

## **II-049 - AVALIAÇÃO DE CÂMARA DE DESSORÇÃO NA REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO E RECUPERAÇÃO DO METANO DISSOLVIDO NO EFLUENTE DE REATOR UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO**

**Cláudio Leite de Souza<sup>(1)</sup>**

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

**Tamile Dafne Marinho<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (SMARH/UFMG).

**Jaqueline Ingrid da Silva<sup>(3)</sup>**

Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Bolsista no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Thiago Augusto de Castro e Souza<sup>(4)</sup>**

Graduando em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Bolsista no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Rafaella Silva de Carvalho<sup>(5)</sup>**

Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Bolsista no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Antonio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil  
Tel: (31) 3409-1011 - e-mail: [claudio@desa.ufmg.br](mailto:claudio@desa.ufmg.br).

### **RESUMO**

O tratamento de esgoto doméstico via reatores UASB tem se destacado no cenário brasileiro, porém, alguns subprodutos indesejáveis são formados a partir da degradação anaeróbia de compostos orgânicos. Com enfoque no subproduto gasoso, parcela dos gases formados são despreendidos e formam o biogás e outra parcela permanece dissolvida na fase líquida, possibilitando a emissão dos gases para a atmosfera. Assim, o controle dos gases dissolvidos, com destaque para o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), por ser corrosivo, mal cheiroso e tóxico, e o metano ( $CH_4$ ), por ser um dos principais gases que contribui para o agravamento do efeito estufa, tem se tornado bem relevante no gerenciamento das estações de tratamento de esgoto. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso da câmara de dessorção (CD) na remoção dos gases dissolvidos ( $CH_4$  e  $H_2S$ ) no efluente de reator UASB tratando esgoto doméstico, mas também a recuperação do metano no gás residual. Para isso, utilizou-se de um reator UASB recebendo esgoto doméstico real e uma CD com enchimento em escala demonstração, na qual variou-se a relação entre vazões gás/líquido ( $rQ$ ) e a carga hidráulica superficial (CHS) aplicada, constituindo 3 fases operacionais. Os resultados obtidos para eficiências de remoção dos gases dissolvidos foram de 46 a 71% para o metano e de 54 a 93% para o sulfeto. As maiores eficiências foram atingidas na fase 3, a qual apresentou menores acúmulos de sólidos. As concentrações de  $CH_4$  no gás residual foram na faixa de 7-22%. Dessa forma, nota-se que o uso da CD com enchimento apresenta-se como uma técnica de grande potencial para remoção dos gases dissolvidos de interesse em efluentes de reatores UASB, com possibilidade de recuperação do metano, já que este se apresentou em concentrações razoáveis no gás residual devido aos baixos valores de  $rQ$  utilizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reator UASB, Câmara de Dessorção, Gases Dissolvidos, Metano e Sulfeto de Hidrogênio.

### **INTRODUÇÃO**

No contexto brasileiro, o uso de reatores UASB como tecnologia anaeróbia para tratamento de esgotos domésticos apresenta ótimas vantagens, como baixos custos de implantação e operação. Porém, possui como um dos principais desafios o gerenciamento dos gases formados no processo de conversão dos compostos

orgânicos, em que parcela dos gases são desprendidos e formam o biogás e outra parcela permanece dissolvida na fase líquida, possibilitando a emissão destes gases para a atmosfera na saída do reator. Assim, o controle dos gases produzidos, em destaque o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), por ser corrosivo, mal cheiroso e tóxico, e o metano ( $\text{CH}_4$ ), por ser um dos principais gases que contribui para o agravamento do efeito estufa, se faz bastante importante no gerenciamento das estações de tratamento de esgoto.

Segundo Souza (2010), aproximadamente 36-40% do total de metano gerado em reatores UASB durante o tratamento do esgoto doméstico é perdido dissolvido junto ao efluente. Este metano dissolvido significa perda direta de potencial energético, riscos eventuais de inflamabilidade e emissão de GEE, quando esse metano posteriormente se desprender para a atmosfera (BANDARA *et al.*, 2011).

