

II-559 – REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E SURFACTANTES DE EFLUENTES DE REATORES UASB EM REATORES DE MICROALGAS

Flávio Maia Matos⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São João del Rei.

Amanda Silva Resende⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá. Mestre em Ciências na área de concentração Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável (PPGTDS) pela Universidade Federal de São João del Rei. Doutoranda em Engenharia Ambiental (Proamb) na área de concentração Meio Ambiente pela Universidade Federal de Ouro Preto.

Gabriela Silva Thomé do Amaral⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São João del Rei.

Enio Nazaré de Oliveira Junior⁽⁴⁾

Professor Associado I do curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del Rei e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável (PPGTDS) na linha de pesquisa Processos e Produtos para a Redução de Impactos Ambientais da Universidade Federal de São João del Rei.

Jackson de Oliveira Pereira⁽⁵⁾

Professor Adjunto IV do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del Rei e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável (PPGTDS) na linha de pesquisa Processos e Produtos para a Redução de Impactos Ambientais da Universidade Federal de São João del Rei.

Endereço⁽⁵⁾: Universidade Federal de São João del Rei *campus* Alto Paraopeba, Rodovia MG 443, Km 7, Ouro Branco, Minas Gerais, CEP: 36420-000 - Brasil - Tel: (31) 3741-4304 - e-mail: jackson@ufsj.edu.br

RESUMO

Os efluentes oriundos do tratamento dos esgotos domésticos em reatores do tipo UASB, amplamente empregado no Brasil, ainda são capazes de impactar os cursos de água devido à carga rica em nutrientes fosfatados e nitrogenados, que não são removidos pelos processos anaeróbios. Dessa forma, é um consenso no meio técnico que o pós-tratamento desses efluentes deve ser realizado em reatores aeróbios. Além dos nutrientes, os detergentes sintéticos representam outro grupo de poluente presente nos esgotos pois em condições anaeróbias os surfactantes não são biodegradados, e podem ter degradação limitada mesmo em condições aeróbias. Nesse contexto, considerando a necessidade de remoção dos nutrientes e de substâncias tensoativas, os reatores de microalgas podem ser uma alternativa promissora no pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. Isso porque, as microalgas são capazes de assimilar poluentes orgânicos e inorgânicos em efluentes e convertê-los em componentes celulares, tais como lipídios e carboidratos, resultando na redução de poluentes e na produção de matéria-prima reutilizável e produtiva. Enquanto a remoção de nutrientes vem sendo amplamente estudada, a remoção de surfactantes em reatores de microalgas é ainda muito incipiente. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de microalgas no pós-tratamento de efluente de reatores UASB, visando à remoção de matéria orgânica remanescente e de surfactantes. Para tanto, foram avaliados os desempenhos de reatores de microalgas com agitação mecânica ou por aeração. Os resultados mostraram que o reator por agitação magnética apresentou melhores resultados em relação às eficiências de remoção de DQO e surfactantes, sendo que a concentração de surfactantes no efluente foi removida pelo crescimento da microalga *Chlorella vulgaris* em um período de 3 horas, obtendo-se uma remoção de cerca de 42%, além disso, para a remoção de matéria orgânica, este mesmo tratamento promoveu uma remoção de 70% em 3 dias e 78% em 6 dias de experimento.

PALAVRAS-CHAVE: Pós-tratamento, Microalgas, Efluentes domésticos, DQO, Surfactantes.

1 INTRODUÇÃO

Os esgotos domésticos constituem uma das principais preocupações no setor do saneamento básico, uma vez que o seu lançamento sem tratamento em corpos aquáticos causa sérios problemas à qualidade de vida e coloca em risco o abastecimento de água da população, por causa da eutrofização das águas e da disseminação de doenças (VON SPERLING, 1995).

