de metano no biogás na 3ª fase foi relativamente menor, possivelmente explicada pelo descarte de lodo, o que minimizou a quantidade de arqueias anaeróbias metanogênicas, e, como consequência, a produção de metano por estas, como demonstrado na Figura 8.

A tabela abaixo apresenta o cálculo feito entre a produção de metano no biogás pelo total de metano (no biogás + dissolvido) produzido.

Tabela 6: Produção de metano no biogás em relação ao metano total produzido, Fonte: Autoria Própria

Fases do projeto	CH ₄ no biogás / CH ₄ total (% gCH ₄)
Fase 1	58,2
Fase 2	65,8
Fase 3	52,9
Fase 4	56,5
Média	58,4

A fórmula seguinte foi utilizada para realização do cálculo da Tabela 6:

$$\text{Porcentagem de produção (\%)} = \frac{\text{produção de metano no biogás} \left(\frac{\text{g}}{\text{dia}}\right)}{\text{total produzido de metano (no biogás+dissolvido)} \left(\frac{\text{g}}{\text{dia}}\right)}$$

Esses dados nos permitem inferir novamente a relação direta entre quantidade de lodo anaeróbio e produção de metano no biogás pela queda observada na tabela (3ª fase) ocasionada pelo descarte de lodo, considerando que o total produzido de metano dissolvido quase permaneceu constante entre a 2ª e 3ª fase. A produção de metano dissolvido se manteve menos desigual entre as fases, apresentando 13,9 g/dia, 11,4 g/dia, 10,9 g/dia e 16,3 g/dia, valores respectivos a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª fase, média de 12,8 g/dia e desvio padrão de 2,2 g/dia. Somado a isso, a

porcentagem de produção de biogás aparenta não obter grandes variações considerando todas as fases do projeto, o que caracteriza um padrão geral, com desvio padrão de 5,4%.

Metano e sulfato dissolvido

Verifica-se que os valores encontrados de metano dissolvido estão de acordo com a literatura (15 a 25 mg/L). Observa-se uma possível relação entre metano dissolvido e lodo anaeróbio, que pode ser notado na Figura 9 pelo aumento da concentração da 3ª para a 4ª fase, período em que o lodo passou da biomassa próxima da mínima para um valor superior (aproximando da massa máxima). O gráfico de dispersão abaixo demonstra a produção de metano dissolvido no efluente, na qual o desvio padrão foi de 2,8 mg/L, 3,7 mg/L, 4,3 mg/L e 1,9 mg/L da 1ª a 4ª fase respectivamente.

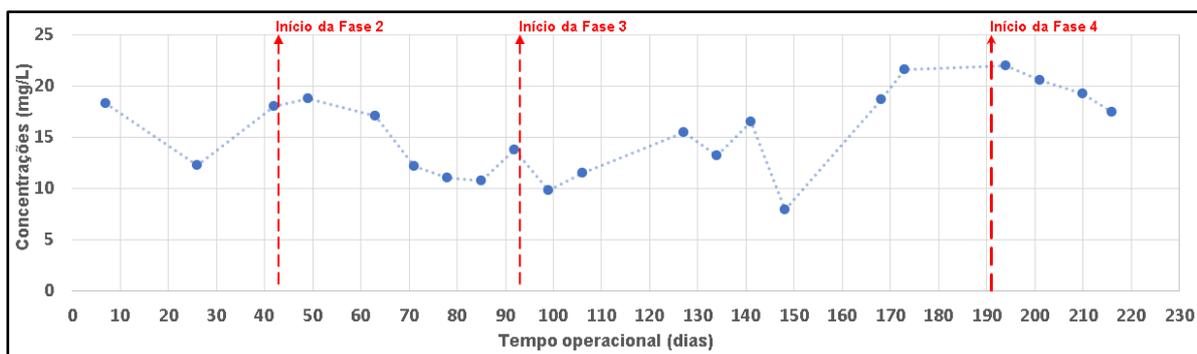


Figura 9: Gráfico de produção de metano dissolvido no efluente (concentração x tempo), Fonte: Autoria própria

A partir dos dados de sulfato dissolvido no afluente (Tabela 4) e de metano dissolvido no efluente encontrados na Tabela 2 e na Figura 9 possibilita a realização de uma análise, afim de comparar os valores de concentrações dos dois componentes. Dessa maneira, em recordação sobre a competição entre a metanogênese e a sulfetogênese, quando o sulfato dissolvido tem concentrações altas no afluente (esgoto bruto) o metano dissolvido no efluente possui baixas concentrações no efluente do UASB e vice-versa. O que não ocorreu dentro dos dados gerados, principalmente quando se observa os dados da última fase (4ª fase), em que sulfato e metano dissolvido apresentaram suas maiores concentrações, 71,7 mg/L e 19,8 mg/L respectivamente.