Uma alternativa promissora para a remoção de gases dissolvidos é a utilização das câmaras de dessorção (CD), que além de alcançarem satisfatórias eficiências de remoção dos gases, apresentam simplicidade operacional e baixo custo. As CDs são baseadas em condições transferência de massa líquido-gás, conseguidas pela queda livre da fase líquida supersaturada dos gases em uma coluna fechada, preenchida ou não de material, e pela exaustão da atmosfera confinada. Dessa forma, como a transferência de gás ocorre através das interfaces gás-líquido, a CD é utilizada para maximizar este contato interfacial. Segundo Popel (1979), para favorecer essa transferência, a renovação contínua dessas interfaces é essencial. Nesse sentido, a técnica da câmara de dessorção, por meio da exaustão da atmosfera confinada, promove a renovação da fase gasosa continuamente. Além disso, a turbulência causada pela altura de queda livre aumenta a transferência de massa da fase líquida.

Pesquisas anteriores foram desenvolvidas utilizando CDs com e sem enchimento. Neste sentido, Huete *et al.* (2017) estudaram a utilização da CD com enchimento, escala piloto com anéis plásticos, com 1,0 metro de altura, carga hidráulica superficial (CHS) de 0,9 a 1,7  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  e operando com relações das vazões ar/líquido (rQ) de 0,5 e 1,0 em contracorrente. Eles alcançaram eficiências de remoção de 99% para o metano e de 30% para o sulfeto e a concentração de metano conseguida no gás residual foi de 2,7% e 4,5%, respectivamente. Santo (2017) também desenvolveu estudos utilizando a CD com enchimento, em escala piloto, com CHS de 0,3  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  e rQ de 0,1 e 17,1, sendo que alcançou eficiências de remoção de 77 e 89% para metano e 86 e 87% para sulfeto, respectivamente. As eficiências de remoção dos gases dissolvidos para o menor rQ não foram menores, significativamente, que as eficiências de remoção com maior rQ. Ao se considerar que a concentração de metano no gás residual foi, em média, de 21% para o rQ de 0,1 e 0,45% para rQ de 17,1, sendo, portanto, bastante superior no primeiro caso, percebe-se a relevância da utilização da CD com enchimento e baixos valores de rQ para recuperação do metano dissolvido. Por sua vez, Machado (2018) operou uma CD, em escala demonstração, sem e com enchimento, para CHS de 0,15, rQ de 4, e 0,23  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , rQ de 3. Os resultados encontrados, utilizando-se a CD sem enchimento, foram eficiências de remoção de metano de cerca de 60%, para os dois rQ, e para o  $\text{H}_2\text{S}$  de 55,5% (rQ de 4) e 42,9% (rQ de 3), sendo a concentração de  $\text{CH}_4$  no gás residual de 0,49 e 0,70%, respectivamente. Já os resultados com o material de enchimento foram eficiências de 82% e 75% para metano e de 87,3 e 89,7% para sulfeto, com concentrações de  $\text{CH}_4$  no gás residual de 0,36 e 0,75% para os rQ de 4 e 3, respectivamente. Neste mesmo estudo, o autor também operou uma CD piloto com enchimento visando, além da remoção dos gases dissolvidos, a recuperação do metano dissolvido, dessa forma, ao operar com rQ de 0,06 e CHS de 0,58  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , o autor alcançou eficiências de remoção de 57% para  $\text{CH}_4$  e de 65% para  $\text{H}_2\text{S}$  e um gás residual também relativamente bastante concentrado de metano, com 17%.

Com isso, ao se considerar a pretensão de recuperação do metano dissolvido no efluente de reatores UASB, a CD com enchimento pode ser uma opção promissora. Contudo, ainda são necessários estudos mais aprofundados e prolongados para estabelecer melhores condições operacionais e confiabilidade para o propósito de se conseguir elevadas eficiências de remoção dos gases dissolvido nas baixas relações rQ.

Isto posto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso da câmara de dessorção com enchimento em escala demonstração na remoção e recuperação dos gases dissolvidos, sulfeto de hidrogênio e metano, em efluente de reator UASB tratando esgoto doméstico.