Contudo, a depender dos processos de tratamento empregados, como é o caso dos reatores do tipo UASB, amplamente empregado no Brasil, esses esgotos ainda são capazes de impactar os cursos de água devido à carga rica em nutrientes fosfatados e nitrogenados, que não são removidos pelos processos anaeróbios. Dessa forma, é um consenso no meio técnico que o pós-tratamento desses efluentes deve ser realizados em reatores aeróbios, quais sejam lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos percoladores, entre outros. Além dos nutrientes, os detergentes e sabões, que têm como princípio ativo o Alquilbenzeno linear sulfonato (LAS (substâncias tensoativas) representam outro grupo de poluente presente nos esgotos que não são biodegradados em condições anaeróbias, e podem ter degradação limitada mesmo em condições aeróbias (RAMOS & SOBRINHO, 2012 BONFIM *et al.*, 2016). Esses compostos quando lançados no ambiente podem ocasionar toxicidade em ecossistemas aquáticos e terrestres, a exemplo de danos às brânquias dos peixes e diminuição da reprodução e do crescimento de invertebrados no solo, irritações no olhos e na pele do homem, aumento nas concentrações de fosfato no meio aquático (MUNGRAY & KUMAR, 2011; BONFIM *et al.*, 2016). Nesse contexto, considerando a necessidade de remoção dos nutrientes e surfactantes e melhor desempenho em ambientes aeróbios, os reatores de microalgas, que estão atualmente recebendo muita atenção devido a sua gama de utilidades podem ser uma alternativa promissora no pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. Isso porque, microalgas são capazes de assimilar poluentes orgânicos e inorgânicos em efluentes e convertê-los em componentes celulares, tais como lipídios e carboidratos, resultando na redução de poluentes e na produção de matéria-prima reutilizável e produtiva. Enquanto a remoção de nutrientes (N e P) vem sendo amplamente estudada, a remoção de surfactantes em reatores de microalgas é ainda muito incipiente (MATA *et al.*, 2010; VICENTE, 2014).

Segundo Silva (2014), o estudo da remoção de nutrientes em efluentes por parte das microalgas tem sido alvo de intenso estudo nos últimos anos. Os principais nutrientes que as microalgas aparentam remover com bastante eficácia são o nitrogênio e o fósforo, visto serem fundamentais para o processo metabólico das mesmas, seja ele autotrófico ou heterotrófico. Além disso, apesar as microalgas serem frequentemente consideradas fotoautotróficas, requerendo luz para o seu crescimento, um número considerável de microalgas é capaz de crescer heterotroficamente, dessa forma, a presença de carbono orgânico no meio também tem grande influência. A espécie *Chlorella vulgaris*, por exemplo, apresenta um crescimento maior em sistemas heterotróficos do que em sistemas autotróficos (ACOSTA, 2012). Além disso, a utilização de microalgas para degradação de surfactantes (LAS) pode ser promissora, uma vez que a remoção de LAS é largamente comprovada em sistemas de tratamento aeróbio por degradação biológica (BONFIM *et al.*, 2016).

Porém, para assegurar que reatores de microalgas sejam efetivos na remoção complementar de poluentes em efluentes, é preciso assegurar que as condições/fatores que permitem o crescimento de microalgas sejam consideradas nos projetos desses reatores. Um dos fatores essenciais para o crescimento de microalgas é a agitação, que normalmente, é proveniente da aeração em cultivos de microalgas. Segundo Bertoldi *et al.* (2008), a agitação da cultura torna-se muito importante para otimizar todos os fatores essenciais relacionados à produção de biomassa de microalgas. A agitação da cultura, em meio líquido, mantém as células em suspensão evitando que algumas células fiquem depositadas no fundo do fotobiorreator e outras permaneçam na superfície recebendo luz em excesso, e assegura uma difusão efetiva de nutrientes.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de microalgas no pós-tratamento de efluentes domésticos provenientes de reatores UASB, visando à remoção de matéria orgânica remanescente e de surfactantes. Dessa forma, o desempenho de reatores de microalgas foi avaliado com agitação mecânica ou por aeração, quanto ao crescimento de microalgas em efluente de reator tipo UASB a eficiência de remoção de matéria orgânica e a remoção de surfactantes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aparato Experimental

Para a realização do primeiro tratamento, os experimentos foram conduzidos em fotobiorreatores em escala de bancada, constituídos por erlenmeyers e ou/ béqueres. Sendo um tratamento com agitação magnética (simulando agitação mecânica) à 1000 rpm e o outro com o uso de aeração, com o emprego de bomba de aquário, mangueira e pedra porosa. O aparato contou ainda com lâmpadas de Led como fonte de iluminação artificial. A Figura 1 ilustra detalhes do aparato experimental utilizado no estudo (reatores em triplicata em ambos os experimentos).

