

## II-180 - CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS TEORES DE ÓLEOS E GRAXAS NO EFLUENTE FINAL, NA ESCUMA E NO LODO DE UMA INOVADORA CONFIGURAÇÃO DE REATOR UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO

**Gutemberg Geraldo Vilaça Faleiro**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São João del-Rei UFSJ, Campus Alto Paraopeba (CAP/UFSJ). Bolsista de Iniciação Científica da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (PIBIC/FAPEMIG).

**Jackson de Oliveira Pereira<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 Adjunto do Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades da Universidade Federal de São João del-Rei – (DTECH/UFSJ).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades - Universidade Federal de São João del-Rei - Campus Alto Paraopeba (CAP). Rod. MG 443, km 07- Fazenda do Cadete - Ouro Branco MG - Cep: 36420 000 - Brasil - Tel (31) 3741-3193 – e-mail: [jackson@ufsj.edu.br](mailto:jackson@ufsj.edu.br)

### RESUMO

O presente trabalho avaliou o comportamento do parâmetro óleos e graxas em uma inovadora proposta de reator UASB, quem vem sendo desenvolvida para com objetivo de permitir a saída da espuma do separador trifásico no efluente final e melhorar a retenção de sólidos há mais de 4 anos. Para tanto, o protótipo foi avaliado em comparação a um reator UASB convencional no tratamento de esgoto doméstico, quanto aos teores de óleos e graxas no efluente final, e remanescente no lodo e na espuma do separador. Os resultados indicam que o protótipo apresentou maiores eficiências de remoção de óleos e graxas (O&G) no efluente (64%) quando comparado ao reator convencional (49%), em consequência da maior retenção de lodo; e concentrações no lodo e na espuma.

**PALAVRAS-CHAVE:** UASB, espuma, esgoto, lodo, O&G.

### INTRODUÇÃO

Os óleos e graxas (O&G) presentes no esgoto doméstico são ésteres de alto peso molecular, formados a partir de ácidos graxos superiores (C12 a C22) e glicerol, que possuem solubilidade muito baixa em água, ocasionando problemas na fase de coleta e transporte do esgoto, na etapa de tratamento e na disposição final.

Nos sistemas de coleta, estes compostos podem depositar-se no interior das tubulações, provocando restrições ao fluxo líquido, redução da velocidade do escoamento, elevação da altura da lâmina líquida, e consequentes entupimentos (GNIPPER, 2008). No tratamento, O&Gs ocasionam a redução da atividade biológica, em consequência da aderência às células microbianas, o que dificulta a absorção de matéria orgânica, e, especificamente no caso de reatores UASB, o acúmulo de espumas nos separadores trifásicos (GUIMARÃES *et al.*, 2002, CHERNICHARO *et al.*, 2015). Já no lançamento final do efluente em corpos hídricos, os óleos e graxas podem formar filmes sobre a superfície das águas e se depositarem nas margens, causando assim diversos problemas ambientais (VON SPERLING, 2014). Miotto (2013), afirma que o filme insolúvel na superfície da água, dificulta a aeração e iluminação adequada, prejudicando a fauna e flora local. Isso se dá, pois a camada oleosa bloqueia tanto a absorção dos raios ultravioletas pelos organismos presentes na água, bem como as trocas gasosas que mantém o nível de oxigênio dissolvido apropriado para a manutenção do equilíbrio.