## MATERIALIS E MÉTODOS

### Área de estudo e aparato experimental

A parte experimental da pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG/COPASA, localizado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da bacia do ribeirão Arrudas, a qual recebe grande parte do esgoto doméstico gerado na região metropolitana de Belo Horizonte. O CePTS é constituído por unidades experimentais onde são desenvolvidas diversas pesquisas com sistemas de tratamento de esgoto doméstico. O esgoto doméstico utilizado nos sistemas experimentais provém de uma pequena tomada do esgoto que chega à ETE, após passar por tratamento preliminar (gradeamento e desarenação).

Dentre os sistemas de tratamento de esgoto instalados no CePTS, utilizou-se no presente estudo um reator UASB cilíndrico e uma câmara de dessorção com enchimento, ambos em escala demonstração. As principais características do sistema estão especificadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Dimensões e condições operacionais do reator UASB e da câmara de dessorção (CD).**

<i>Características</i>	<i>UASB</i>	<i>CD</i>
Vazão média ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	40	30 e 20
Diâmetro (m)	2,0	0,35
Altura útil (m)	4,5	1,2
TDH (h)	8,5	-
Volume útil ( $\text{m}^3$ )	14,0	0,13
Material	Ferrocimento	Acrílico

### Fases operacionais

A CD utilizada neste estudo recebia o efluente do reator UASB, posicionada a cerca de 70 cm abaixo do nível d'água de saída do efluente do reator. A tubulação de entrada na CD estava a 20 cm do topo da unidade, com furo de 1 e 1/2" de diâmetro. A distribuição do afluente à CD se fazia hidráulicamente por meio de uma bandeja de PVC de 200 mm e 5 furos de 3/4". A entrada de ar atmosférico se dava através de 3 furos de 3/4" distribuídos no perímetro a 15 cm da base da CD e o ponto de exaustão era estabelecido por meio de uma saída a 11 cm do topo da unidade, com o diâmetro de 1 e 1/2", sendo utilizada uma bomba peristáltica com ajuste de rotação/vazão. A câmara de dessorção operou com 1,0 metro de material de enchimento. Foram usados recortes de eletrodutos corrugados de polietileno de alta densidade, com diâmetro de 3/4" recortados em tamanhos de 5 cm. A área superficial específica alcançada foi de aproximadamente  $240 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ .

A pesquisa foi desenvolvida em três fases operacionais, em que rQ e CHS foram variadas de acordo com o apresentado na Tabela 2.

Vale destacar que a CD e o material suporte (eletrodutos corrugados), anteriormente à fase 1, foram utilizados em outra pesquisa prévia, a qual durou cerca de 4 meses. Assim, a presente fase 1 iniciou-se com acúmulo de sólidos naturais do efluente de UASB. A fase 2 deu continuidade imediata à fase 1. Ao final da fase 2 houve troca completa do material suporte e consequente remoção da grande quantidade de sólidos acumulados nos interstícios. Por sua vez, previamente à fase 3 também houve período operacional antecedente, com duração de cerca de 2 meses, não considerado nesta fase. Assim, também a fase 3 iniciou-se com acúmulo de sólidos do efluente de UASB.

**Tabela 2: Fases operacionais da câmara de dessorção.**

<i>Parâmetros</i>	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>
Vazão média afluente ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	22,6	22,0	13,3
Vazão de exaustão ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	2,3	1,2	0,7
rQ ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1} / \text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) - $Q_g \cdot Q_l^{-1}$	0,10	0,05	0,05
CHS ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0,24	0,23	0,14

Foram realizadas coletas e monitoramentos com frequência de duas vezes por semana, durante cerca de 100 dias. As análises efetuadas foram de metano e sulfeto dissolvidos através do método adaptado por SOUZA *et al.* (2011) e colorimétrico (PLAS *et al.*, 1992 e APHA, 2012), respectivamente. As medições da composição do gás residual quanto às concentrações (%v/v) de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> foram realizada por meio do analisador portátil LANDTEC® tipo GEMTM 5000.

