

II-211 - OCORRÊNCIA DE METANO NO EFLUENTE DE REATORES UASBs E SUA DISSIPAÇÃO EM CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO DE ETE OPERANDO EM PLENA ESCALA

Bruno Sidnei da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental graduado pela Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheiro do Departamento de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Airton Checoni David

Engenheiro Mecânico pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenheiro do Departamento de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Marcelo Kenji Miki

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Gerente do Departamento de Projetos de Pesquisa da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Thiago Peixoto dos Santos

Engenheiro Químico graduado na Universidade Padre Anchieta-Jundiaí. Técnico em Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, nº 300 – Pinheiros – São Paulo – SP – CEP: 05429-900 – Brasil. Tel: +55 (11) 3388-9751 – Fax: +55 (11) 3388-8695 – e-mail: bsidnei@sabesp.com.br.

RESUMO

Este artigo apresenta uma discussão a cerca da ocorrência de metano dissolvido em efluente de um reator UASB operando em plena escala, e sua dissipação em caixa de distribuição de vazão da ETE Várzea Paulista. Para a quantificação da concentração de metano dissolvido no efluente, foi utilizada a metodologia da múltipla extração do 'headspace' e análise do gás extraído através de cromatografia gasosa. Apesar de estudos recentes terem relatado concentrações de metano dissolvido na ordem de 20 mg/l, foi encontrado nessa investigação valores de até 6,5 mg/l, o que representa cerca de 60% da concentração de saturação do metano nas condições de operação do reator. Já o gás residual dissipado na caixa de distribuição de vazão apresentou concentrações médias de metano de até 8 %.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Metano Dissolvido, Reator UASB.

INTRODUÇÃO

O metano produzido nos reatores UASB pode ser parcialmente perdido junto com seu efluente final. Estima-se que essa perda representa de 30 a 40% de todo o metano produzido em reatores do tipo UASB. A "dissolução" do biogás (metano e outros gases) na fase líquida é um fenômeno que se origina no manto de lodo do reator.

O biogás gerado no manto de lodo, localizado no fundo do reator, e, por isso, a uma pressão mais elevada (equivalente à coluna de água acima da manta de lodo, em torno de 4 metros) forma bolhas que ao subirem aumentam de tamanho, até serem desprendidas em uma zona de menor pressão, onde o biogás é coletado (zona de baixa pressão, variando de 5 a 30 cm.c.a).

Porém, uma parcela do metano se mantém dissolvido no efluente e pode ser liberado para a atmosfera durante sua passagem por algum dispositivo físico que cause turbulência ou agitação do líquido, como caixas de passagem e de distribuição de vazão.

Nesse trabalho buscou-se investigar a ocorrência de metano dissolvido em efluentes de reatores UASB operando em plena escala, e sua dissipação em caixa de distribuição de vazão que recebe a vazão tratada nesse reator, com vistas a subsidiar estudos futuros de redução e recuperação de emissões fugitivas de metano.

OBJETIVO

Investigar a ocorrência de metano no efluente de reatores UASB e sua dissipação em caixa distribuidora de vazão.

METODOLOGIA

A medição da concentração de metano presente nas amostras de efluente de UASB foi realizada através da metodologia das Múltiplas Extrações 'Headspace' – MHE. Essa metodologia é uma técnica quantitativa utilizada para análise de gases de interesse em Cromatografia Gasosa, e sua principal vantagem frente a outras técnicas de medição é não depender da constante da Lei de Henry, que pode sofrer variação quando o efluente final apresenta impurezas, como o efluente de reatores UASB.

Assim, foram realizadas campanhas de medições para investigar o teor de metano dissolvido no efluente de reatores UASB, na zona de decantação do reator e imediatamente após sua passagem em caixa de distribuição de esgotos para o processo de lodos ativados. Na caixa de distribuição, serão realizadas medições de vazão e composição no gás residual. Os pontos de amostragem estão apresentados na figura a seguir. A descrição dos pontos encontra-se na tabela 1.