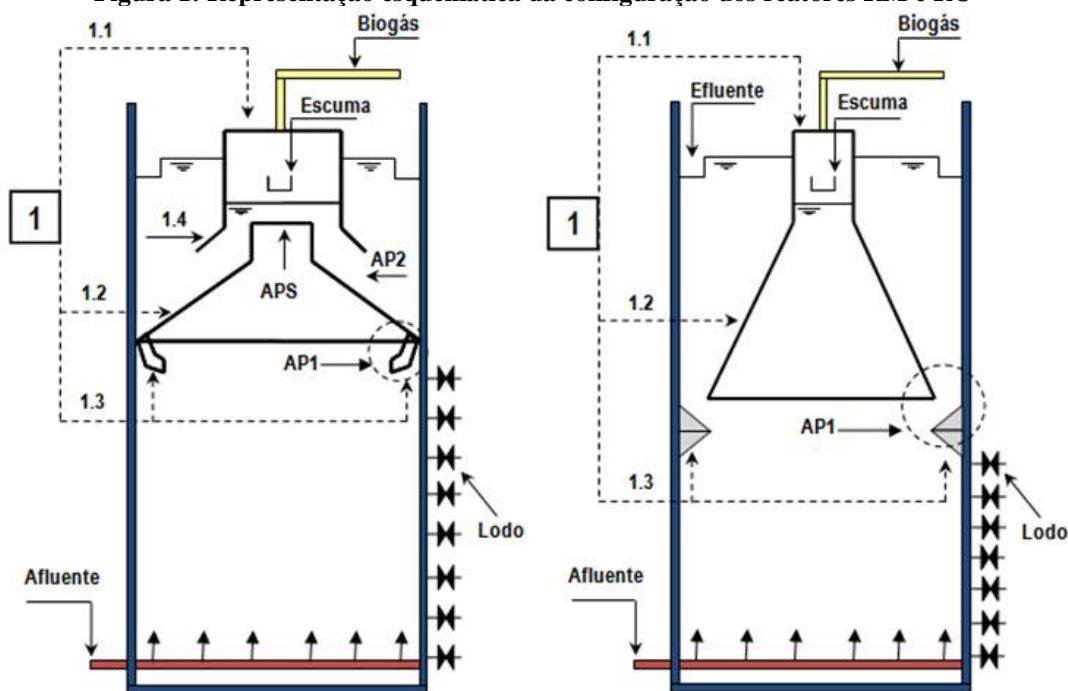
No contexto do tratamento de esgotos domésticos em reatores UASB, esses compostos podem ocasionar o acúmulo de espuma no separador trifásico, que bloquear a interface de separação gás-líquido, impedindo à liberação do biogás da fase líquida, e possibilitar o escape do biogás para região de decantação, levando à

perda de sólidos no efluente, a geração de odores, e até mesmo o rompimento do separador trifásico (LETTINGA & HULSHOFF POL, 1991, MIKI, 2010, VAN LIER *et al*, 2011, CHERNICHARO *et al*, 2015). Além disso, a adsorção de O&G no lodo pode ocasionar a flotação da biomassa, aumentando a produção de espuma e a perda de sólidos, e, como consequência, a elevação das concentrações destes compostos no efluente.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de uma nova proposta de reator UASB, que foi confeccionado com o objetivo de permitir a saída da espuma do separador no efluente e melhorar a retenção de sólidos, quanto ao impacto nos teores de O&G no efluente final. Tal avaliação foi realizada comparativamente a um reator UASB convencional, e à luz da Resolução CONAMA nº430/2011, que trata dos padrões de lançamento de efluente em corpos d'água no Brasil. Além disso, foi avaliada a presença destes compostos no lodo e na espuma acumulada no separador trifásico.

O reator UASB modificado (FIGURA 1) foi concebido com um separador trifásico (1) cuja campânula de gás (1.1) foi desacoplada da coifa (1.2) para que o fluxo do esgoto possa atingir o compartimento de digestão, passando pelo interior do separador trifásico, o que não é possível no separador do reator convencional. Para tanto, a coifa possui uma abertura de passagem para o separador (APS) na sua parte superior, que transfere o biogás para o compartimento de gases e, o esgoto para zona de decantação, através da abertura de passagem AP2. Assim, o esgoto pode transportar a espuma para fora do compartimento de gases, minimizando sua acumulação nessa região. A coifa está totalmente interligada às paredes do reator o que reduz a possibilidade de perdas de biogás para o decantador. Porém, para que o lodo sedimentado sobre a coifa pudesse retornar ao compartimento de digestão, foram confeccionadas 6 aberturas de passagem (AP1) na extremidade inferior da coifa com dimensões de 35x5 cm, espaçadas a cada 17 cm ao longo do perímetro da coifa. Abaixo de cada uma das 6 aberturas, foram instaladas placas protetoras com inclinação de 45°, para que biogás não pudesse adentrar a zona de decantação. Essa solução foi avaliada como alternativa ao emprego das aberturas de passagem contínuas e a protegidas por defletores de gases (1.3) utilizadas no reator UASB convencional. Além disso, foram instalados anteparos para encaminhar o lodo que eventualmente pode se acumular sobre a coifa, no espaço compreendido entre duas aberturas sucessivas, para as aberturas adjacentes. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática detalhada da configuração do reator modificado (RM) que permite visualizar as diferenças no projeto do seu separador trifásico, frente ao separador do reator UASB convencional (RC).