Os resultados encontrados nesta pesquisa foram trabalhados estatisticamente com o auxílio do software Statistica 8.0. Para definir quais testes de hipóteses seriam adotados aos conjuntos de dados, foi realizado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, a partir do qual, constatou-se que os dados gerados na presente pesquisa não apresentaram distribuição normal (dados não-paramétricos). Dessa forma, os testes de hipóteses realizados foram: o teste de U de Mann-Whitney, para as amostras independentes, e o teste de T de Wilcoxon, para as amostras dependente, sendo ambos realizados com nível de confiança de 95%.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Gases dissolvidos

A Tabela 3 apresenta os resultados das concentrações de sulfeto e metano dissolvidos afluente e efluente à CD durante as três fases operacionais desta pesquisa. As concentrações de sulfeto dissolvido no ponto afluente à CD, em termos de mediana, foram de 13,4; 15,0 e 10,4 mg.L<sup>-1</sup>, e no efluente foram de 3,6; 6,9 e 1,4 mg.L<sup>-1</sup>, durante as fases 1, 2 e 3, respectivamente. O teste estatístico mostrou que houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de afluente e efluente para as três fases e também entre os dados de efluentes para as fases 1, 2 e 3. Já as concentrações de metano dissolvido no afluente à CD, em termos de mediana, foram de 18,3; 17,8 e 17,1 mg.L<sup>-1</sup>, e as concentrações no efluente foram de 8,5; 9,8 e 4,5 mg.L<sup>-1</sup>, para as fases 1, 2 e 3, respectivamente. O teste estatístico mostrou que houve diferença estatisticamente significativa entre os dados de afluente e efluente para as três fases e também entre os dados de efluentes para as fases 1, 2 e 3.

**Tabela 3: Concentrações de H<sub>2</sub>S e CH<sub>4</sub> dissolvidos nos afluentes (AF) e efluentes (EF) para CD.**

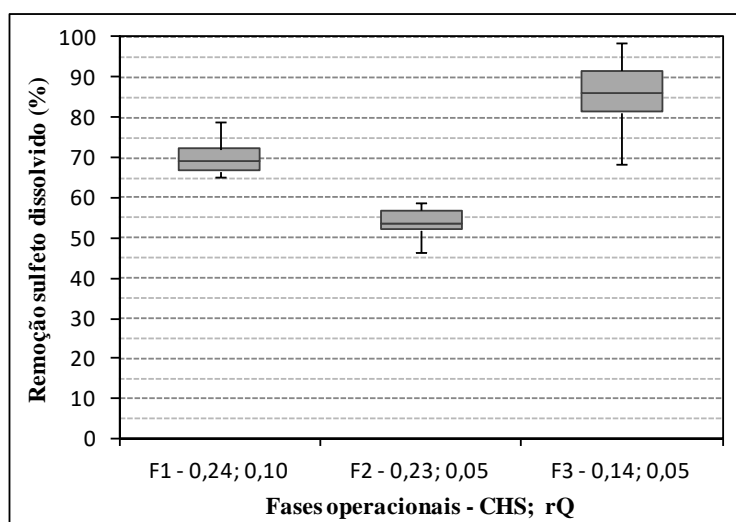
		<i>Fase 1</i>			<i>Fase 2</i>			<i>Fase 3</i>		
		Med	Média	DP/N	Med	Média	DP/N	Med	Média	DP/N
<b>Sulfeto dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>AF</b>	13,4	13,1	1,3/8	15,0	15,0	1,4/13	10,6	10,6	1,5/17
	<b>EF</b>	4,2	3,8	1,1/8	6,9	6,8	0,9/13	1,4	1,6	1,0/17
<b>Metano dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>AF</b>	18,1	17,5	2,0/8	17,8	18,6	1,6/13	17,1	16,8	1,6/17
	<b>EF</b>	8,8	8,9	1,8/8	9,9	10,6	1,6/13	4,5	4,6	1,7/17

Med: mediana. DP: desvio padrão. N: número de dados.