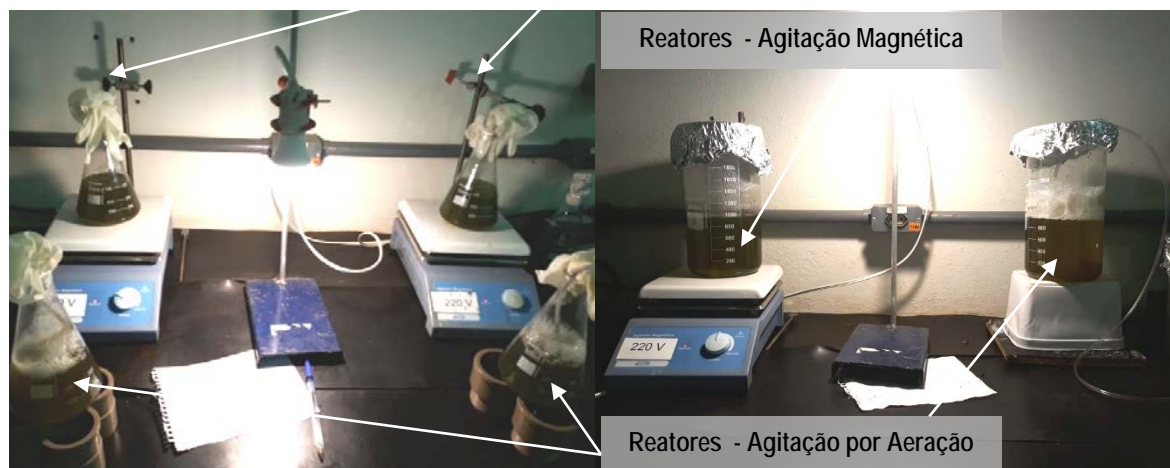


Figura 1: Vista dos reatores de microalgas utilizados nos experimentos

2.3 Delineamento Experimental

Os efluentes utilizados nos experimentos foram coletados de um reator UASB experimental em escala de demonstração, instalado na Estação de Tratamento de Esgoto de Ouro Branco/MG pertencente à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), que opera em condições típicas de TDH (8h), e carga orgânica volumétrica (2,7 kgDQO/m³.dia).

Experimento 1

As cepas da microalga *Chlorella vulgaris* utilizadas nesta pesquisa foram previamente aclimatadas ao efluente do reator UASB, em erlenmeyer de 500 mL. Primeiramente, o tratamento do efluente de reator UASB, doravante denominado - Experimento 1 - objetivou comparar dois sistemas de tratamento na remoção da matéria orgânica remanescente. Este experimento foi realizado durante 6 dias com as condições testadas bem como os parâmetros empregados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Condições e parâmetros empregados no Experimento 1.

Reator	Volume reator (mL)	Tipo de agitação	Tempo de operação (Dias)	Tempo de Iluminação (horas)	Parâmetro analisado
Reator 1 (A, B,C)	500	Magnética	6	24 h	DQO
Reator 2 (A, B,C)	500	Aeração	6	24 h	

Experimento 2

O Experimento 2 - foi realizado utilizando-se também dos dois sistemas empregados no Experimento 1, porém o objetivo foi, além de avaliar a eficiência de remoção da matéria orgânica residual, avaliar a remoção de surfactantes nestes sistemas. Nesse caso, utilizou-se de béqueres a fim de se ter um volume de efluente suficiente para a realização de análises de surfactantes (no caso 1000 mL). As condições testadas e os parâmetros empregados encontram-se na Tabela 3.

O pH foi monitorado de 3 em 3 dias com auxílio de um pHmêtro, o pH inicial do efluente foi medido antes de se adicionar as cepas de microalgas, e ao longo do experimento, o cultivo foi submetido à centrifugação e com o sobrenadante (o efluente separado das microalgas), realizou-se a medição de seu pH.

A matéria orgânica, medida através da Demanda Química de Oxigênio (DQO), foi monitorada de 3 em 3 dias de acordo com a metodologia proposta pelo *Standart Methods for the examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). A DQO inicial do efluente foi medida antes de se adicionar as cepas de microalgas, e ao longo do experimento, o cultivo foi submetido à centrifugação à 4074g (5600 rpm) por 15 minutos e a medição da DQO foi realizada com o sobrenadante (o efluente separado das microalgas E, nesse caso, a DQO final corresponde apenas a fração solúvel, e a eficiência avaliada corresponde à conversão biológica.

Tabela 3: Condições e parâmetros empregados no primeiro tratamento.

Reator	Volume reator (mL)	Tipo de agitação	Tempo de operação (Dias)	Tempo de Iluminação (horas)	Parâmetros analisados
Reator 1 (A, B,C)	1000	Magnética	6	24 h	pH, DQO, surfactantes, biomassa microalgácea e absorbância do efluente
Reator 2 (A, B,C)	1000	Aeração	6	24 h	

Para a análise dos surfactantes totais do efluente de reator UASB ao longo do experimento, se utilizou do método de azul de metileno, conhecido como método de MBAS (APHA, 2005). A produção de biomassa microalgal foi monitorada pela aferição da massa de sólidos do centrifugado. Desta forma, a concentração final de LAS corresponde apenas a fração solúvel, e, portanto, a eficiência avaliada corresponde à remoção biológica (seja por degradação, seja por adsorção na biomassa).