**Figura 1: Representação esquemática da configuração dos reatores RM e RC**

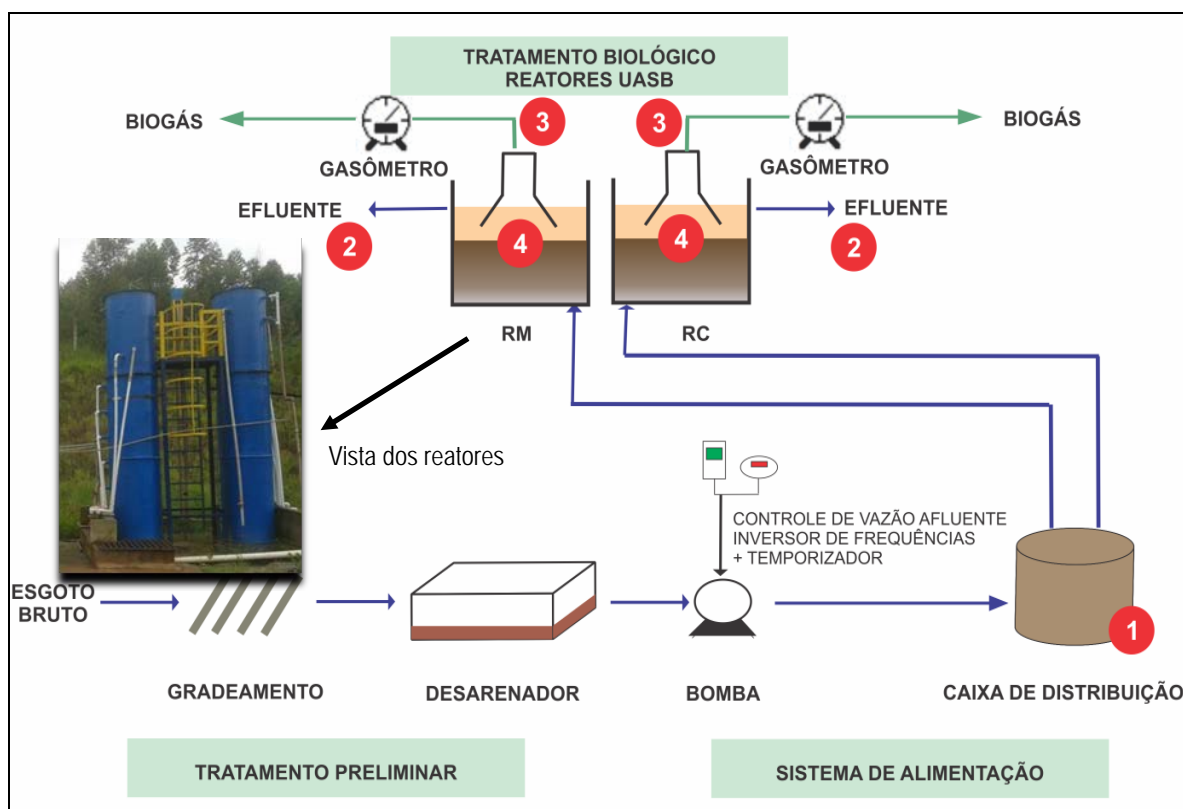


## METODOLOGIA

### Instalação suporte

A instalação suporte para este trabalho foi implantada na Estação de Tratamento de Esgoto de Ouro Branco – Minas Gerais, da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Nessa estação foram instalados dois reatores UASB em escala semidemonstração, sendo um deles, um reator UASB com modificações no seu sistema separador de fases (Reator Modificado – RM), e o outro, o reator UASB Convencional (Reator Controle – RC). O sistema de alimentação e controle de vazão dos reatores foi composto de uma bomba submersível, que encaminhava uma parcela do esgoto bruto afluente à ETE, após a etapa de tratamento preliminar (composto de grade e desarenador mecanizados), até uma caixa divisora de vazão; um inversor de frequências e dois temporizadores, que permitiram variar as vazões de maneira a simular um hidrograma típico de uma estação de tratamento de esgoto; e um horômetro para contabilizar a quantidade real de horas de alimentação dos reatores (devido à intermitência da vazão afluente à ETE-Ouro Branco durante a madrugada e a existência de três estações elevatórias no sistema de esgoto do município, que algumas vezes estavam fora de operação para manutenção). O sistema de medição do biogás, por sua vez, foi composto por dois medidores de gás GLP (LAO/G1-0,6) precedidos de sistemas de remoção do sulfeto de hidrogênio (BGS - Equipamentos para biogás) para garantir sua proteção contra corrosão. A Figura 2 apresenta uma representação esquemática do aparato experimental e os pontos de coleta de amostras.