As eficiências de remoção do sulfeto dissolvido com a CD foram de 69% para fase 1, de 54% para fase 2 e de 86% para fase 3, em termos de mediana, como pode ser observado na Figura 1. Como foi descrito na metodologia, a fase 1 iniciou-se com acúmulo de lodo nos interstícios do material de enchimento resultante de um período operacional prévio de cerca de 4 meses. Associado a isso, os parâmetros operacionais em termos de CHS e rQ foram, respectivamente para fase 1, de 0,24 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup> e 0,10, resultando nessa eficiência de 69%. Na fase 2, subsequente, mantendo quase idêntica CHS, reduzindo a rQ para 0,05 com o propósito de aumentar a concentração de metano no gás residual, e, talvez como condição operacional mais determinante, tendo havido progressão do acúmulo de lodo nos interstícios do material de enchimento para quantidades ainda mais relevantes, a eficiência reduziu para a valor de referência de 54%. Ressalta-se que mais próximo do final dessa fase 2, atingiu-se um período total de cerca de 6 meses de operação contínua e acumulação de sólidos e lodo no material de enchimento. Antes da fase 3 seguinte, como também descrito na metodologia, houve troca e limpeza do material de enchimento, mantendo o mesmo tipo (eletrodutos corrugados de ¾" e 5 cm), além de uma operação prévia de cerca de 2 meses contínuos. Nesta fase 3, manteve-se a mesma rQ da fase 2 (0,05) para buscar elevadas concentrações de metano, mas diminui-se a CHS para 0,14 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>. Com isso, atingiu eficiências muito elevadas de remoção de sulfeto, 86%. Ressalta-se que próximo do final dessa fase o acúmulo de sólidos e lodo no material de enchimento foi correspondente ao período total de cerca de 3 meses.

Isto posto, acredita-se que o acúmulo de sólidos/lodo observados antes e durante as fases 1 e 2, foram mais influenciadores e determinantes para menores eficiências de remoção de sulfeto. Sobretudo em comparação com o ocorrido para a fase 3. Assim, entende-se que nas fases 1 e 2 houve acúmulo excessivo de sólidos/lodo que prejudicou a remoção de sulfeto na CD porque dificultou o contato das fases líquida e gasosa, prejudicando a dessorção e oxidação do sulfeto.

As eficiências conseguidas neste estudo para o sulfeto dissolvido, encontraram-se abaixo (fase 1 e 2) e próximo (fase 3) do alcançado por Santo (2017), que obteve 87% de eficiência utilizando-se de uma CD com enchimento (anéis Pall) e rQ de 0,1. Na pesquisa de Machado (2018) foi obtida eficiência de 65%, ao utilizar de uma CD piloto, visando a recuperação do metano, com rQ de 0,06. Foi uma condição mais próxima desta pesquisa, sendo esse resultado mais próximo ao se comparar com as fases 1 e 2 deste estudo. Por sua vez, comparando com o resultado de sulfeto da fase 3, a presente pesquisa apresentou melhor eficiência. A seu turno, Huete *et al.* (2017) conseguiram eficiências de remoção do sulfeto dissolvido de apenas 30%, operando uma CD com enchimento, CHS de 0,9; 1,7 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup> e rQ de 1,0; 0,5.

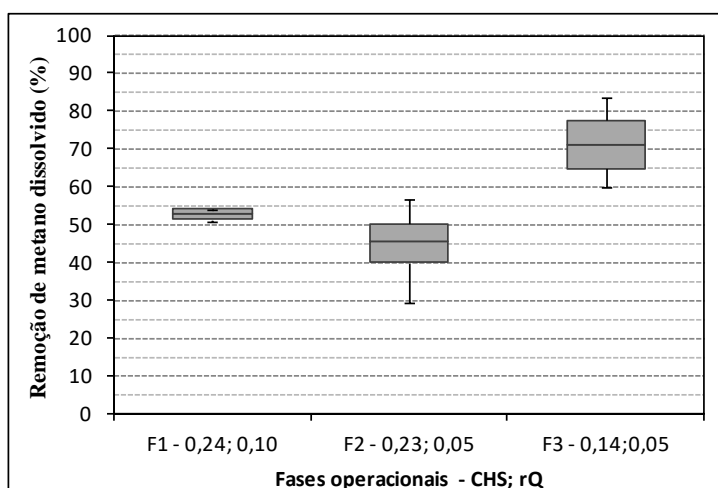


**Figura 1: Box-Whisker das eficiências de remoção de sulfeto dissolvido na Câmara de Dessorção com enchimento, fases operacionais 1, 2 e 3.**