3 RESULTADOS

3.1 Experimento 1 – Análise da remoção de DQO

A utilização do sistema de aeração no tratamento objetivou somente a promoção da agitação do meio, pois segundo, Bertoldi *et al.* (2008), a agitação da cultura de microalgas em meio líquido, mantém as células em suspensão evitando que algumas células fiquem depositadas no fundo do fotobiorreator. No entanto, bactérias aeróbias podem se desenvolver no meio, e promover a remoção da matéria orgânica, e levar, erroneamente, à conclusão de que essa remoção tenha sido realizada por microalgas. Dessa maneira, foram realizados dois sistemas de tratamento, sendo um deles, com a aeração e outro, somente com a agitação magnética (que não oxigena o meio), visando comparar e verificar a influência dos sistemas nos resultados obtidos. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos de remoção de DQO para ambos os sistemas de tratamento utilizados.

Tabela 4: Resultados da análise de DQO para os sistemas de tratamento utilizados.

Sistema de Tratamento	DQO (mg/L)			Remoção biológica de DQO (%)
	Dia 0	Dia 3	Dia 6	Final
Sistema com agitação por aeração	454	241	162	64,3
Sistema com agitação magnética	454	135	93	79,5

A Figura 2 apresenta a cinética de remoção de DQO ao longo dos dias de tratamento para ambos os sistemas. Os resultados obtidos neste primeiro experimento mostraram que as microalgas não só crescem e tratam o efluente no sistema com agitação magnética (sem injeção de ar) como este sistema apresenta uma eficiência de remoção de DQO maior do que o sistema com aeração, o que pode ser verificado nos resultados apresentados na Tabela 4. Portanto, partindo do fato de que ambos os sistemas de tratamento foram realizados sob as mesmas condições, exceto pelas condições de agitação, verifica-se que o sistema com agitação magnética apresentou melhor eficiência, sendo, portanto, o mais indicado ao tratamento.

O resultado encontrado pode ser explicado pelo fato de que, segundo Acosta (2012) microalgas do gênero *Chlorella*, as quais foram utilizadas nesta pesquisa, apresentam um crescimento maior em sistemas heterotróficos do que em sistemas autotróficos, dessa forma, se apresentam crescimento maior, maior será a remoção de contaminantes.

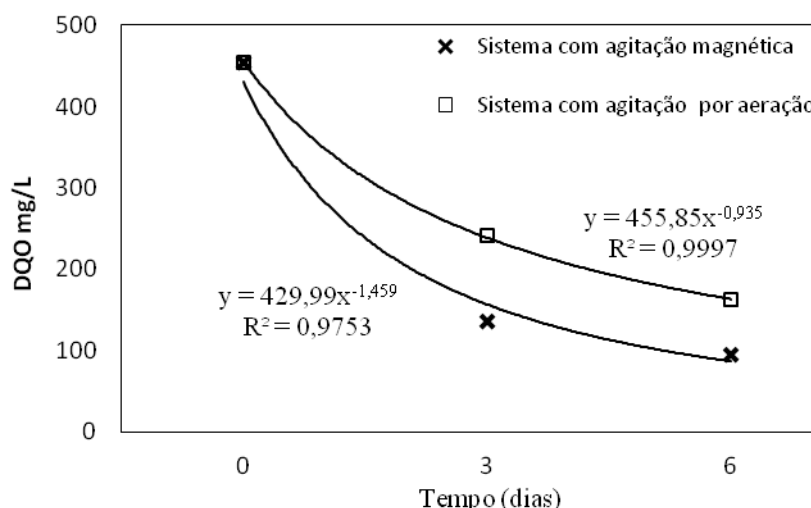


Figura 2: Remoção de DQO ao longo dos dias de tratamento para ambos os sistemas de tratamento.

Outro fator importante a ser analisado com este resultado é que a DQO do efluente de UASB, de 454 mg/L não atenderia a legislação para lançamento de efluentes em corpos d'água vigentes no estado de Minas Gerais, de 180 mg/L (DN COPAM/CERH-MG nº 1, 2008). Na simulação considerando as equações de ajustes obtidas no Experimento 1, o pós-tratamento do efluente do reator UASB no reator com agitação por aeração necessitaria de 2,70 dias e o reator com agitação magnética de 1,75 dias, para que a DQO solúvel fosse reduzida valor 180 mg/L, ou eficiência de remoção fosse de 60,4%. É possível que essa diferença de 1 dia no TDH esteja associada as condições de "stress" no reator aerado. Entretanto, é importante ressaltar que essa análise é muito restrita, pois o efluente dos reatores foi centrifugado.