**Figura 2: Fluxograma do aparato experimental. 1- Ponto de amostragem do esgoto bruto. 2- Ponto de amostragem do efluente. 3- Ponto de amostragem do biogás. 4- Ponto de amostragem da espuma do separador.**



### Reatores UASB experimentais

Os reatores experimentais (FIGURA 1) foram confeccionados em fibra de vidro, em seção circular, possuindo diâmetro de 1000 mm, e altura total de 4,65 m. A Tabela 3.2 apresenta os principais parâmetros de projeto dos reatores experimentais e maiores detalhes sobre as dimensões empregadas serão apresentados nos itens subsequentes.

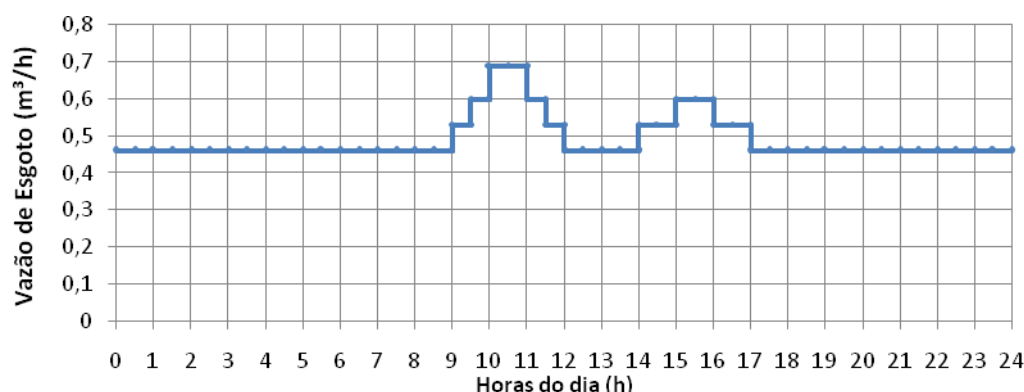
**Tabela 1 – Principais parâmetros de projeto dos reatores UASB experimentais**

Característica	RC			RM		
	Zona de digestão	Decantador	Total	Zona de digestão	Decantador	Total
Material	Fibra de vidro	Fibra de vidro	-	Fibra de vidro	Fibra de vidro	-
Diâmetro (m)	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-
Altura (m)	3,15	1,50	4,65	3,60	1,05	4,65
Inclinação do separador	-	70°	70°	-	45°	45°
Volume (m³)	2,77	0,92	3,69	3,11	0,58	3,69
TDH (h)	5,99	2,01	8,00	6,75	1,25	8,00
Q (m³/h)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Vascensional (m/h)*	0,59	0,63	-	0,59	0,78	-

\*Taxa de aplicação superficial no caso do decantador

### Condições operacionais

Os reatores foram operados diariamente conforme o hidrograma de vazão afluyente apresentado na Figura 3, com o objetivo de simular as condições de funcionamento de reatores em escala real. Os acréscimos na vazão corresponderam a 1,15 (0,53 m³/h), 1,30 (0,60 m³/h) e 1,50 (0,69 m³/h) da vazão média de projeto dos reatores (0,46 m³/h), e foram aplicados durante o intervalo de 8 às 18h em função do intervalo de amostragem praticado.