As eficiências de remoção do metano dissolvido a partir da CD, em termos de medianas, foram de 51% para a fase 1, 45% para a fase 2 e 71% para fase 3, como pode ser observado na Figura 2. O padrão de evolução das eficiências para metano dissolvido foi muito semelhante comparativamente ao de sulfeto dissolvido apresentado (Figura 1) e discutido, com a particularidade de que as eficiências foram menores, ou seja, a CD com enchimento removeu mais sulfeto (50 a 90%) e menos metano (40 a 75%), considerando as 3 fases operacionais e suas variações de CHS e rQ. Além disso, vale reforçar a mesma linha de raciocínio desenvolvida para explicação das diminuições e aumentos de eficiências de remoção de sulfeto dissolvido, isto é, para metano dissolvido também as menores eficiências pareceram ocorrer mais em função da ocorrência e intensificação do processo de acúmulo de sólidos/lodo nos interstícios do material de enchimento. Ao passo que na fase 3, com o material menos sobrecarregado de acúmulo de sólidos/lodo, as eficiências se mostraram consistentemente maiores.

Também, as eficiências de remoção do metano dissolvido durante as fases 1 e 2 ficaram abaixo da alcançada por Santo (2017), 77% de eficiência utilizando-se de uma CD com enchimento (anéis Pall), rQ de 0,1 e CHS de 0,3 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup> e próximas das obtidas por Machado (2018), de 57%, ao utilizar-se de uma CD piloto com enchimento, rQ de 0,06 e CHS de 0,58 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>. Por sua vez, a fase 3 da presente pesquisa mostrou eficiências próximas e até maiores das conseguidas nessas pesquisas anteriores. Enquanto isso, Huete *et al.* (2017) conseguiram elevadas eficiências de remoção do metano dissolvido, de cerca de 99%, utilizando-se também de uma CD com enchimento (anéis plásticos), CHS de 0,9; 1,8 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup> e rQ de 0,5; 1,0, estando tal pesquisa em condições operacionais mais distantes, pois foram utilizados rQ e CHS bem maiores.





**Figura 2: Box-Whisker das eficiências de remoção de metano dissolvido na Câmara de Dessorção com enchimento, fases operacionais 1, 2 e 3.**

#### Gases residuais

A Tabela 4 mostra os resultados de estatística descritiva da composição do gás residual, vazão de exaustão e temperatura da CD para as fases operacionais. A partir destes valores, pode-se perceber que as concentrações de metano no gás residual, em termos de mediana, foram de 7,2%, 21,8% e 17,3% durante as fases 1, 2 e 3, respectivamente. Já as concentrações de H<sub>2</sub>S no gás residual, em termos de mediana, foram de 778, 926 e 529 ppm durante as fases 1, 2 e 3, respectivamente. Os dois grupos de dados (concentração de metano e de sulfeto) apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as três fases operacionais da pesquisa.

**Tabela 4: Características dos gases residuais da câmara de dessorção com enchimento, fases operacionais 1, 2 e 3.**

Fase	Estatística descritiva	Análise de composição (%)				Exaustão	
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S (ppm)	Vazão (L.d <sup>-1</sup> )	T(°C)
FASE 1	Mediana	7,2	4,2	16,3	777,5	23,4	72,2
	Média	7,3	4,1	16,5	731,7	23,1	72,1
	DP	1,6	1,2	1,4	33,6	1,8	1,5
	CV	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0
	Mínimo	5,2	2,6	15,0	559,0	21,5	70,0
	Máximo	9,6	5,5	18,3	820,0	24,7	73,8
	N	12	12	12	12	12	12
FASE 2	Mediana	21,8	5,7	11,7	925,8	22,9	62,6
	Média	19,8	5,7	12,2	963,4	22,6	64,8
	DP	6,8	1,5	3,2	387,1	1,8	3,8
	CV	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1
	Mínimo	8,7	3,7	7,9	102,5	19,0	60,5
	Máximo	31,6	9,5	16,4	1813,7	24,7	70,8
	N	13	13	13	13	13	13
FASE 3	Mediana	17,3	6,0	12,0	529,0	25,0	69,6
	Média	17,4	6,1	12,0	506,0	25,3	69,5
	DP	3,7	0,6	1,5	243,4	3,0	2,8
	CV	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,0
	Mínimo	11,5	5,1	9,3	92,0	21,5	61,2
	Máximo	27,6	7,1	14,4	1035,0	34,0	74,5
	N	12	12	12	12	12	12