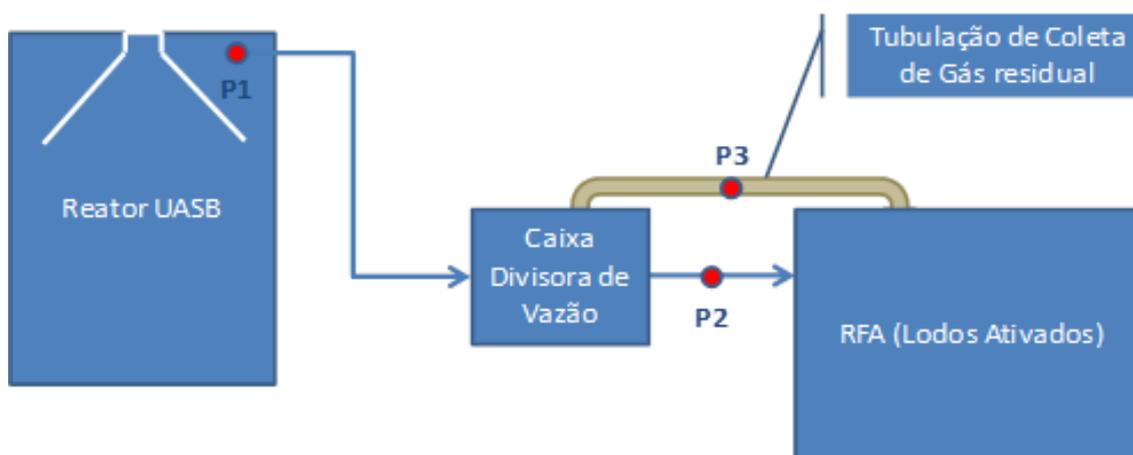


Figura 1: Pontos de Amostragem

Tabela 1: Descrição dos Pontos de Amostragem e Parâmetros Analisados

Ponto de Amostragem	Descrição do Ponto	Parâmetros
P1	Efluente do UASB	Metano (mg/L)
P2	Efluente da Caixa Divisora de Vazão	Metano (mg/L)
P3	Gás Residual	Metano (%); Vazão (l/s); Pressão (cm.c.a); Temperatura (°C)

Os materiais utilizados na investigação da ocorrência de metano no efluente do reator UASB (P1) e após sua passagem por caixa de distribuição de vazão que alimenta o sistema de tratamento subsequente de lodos ativados (P2) encontram-se apresentados na figura a seguir.

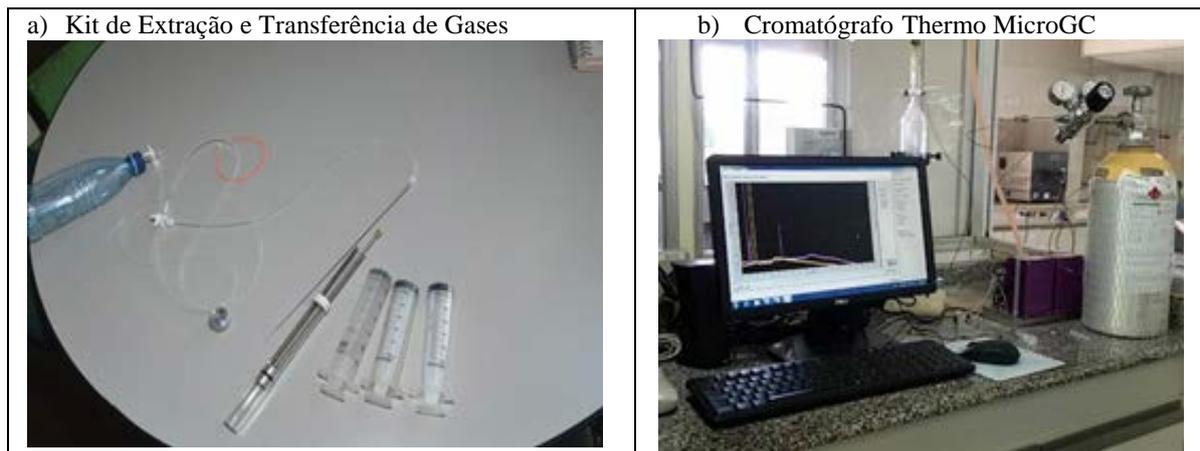


Figura 2: Materiais e Equipamentos Utilizados no Processo de Investigação

Para a análise da dissipação de metano na caixa distribuidora de vazão, serão utilizados os seguintes instrumentos de medição: tubo pitot, manômetro em U e sensor de temperatura.

O tubo pitot terá a função de medir a pressão diferencial de gases em uma tubulação de coleta de gases residuais com diâmetro de 200 mm, por onde os gases são coletados e encaminhados para o interior do tanque de lodos ativados.