**Figura 3: Hidrograma de vazão afluyente aplicada aos reatores**

### Monitoramento

Foram coletadas amostras compostas do esgoto bruto e dos efluentes dos reatores no intervalo de 24h, com uma bomba peristáltica, e analisados os parâmetros DQO, SST, SSV, O&G. O teor de óleos e graxas no lodo foi analisado a partir da composição de uma amostra obtida da reunião das alíquotas tomadas ao longo da altura dos reatores (na proporção das suas respectivas concentrações de sólidos). A espuma foi analisada pelos parâmetros ST, STV, DQO e O&G. Para tanto, as amostras eram previamente trituradas em um moinho de bolas planetário (Retsch – PM 100), durante 20 minutos em uma rotação de 500 rpm e intervalos de pausa a cada 5 minutos com uma duração de 1 minuto, para homogeneização da amostra, conforme realizado por PEREIRA *et al.* (2015). Todos os procedimentos de coleta e armazenamento foram realizados de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Remoção de matéria orgânica e sólidos

Os experimentos foram conduzidos em período chuvoso, compreendido entre 20/10/2015 a 28/01/2016, no qual a temperatura média do esgoto bruto e dos efluentes dos reatores foi da ordem de 25 °C e o pH próximo da neutralidade. Em média, o esgoto bruto apresentou 35% da DQOtotal na forma dissolvida (DQOfiltrada) e 65% na forma particulada (DQOparticulada), e uma relação SSV/SST de 79%. Na Tabela 2, apresenta-se um resumo dos resultados do esgoto bruto e dos efluentes dos reatores, em termos de valores médios e desvios padrão, referentes a todo o período de monitoramento.

Observa-se que o desempenho médio dos reatores na remoção de DQO<sub>total</sub> foi bastante similar, com o reator RM apresentando concentrações ligeiramente inferiores ao reator RC, assim como uma menor variabilidade dos resultados, considerando os valores do desvio padrão. As concentrações médias de DQO<sub>total</sub> foram de 270 mg/L (RM) e 280 mg/L (RC), que não atendem ao padrão de 180 mg/L vigente no estado de Minas Gerais, como já era de se esperar. Já as médias das eficiências de remoção de DQO<sub>total</sub> e DQO<sub>filtrada</sub> foram de 61% e 92%, respectivamente, em ambos os reatores. Em termos da remoção de SST, as concentrações médias efluentes foram superiores ao limite máximo da legislação mineira de 100 mg/L, sendo de 119 mg/L no reator RM e 127 mg/L no reator RC, para um esgoto bruto com concentração média de 316 mgSST/L.

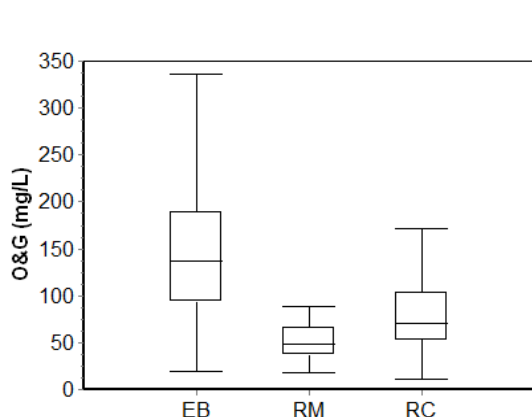
Esses resultados sugerem um melhor desempenho do reator RM, que provavelmente esteve associado ao maior volume, e ao maior TDH no compartimento de digestão (13%), quando comparado ao reator RC, a despeito do TDH no decantador ter sido 37% inferior ao praticado no reator RC e a TAS ter sido 24% superior (ver Tabela 1). Por outro lado, é possível pensar que as baixas velocidades nas aberturas de passagem AP2 (ver Tabela 2) possam ter favorecido o retorno do lodo do decantador para zona de digestão levando às menores concentrações no efluente, e tais aspectos precisam ser mais bem esclarecidos. Contudo, constata-se que a configuração do reator RM não apresentou perda de desempenho na remoção de matéria orgânica em relação ao reator UASB convencional.