Se tratando dos dados medidos de temperatura, as médias de temperatura registrada no efluente do reator UASB foram de 25,3 °C, 27,0 °C, 22,6 °C e 24,8 °C, da 1ª a 4ª fase respectivamente. Em comparação com os dados de produção de metano no biogás (Tabela 2), percebe-se que as temperaturas foram próximas entre si (22,6 a 27,0 °C), e nas 3 fases com quantidade de lodo certamente e com alguma folga acima da mínima, as produções diárias de metano no biogás não se mostraram diferentes entre si.

CONCLUSÕES

Em resposta aos objetivos, conclui-se que a produção diária de biogás/metano foi bem próxima entre as fases 1, 2 e 4, assim como a concentração de metano dissolvido. Portanto, não foi possível afirmar no presente trabalho que haja diferenças de produção de metano entre regimes de alimentação diferenciados, vazão constante e variável segundo hidrograma.

O descarte de lodo anaeróbio ocorrido no início da 3ª fase promoveu uma considerável diminuição no volume de metano produzido no biogás, chegando a uma média de 20,4 L/dia. Como o descarte reduziu a quantidade de biomassa para um valor próximo da massa mínima (1,88 kg STV) pode-se concluir que, para uma produção diária teoricamente esperada de biogás e metano, pode ser necessário a manutenção da quantidade de biomassa acima da mínima (cerca de 50% maior), como foi atingida na 4ª fase, apresentando o retorno da produção diária para valores próximos aos encontrados na 1ª fase: 35 L/dia.

Vários parâmetros foram analisados durante a pesquisa, em que alguns desses demonstraram influência direta na produção de biogás e de metano.

- De maneira geral, os dados de DQO apresentaram constância, tanto nas concentrações quanto nas eficiências de remoção, o que não necessariamente indica que possíveis variações em outros momentos não irão interferir na produção de biogás de um reator UASB.
- Lodo anaeróbico e os sólidos totais voláteis apresentaram influência clara e direta com o biogás/metano após o descarte.
- Foi identificada a relação entre sulfato e metano dissolvido no presente trabalho, entretanto, a partir dos dados gerados e discutidos, não houve uma concreta ligação entre esses dois parâmetros com a produção de metano no biogás.

Desse modo, o trabalho permitiu conhecer mais a influência sobre a produção de metano diante da variação de vazão de alimentação e da massa do reator. Apesar das mudanças de fases, observou-se estabilidade geral dos dados, com maiores diferenças entre a 3ª e a 4ª fase. Conclui-se também que a maior influência observada foi a da massa presente dentro do reator, diante da variação de vazão realizada e o descarte de lodo, tendo a variação de vazão pouca interferência percebida.

Por fim, importa a busca por ampliar os estudos na área, para que esses parâmetros tenham um entendimento cada vez mais ampliado e, assim, contribuir para uma gestão mais eficiente e sustentável. Com enfoque também para que os reatores UASB mantenham a máximas eficiências possível, mesmo em momentos de massas próximas da máxima ou mínima, além da produção de biogás elevada visando aproveitamento energético.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), projeto TEC-PPM-00544-17, e ao Programa Regulatório de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais – ARSAE-MG e à Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, que possibilitaram tal trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Formation and impact of granules in fostering clean energy production and wastewater treatment in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 3, p. 1696–1708, 2012.
2. APHA, AWWA, WEF, 2012. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 22nd ed. American Public Health Association, Washington.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Agência Nacional de Águas, 2017.
4. CHERNICHARO, C. A. L. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores anaeróbios*. Departamento de engenharia sanitária e ambiental – DESA/UFMG, Belo Horizonte, v. 5, 2ª edição, 380 p., 2007.

5. LOBATO, Livia Cristina da Silva et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário–Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma. Rev. DAE, v. 66, p. 30-55, 2018.
6. MATSUURA, Norihisa et al. Recovery and biological oxidation of dissolved methane in effluent from UASB treatment of municipal sewage using a two-stage closed downflow hanging sponge system. Journal of Environmental Management, v. 151, p. 200-209, 2015.
7. MELO, D. F. Estudo da influência da quantidade de lodo na produção de biogás em reator UASB tratando esgoto doméstico. 2015.
8. PLAS, C., HARANT, H., DANNER, H., JELINEK, E., WIMMER, K., HOLUBAR, P., BRAUN, R., 1992. Ratio of biological and chemical oxidation during the aerobic elimination of sulfide by colourless sulfur bacteria. Appl. Microbiol. Biotechnol., 36, 817-822.
9. PROSAB. Rede cooperativa de pesquisas. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Local de Edição: RiMa, Artes e Textos, 1º edição. Rio de Janeiro, 1999.
10. SOUZA, C. L.. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB. 2010.
11. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., AQUINO, S.F., 2011. Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. Water Sci. Technol., 11, 2259–2264.
12. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 1, 4. ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014, 470 p.