Figura 2: Caixa de Distribuição de Vazão e Tubulação de Coleta de Gases

A velocidade do fluido através dessa tubulação de coleta é calculada através da equação 01 e a vazão pela equação da continuidade (equação 02).

$$v = \sqrt{2 \times \Delta p / \rho} \quad \text{equação (01)}$$

$$Q = A \times v \quad \text{equação (02)}$$

O manômetro em U e sensor de temperatura são utilizados para medir, respectivamente, a pressão manométrica e a temperatura da linha de coleta do gás residual, cuja finalidade será normalizar as medições de vazão.

A quantificação do metano no gás residual coletado na tubulação de coleta de gases será quantificada por cromatografia gasosa, conforme apresentado na figura 2.

Descrição da metodologia MHE

Através da metodologia MHE os gases extraídos continuamente da fase líquida (efluente do reator UASB) (extração dinâmica) ou passo a passo (extração estática), fazendo com que uma nova condição de equilíbrio seja adquirida a cada etapa de extração. Uma vez que o processo de extração ocorre de maneira contínua, o gás dissolvido arrastado para o 'headspace' apresentará inicialmente uma máxima concentração nesta fração do 'headspace', decaindo com o tempo. Este decaimento segue uma curva exponencial (Kolb & Ettre, 1991), de primeira ordem conforme a seguinte equação:

$$-dC/dt = qC \quad \text{equação (03)}$$

onde 'q' é uma constante. A concentração C_i em um determinado tempo t_i dependerá da concentração inicial C_1 e pode ser descrita através da seguinte equação:

$$C_i = C_1 \cdot e^{-q \cdot t} \quad \text{equação (04)}$$

Em um processo de extração passo a passo (extração estática), a cada intervalo de tempo podemos determinar a concentração do composto de interesse através da análise em cromatografia gasosa. Neste caso, o tempo t pode ser substituído pelo número de extrações sucessivas.

Como a área de pico observada no cromatógrafo é proporcional à concentração do composto de interesse no 'headspace', pode-se substituir C_1 e C_i da equação 04 pelas respectivas áreas de pico. A primeira extração ($i = 1$) ocorre no tempo $t=0$. Portanto, se forem realizadas 'n' extrações, $t = n-1$. A constante 'q' da equação 03 será substituída por 'q', de forma que a equação 04 pode ser escrita da seguinte forma:

$$A_i = A_1 \cdot e^{-q'(i-1)} \quad \text{equação (05)}$$

A quantidade total do composto analisado na amostra pode ser calculada através da soma total das áreas de pico obtida nos sucessivos cromatogramas, conforme equações a seguir:

$$A_i = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad \text{equação (06)}$$

$$A_i = A_1 \cdot [1 + e^{-q'} + e^{-2q'} + \dots + e^{-(n-1)q'}] \quad \text{equação (07)}$$

A equação 07 é uma progressão geométrica de quociente 'f', onde:

$$f = e^{-q'} \quad \text{equação (08)}$$

Substituindo a equação 09 na equação 07 teremos:

$$A_i = A_1 \cdot [1 + f + f^2 + \dots + f^{(n-1)}] \quad \text{equação (09)}$$

A soma desta progressão geométrica a partir do primeiro termo da progressão é dada pela seguinte equação:

$$S_n = \sum_{i=1}^n A_1 \cdot f^{(i-1)} = A_1 f + A_1 f^2 + \dots + A_1 f^{(n-1)} \quad \text{equação (10)}$$

Para $f \neq 1$

$$S_n = \frac{A_1 \cdot (f^n - 1)}{f - 1} = \frac{A_1 \cdot (1 - f^n)}{1 - f} \quad \text{equação (11)}$$

Para infinitas extrações a equação 10 e equação 11 resultam na seguinte equação:

$$S_{\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} A_1 \cdot f^{(n-1)} = \frac{A_1}{1-f} = \frac{A_1}{1-e^{-q'}} \quad \text{equação (12)}$$

Assim, fica demonstrado matematicamente que a partir de certo número de medições é possível calcular a soma total de cada área correspondente à concentração do gás de interesse no 'headspace', ao invés de se proceder a soma até um número infinito de extrações.

De acordo com a equação 12, somente duas incógnitas precisam ser quantificadas para se obter a soma total, ou seja, "A₁" e "q'". A₁ será a área obtida no cromatógrafo correspondente a primeira extração do 'headspace' e "q'" pode ser determinado através de uma análise de regressão linear da equação 03 que resulta na seguinte equação:

$$\ln A_i = -q'(i-1) + \ln A_1 \quad \text{equação (13)}$$

Para i = n, teremos:

$$\ln A_n = -q'(n-1) + \ln A_1 \quad \text{equação (14)}$$

$$q' = \frac{\ln A_1 - \ln A_n}{(n-1)} \quad \text{equação (15)}$$

Na equação 15, 'q'' é o coeficiente angular do gráfico da forma logarítmica dos picos de área medidos.