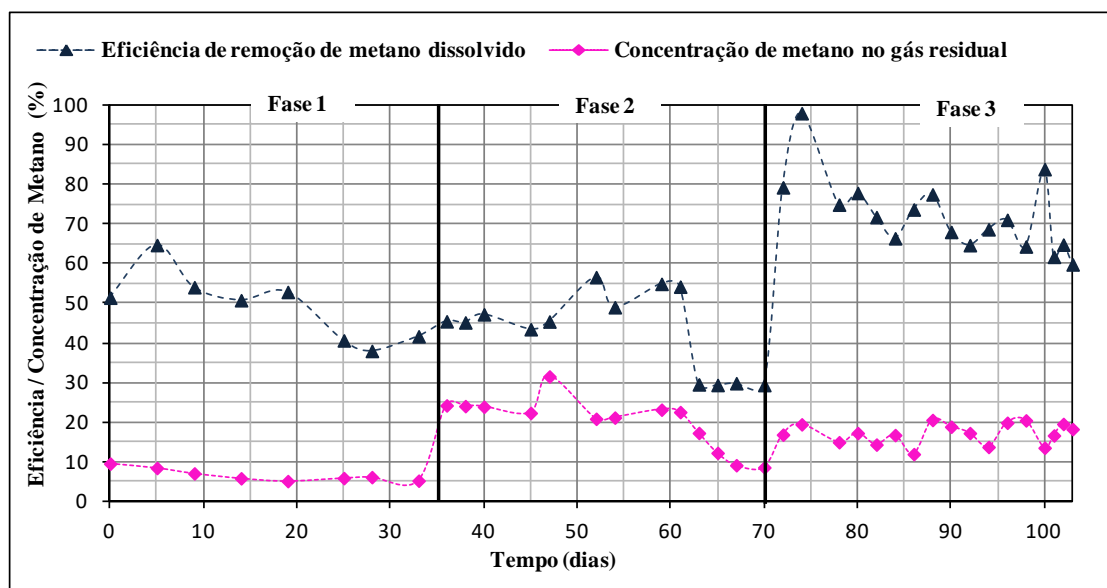
DP: Desvio padrão. CV: Coeficiente de variação. N: Número de dados.

Os resultados em relação à porcentagem de metano no gás residual obtidos nas pesquisas de Huete *et al.*, (2017), Santo (2017) e Machado (2018), que utilizaram-se de câmaras de dessorção com enchimento e baixas rQ, foram de 2,5 – 4,5%, 21% e 17,2%, respectivamente. Ao comparar estas porcentagens com os dados da presente pesquisa, tem-se que foi possível alcançar maiores valores de concentração de metano no gás residual ou bem próximos do que os valores reportados nas pesquisas desenvolvidas neste contexto. Dessa forma, os resultados conseguidos neste trabalho, principalmente durante as fases 2 e 3 (rQ de 0,05), evidenciaram a potencialidade de recuperação do metano dissolvido ao se conseguir um gás residual mais concentrado.

Dessa forma, a fase 3 se mostrou com as melhores condições de remoção dos gases dissolvidos (86 e 71% para sulfeto e metano, respectivamente), aplicando CHS de  $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  e rQ de 0,05, produzindo um gás residual com concentração de metano de cerca de 17%. Especula-se que ainda fosse possível aumentar a CHS para próxima de  $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ , de modo que a CD admitisse mais esgoto afluente, sem diminuição considerável de eficiências, e que isso pudesse, portanto, aumentar um pouco mais a concentração de metano no gás residual. O que seria bastante interessante, de forma a garantir que a concentração de metano fosse próxima ou maior que 20%, viabilizando ainda mais as possibilidades de aproveitamento e queima desse tipo de gás residual.

Contudo, como evidenciado que nas fases 1 e 2 houve grande perda de eficiências e observações de campo que comprovaram o fenômeno de acúmulo excessivo de sólidos/lodo no material de enchimento, acredita-se que esse material especificado, de fato, não seria o melhor a ser empregado nesse tipo de aplicação, em CD para efluente de reator UASB. Por outro lado, experimentos em curso, com dados não mostrados no presente documento, empregando material industrializado bem maior, anéis plásticos tipo Pall com cerca de 3”, parecem apresentar comportamento mais compatível com a não ocorrência de acúmulos excessivos nos interstícios do enchimento da mesma CD em efluente de UASB. Com isso, acredita-se que seria possível aplicar CHS de  $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  e rQ de 0,05 para obter eficiências da ordem de 70% de metano e 85% de sulfeto e gás residual com concentração de cerca de 20% ou mais de metano.