**Tabela 2 – Caracterização do esgoto bruto e do efluente dos reatores RM e RC, outubro de 2015 a janeiro de 2016**

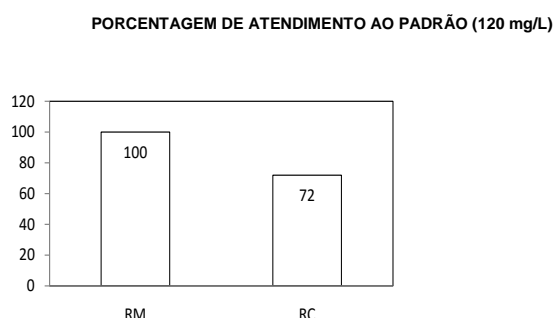
Parâmetro analisado	Amostra		
	Esgoto Bruto	RM	RC
pH	7,39 (0,33)	6,99 (0,25)	6,99 (0,25)
Temperatura (°C)	25,6 (0,9)	25,5 (1,1)	25,4 (0,9)
DQO <sub>total</sub> (mg/L)	680 (270)	270 (240)	280 (203)
DQO <sub>filtrada</sub> (mg/L)	243 (129)	51 (18)	54 (19)
SST (mg/L)	399 (205)	119 (63)	127 (130)
SSV (mg/L)	316 (156)	88 (44)	92 (94)
Eficiência – DQO <sub>total</sub> (%)	-	61 (16)	61 (22)
Eficiência – DQO <sub>filtrada</sub> (%)	-	92 (3)	92 (3)

### Remoção de Óleos e Graxas (O&G)

Os gráficos a seguir (FIGURAS 4 e 5) apresentam os resultados do teor de óleos e graxas do esgoto bruto e dos efluentes dos reatores, bem como uma análise de confiabilidade dos reatores, em termos da frequência de amostras que atenderam ao valor limite para lançamento para efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário. No caso do estado de Minas Gerais, o valor máximo é de 120 mg/L (COPAM, 2008).



**Figura 4: Concentrações de O&G no Esgoto Bruto (EB) e nos reatores RM e RC.**



**Figura 5: Percentual de atendimento ao padrão de lançamento de O&G de Minas Gerais.**

A concentração mediana de O&G no esgoto bruto foi de 137 mg/L que está dentro da faixa de valores relatados na literatura (VON SPERLING, 2014), porém, é importante salientar que esses valores

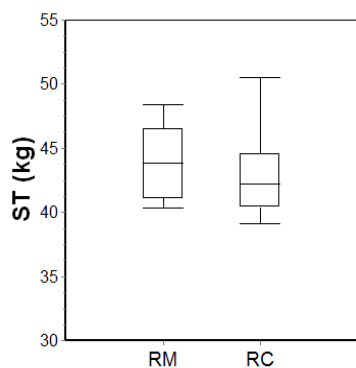


provavelmente devem estar abaixo do valor típico para a localidade, em função do período chuvoso. Tal fato pode ter influenciado o desempenho dos reatores, que apresentaram baixas concentrações no efluente final, sendo de 49 mg/L no reator RM e 70 mg/L no reator RC. Comparando-se o desempenho dos dois reatores, esses resultados indicam que houve menor liberação desses compostos no efluente do reator RM, o que provavelmente deve estar associado à menor perda de sólidos, conforme destacado no item anterior. Como consequência, as eficiências de remoção de O&G foram de 64% no reator RM e de 49% no reator RC, e o percentual de atendimento ao padrão de lançamento para óleos e graxas foi 100% no caso do reator RM, e de 72% no RC.

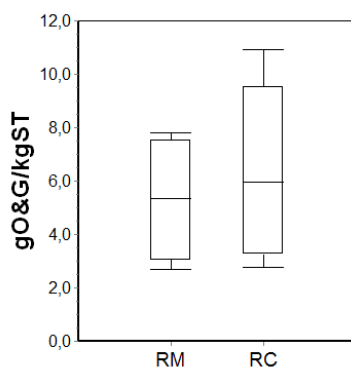
### Teor de Óleos e Graxas no Lodo

Os gráficos abaixo apresentam os resultados de caracterização do lodo nos reatores RM e RC, em termos da massa de ST, da relação massa por massa, gO&G/kgST e das concentrações de óleos e graxas (O&G), para oito amostras ( $n = 6$ ) coletadas ao longo de 101 dias de operação, em que foram realizados 3 descartes de lodo. Percebe-se, pelo gráfico Box-Plot da Figura 6, que a massa de lodo presente no reator RM foi ligeiramente superior à massa observada no reator RC, ressaltando que se tomava o cuidado de manter as mesmas massas em ambos após um descarte de lodo. Tal fato explica as menores concentrações de SST no efluente do reator RM (Tabela 3), e indica um melhor desempenho do reator na retenção de sólidos, provavelmente devido ao maior volume do compartimento de digestão.