RESULTADOS

As medições de metano medidas no efluente dos reatores UASB encontram-se apresentadas na tabela 2. Os valores variaram de 4,1 a 6,5 mg/L.

Tabela 2 – Concentração de Metano Dissolvido

Amostra	q'	f	S	Vol. [CH ₄] (ml)	Massa [CH ₄] g	Massa [CH ₄] mg	conc. [CH ₄] (mg/l)
1A	0,7199	0,4868	13792	0,2758	0,000163007	0,163006674	4,1
1B	1,7665	0,1709	22026	0,4405	0,000260328	0,260327767	6,5
2A	1,4188	0,2420	11015	0,2203	0,000130192	0,130191903	3,3
2B	1,4112	0,2439	13792	0,2758	0,000163006	0,163006284	4,1

As medições de concentração de metano na amostra da caixa residual variaram de 6 a 8 % de CH₄, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados Preliminares de Metano no Gás residual

Amostra	Resultado 1		Resultado 2		Resultado 3		Média	
	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)						
1	6,4187	1,9452	5,9106	2,0243	6,3157	2,7972	6,2150	2,2556
2	7,7254	1,9732	7,6251	2,5000	8,7166	3,2917	8,0224	2,5883

A próxima etapa do trabalho será quantificar a vazão de gás residual. Novas campanhas de amostragem deverão ser realizadas para obtenção de novos dados de metano no efluente líquido dos reatores UASB e no gás residual. Quanto às amostras de efluente do reator UASB, será incluída nas próximas coletas de dados a análise de sólidos em suspensão voláteis e sólidos em suspensão totais, pois foi observado que os maiores valores de concentração de metano foram obtidos nas amostras com maior concentração de sólidos, ou seja, naqueles reatores onde havia acúmulo excessivo de lodo e escape de sólidos em suspensão para a zona de decantação (Reatores 1B e 2B).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados de metano dissolvido obtidos através da metodologia - MHE foram comparados com as metodologias desenvolvidas por Alberto et. al. (2000) e Hartley e Lant (2006), citadas e adaptadas por Cláudio Leite de Souza (2010).

A comparação dos resultados preliminares entre os métodos da múltipla extração do headspace e do método adaptado por Leite de Souza (2010) estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 4 – Comparação dos Resultados com o Método Adaptado por Leite de Souza (2010)

Amostra	Local	Concentração de Metano Dissolvido (mg/L)	
		Método MHE	Método Adaptado por Cláudio Leite de Souza, 2010
UASB 1A	Várzea Paulista	4,1	2,2
UASB 1B	Várzea Paulista	6,5	5,7
UASB 2A	Várzea Paulista	3,3	2,6
UASB 2B	Várzea Paulista	4,1	3,2

Os resultados encontrados a partir do método de Cláudio Leite de Souza apresentaram-se inferiores aos resultados obtidos com a metodologia MHE. Esta diferença pode estar relacionada ao fato de não se ter empregado durante os procedimentos de extração alguns requisitos da metodologia de Leite de Souza, como a climatização da amostra em estufa em temperatura constante de 25°C. Além disso, como a metodologia do MHE não implica no conhecimento de valores da constante da lei de Henry e pressão de vapor, a temperatura da amostra pode ter sofrido variação durante o procedimento de extração.

Com relação à dissipação de metano na caixa de distribuição de vazão, foram observados valores médios da ordem de 6 a 8% de CH₄ no gás residual, valores bastante superiores ao observado por Souza (2010) em experimentos realizados com caixas de dissipação, onde ele observou concentrações variando de 0,4 a 0,6%.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados são um indicativo de que uma parcela significativa do metano pode estar sendo perdida junto com o efluente do reator e sendo dissipado na caixa de distribuição de vazão que alimenta o tanque de aeração (lodos ativados). Portanto, justifica-se uma avaliação mais acurada dessa rota fugitiva de metano dos reatores UASB da ETE Várzea Paulista, de modo a identificar suas causas e estabelecer ações que possibilitem a recuperação do metano, e conseqüentemente, a redução de emissão fugitiva desse gás na ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GUDAT, A. E.; BRILLANTE, S. M. Multiple Headspace Extraction Capillary gas Chromatography for the Quantitative Determination of Volatiles in Solid Matrices. Gas Chromatography. 1996.
2. 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. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. 2010.