Por fim, a Figura 3 apresenta a série temporal das eficiências de remoção do metano dissolvido e sua concentração no gás residual da CD ao longo das fases operacionais. Pode-se verificar, a partir dessa figura, que de fato a fase 3 se mostrou mais eficiente na remoção de metano dissolvido e com concentrações de metano no gás residual preponderantemente entre 15 e 20%. Por outro lado, também se percebe que ao final de todas as fases, inclusive com evidências iniciais para a fase 3, apesar dos valores maiores, as eficiências tenderam a diminuir. Novamente, reforçando o comportamento negativo a médio prazo do material de enchimento com eletrodutos corrugados de  $\frac{3}{4}$ ” e 5 cm, respectivamente, diâmetro e tamanho.



**Figura 3: Eficiência de remoção de CH<sub>4</sub> e sua concentração no gás residual em função do tempo.**

## CONCLUSÕES

Diante das investigações realizadas neste trabalho, nota-se que o uso da câmara de dessorção com enchimento apresenta-se como uma técnica de grande potencial para remoção dos gases dissolvidos de interesse, sulfeto de hidrogênio e metano, e para recuperação do metano, já que este se apresentou em boas concentrações no gás residual devido aos baixos valores de rQ utilizados. Além disso, a CD se apresenta como uma proposta de tecnologia simples e de baixo custo operacional para o controle dos gases dissolvidos no efluente de reatores UASB tratando esgoto doméstico nas ETEs.

Este trabalho, permitiu concluir que o acúmulo de sólidos no material suporte da CD prejudicou consideravelmente a remoção dos gases dissolvidos, já que as fases 1 e 2 apresentaram eficiências menores em relação à fase 3, na qual o acúmulo de sólidos era somente inicial. Com base nisto, ressalta-se a relevância da continuidade das investigações de uso da câmara de dessorção com recuperação do metano promovendo-se melhorias no sistema, como utilização de material suporte de menor área superficial para reduzir a retenção de sólidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater, 18 th edition. Washington DC.: American Public Health Association.
2. BANDARA, W. M.; SATOH, H.; SASAKAWA, M.; NAKAHARA, Y.; TAKAHASHI, M.; OKABE, S. (2011) Removal of residual dissolved methane gas in an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating low-strength wastewater at low temperature with degassing membrane. Water Research, v. 45, n. 11, p. 3533-3540.
3. HUETE, A.; VASCONCELOS, D. DE LOS COBOS.; GOMEZ-BORRAZ, T.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; NOYOLA, A. (2017) Control of dissolved CH<sub>4</sub> in a municipal UASB reactor effluent by means of a desorption e biofiltration arrangement. Journal of Environmental Management, p. 1-9.
4. MACHADO, L. M. (2018) Câmara de dessorção para efluente de reator UASB no tratamento de esgoto doméstico - avaliação de remoção e recuperação de gases dissolvidos: H<sub>2</sub>S e CH<sub>4</sub>. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 112 p.
5. PLAS, C.; HARANT, H.; DANNER H.; JELINEK E.; WIMMER K.; HOLUBAR P.; and BRAUN R. (1992) Ratio of biological and chemical oxidation during the aerobic elimination of sulfide by colourless sulphur bacteria. Applied Microbiology and Biotechnology, v.36, n.6, p.817-822.
6. POPEL, H. J. (1979) Aeration and gas transfer. 2 ed Delft, Delft University of Technomic Publishing Co, Lancarter, EUA, 589 p.
7. SANTO, B. C. E. (2017) Avaliação de câmara de dessorção de metano e sulfeto de hidrogênio dissolvidos em efluentes de reatores UASB tratando esgoto doméstico. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 134 p.
8. SOUZA, C. L. (2010) Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 147 p.
9. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., MELO, G.C. (2012) Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. Water Science Technology, v.7, n.65, p. 1229–1237.