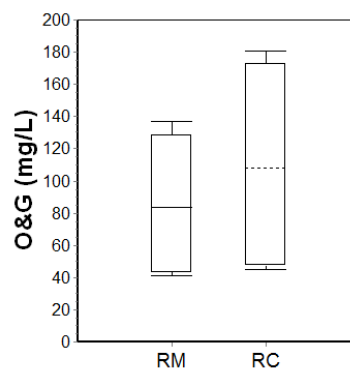
Em consequência das maiores massas de lodo retidas, e, ao mesmo tempo, do maior volume do compartimento de digestão, o reator RM apresentou menores valores para relação massa de óleos e graxas por massa de sólidos do lodo (m/m) e menores concentrações de óleos e graxas (FIGURAS 7 e 8). Para esses dois parâmetros, os valores medianos foram de 5,35 gO&G/kgST (RM) e 5,95 gO&G/kgST (RC), e de 83 mgO&G/L (RM) e 107 mgO&G/L (RC). Esses resultados podem ser considerados baixos, devido principalmente às baixas concentrações de óleos e graxas no esgoto bruto afluente no período estudado, e, em razão da flotação destes compostos para a camada de espuma.



**Figura 6: Gráficos Box-plot: massas de sólidos (gST) no lodo dos reatores RM e RC.**



**Figura 7: Gráficos Box-plot: gO&G/kgST do lodo acumulado nos reatores RM e RC.**



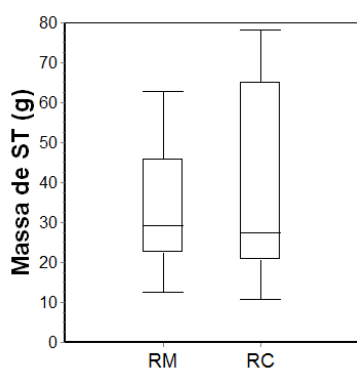
**Figura 8: Gráficos Box-plot das concentrações de O&G no lodo dos reatores RM e RC.**

### Oleos e Graxas na Escuma

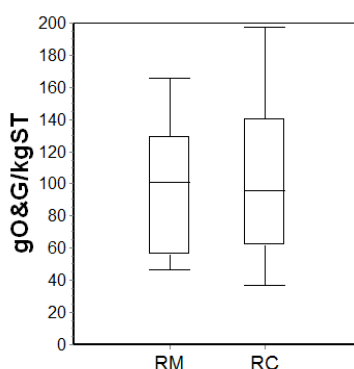
Os gráficos abaixo (FIGURAS 9, 10 e 11) apresentam os resultados de caracterização da espuma acumulada nos separadores trifásicos dos reatores UASB, RM e RC, em termos da massa de sólidos totais (ST), das concentrações de óleos e graxas (O&G) e da relação massa por massa, gO&G/kgST, para seis amostras ( $n = 6$ ) coletadas ao longo de 101 dias de operação. Os valores medianos da massa de sólidos na espuma foram, respectivamente, de 29,3 gST e 27,5 gST, nos reatores RM e RC. As concentrações medianas de O&G foram similares, com valores medianos de 4199 mgO&G/L (RM) e 4247 mgO&G/L (RC), assim como a relação massa de óleos e graxas por massa de sólidos da espuma de 100,7 gO&G/kgST (RM) e 96,0 gO&G/kgST (RC).

Os resultados de ST revelam que não houve redução de massa na espuma acumulada no separador trifásico do reator RM, como era esperado inicialmente. Todavia, vale ressaltar, a título de informação, que a configuração

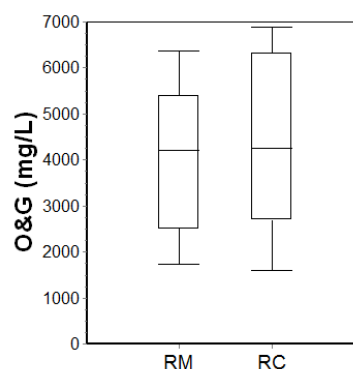
idealizada vêm sendo testada para diferentes dimensões das aberturas de passagem do esgoto para o decantador (APS, AP1, e AP2) e, conseqüentemente, diferentes velocidades nessas aberturas, e esse efeito tem sido observado (PEREIRA *et al.*, 2015). E, no caso do presente estudo, foram testadas dimensões reduzidas da área de passagem para o separador, com o objetivo de verificar se o aumento da velocidade nessa região seria capaz de aumentar a saída da espuma para o decantador e reduzir sua acumulação no separador, o que parece não ter ocorrido (ver Tabela 2); mas ainda será foco de investigação mais aprofundada. Em consequência deste fato, e devido à menor perda de sólidos no efluente do reator RM, não foi possível avaliar se a saída da espuma do separador no efluente poderia ocasionar elevação nas concentrações de óleos e graxas no efluente final, embora uma estimativa possa ser feita. Sobre os valores das concentrações de óleos e graxas da espuma, os resultados estiveram acima dos valores observados por Santos (2014), para espuma coletada em reatores UASB tratando esgoto doméstico em escala real no Brasil; e inferiores aos valores observados por GASPERI (2012), para resíduos coletados de caixas de gorduras de diferentes tipos de empreendimentos. Por outro lado, os valores da relação massa de óleos e graxas por massa de sólidos da espuma esteve na mesma faixa de valores observado por Santos (2014).



**Figura 9: Gráficos Box-plot: massas de sólidos (gST) da espuma acumulada nos reatores RM e RC.**



**Figura 10: Gráficos Box-plot: gO&G/kgST da espuma acumulada nos reatores RM e RC.**



**Figura 11: Gráficos Box-plot das concentrações de O&G da espuma acumulada nos reatores RM e RC.**

## CONCLUSÕES

O Reator RM apresentou menores concentrações de O&G no efluente final, em consequência da maior retenção de sólidos quando comparado ao reator convencional. Provavelmente isso deve estar associado ao maior volume, e ao maior TDH no compartimento de digestão (13%), quando comprado ao reator convencional, a despeito do menor TDH e da maior TAS no reator modificado.

A maior massa de lodo e o maior volume do compartimento de digestão resultaram em menores relações óleos e graxas por massa de lodo (% m/m), em relação ao reator convencional. Já o efeito da saída da espuma do separador no efluente final não foi possível de ser avaliada em função de não ter havido a remoção contínua da espuma do separador do RM durante os experimentos. Devido a este fato, os teores de óleos e graxas na espuma dos dois reatores foi muito similar. Entretanto, fica claro que a maior retenção de lodo no reator RM pode minimizar um possível efeito de elevação as concentrações de óleos e graxas no efluente ocasionados pela liberação da espuma.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte e o apoio financeiro concedidos pelo CNPq, a FAPEMIG, e a COPASA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA/APHA/WEF Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22.ed. Washington, 2012.
2. Conselho de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos: Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>.
3. GASPERI, R. L. P. Caracterização de resíduos de caixas de gordura e avaliação da flotação como alternativa para o tratamento. Dissertação (Mestrado em Ciências, Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. 71p.
4. GNIPPER, S. F. (2008). Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR8160: 1999 como tanques de flotação natural. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n 2, p. 119-132, abri/jun.
5. GUIMARÃES, A. K. V. et al. (2002). Avaliação Estatística da Determinação do Teor de Óleos e Graxas em Efluente Doméstico. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, Espírito Santo, 2002.
6. MIOTTO, N. (2013). Hidroalcita hidrofóbica e magnética aplicada no tratamento de efluentes oleosos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.
7. OLIVEIRA, J. P. *et al.* (2014). Caracterização físico-química de resíduos oleosos do saneamento e dos óleos e graxas extraídos visando a conversão em biocombustíveis. Química Nova, v. 37, n. 4, São Paulo, 2014.
8. PEREIRA, J. O.; RAPOSO, L. R.; RODRIGUES, A. F.; AGUIAR, W. D. S.; Aplicação de uma inovadora configuração de reator UASB ao tratamento de esgoto doméstico objetivando o controle da espuma. In: Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. 2015.
9. SANTOS, A.V. Remoção, tratamento e valoração de espuma proveniente de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 115p, 2014.
10. VON SPERLING, M. V. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias. In: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Editora UFMG, 4ª Edição, 2014.