Deve-se destacar que a aeração neste estudo foi mantida nos fotobiorreatores buscando promover a agitação na cultura de microalgas, pois, a agitação é um fator de extrema importância, visto que a agitação da cultura, em meio líquido, mantém as células em suspensão celular e assegura uma difusão efetiva dos nutrientes (BERTOLDI *et al.*, 2018). Dessa forma, uma agitação insuficiente pode promover a sedimentação da biomassa ou pontos de estagnação, onde a disponibilidade de luz e nutrientes será limitante (KUMAR *et al.* 2010). Assim, a partir dos resultados obtidos, sugere-se que agitação promovida pelo agitador magnético é mais eficiente no sentido de promover a suspensão celular e assegurar a distribuição de nutrientes para o crescimento celular microalgal e, conseqüentemente, promover a remoção dos contaminantes do efluente.

Os resultados preliminares obtidos neste estudo mostram que com a utilização de um tratamento terciário de reatores de microalgas em batelada a DQO pode ser reduzida em 79,5% em um tempo de detenção de 6 dias, além disso, se tem uma remoção final de DQO do efluente doméstico em torno de 88%, o que atende a legislação e pode minimizar os impactos ambientais negativos provenientes da descarga de efluentes domésticos no corpos d'água.

3.2 Experimento 2 – Análise da remoção de surfactantes e remoção de DQO

O segundo experimento teve por objetivo principal analisar a remoção de surfactantes presentes no efluente de UASB, e, da mesma forma que no primeiro experimento, comparar os dois sistemas de tratamento, um com aeração e o outro com agitação magnética. A remoção de DQO também avaliada.

Em relação à análise da remoção de surfactantes (LAS), a análise deste parâmetro se deu de forma diferente ao longo do experimento, visto que a remoção de LAS em reatores de microalgas ainda é pouco estudada, portanto, se fez necessária a análise deste parâmetro em um período mais curto do que a remoção de matéria

orgânica. Dessa forma, analisou-se a sua concentração no sobrenadante de cultivo nos períodos de 3, 12 e 36 horas após o início do experimento. Os resultados para análise de surfactantes, bem como para a produção de biomassa microalgácea nesses períodos são mostrados na Tabela 5. A Figura 3 apresenta a cinética de remoção de surfactantes ao longo do tempo de tratamento para ambos os sistemas.

Tabela 5: Resultados de remoção de surfactantes (LAS) e produção de biomassa microalgácea para ambos os sistemas de tratamento utilizados.

Parâmetros analisados	Período						
	0h	3 h		12 h		36 h	
	Efluente UASB	Sistema com aeração	Sistema com agitação magnética	Sistema com aeração	Sistema com agitação magnética	Sistema com aeração	Sistema com agitação magnética
Concentração de surfactantes (mgLAS/L)	4,62	4,34	2,71	3,71	2,67	3,73	2,65
Remoção de surfactantes (%)	-	6,1	41,3	19,7	42,2	19,3	42,6
Biomassa microalgácea úmida (g/L)	5,05	5,26	7,59	5,93	11,34	10,04	11,90

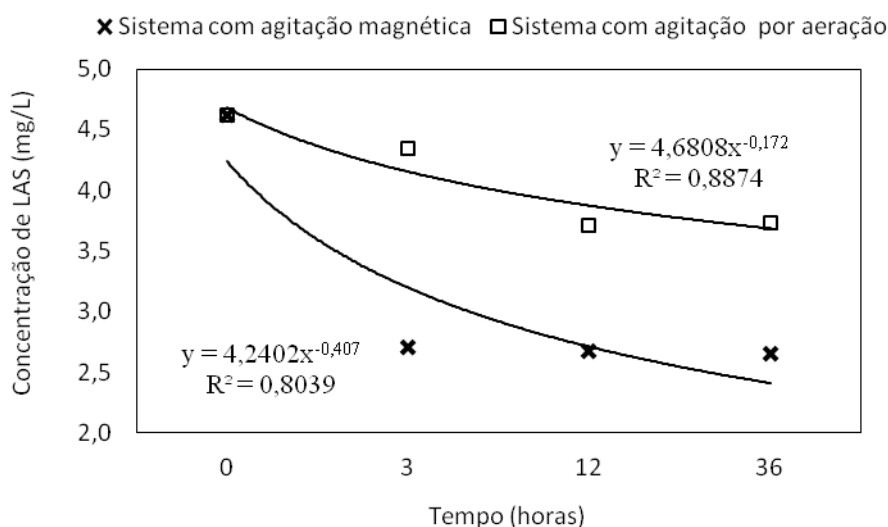


Figura 3: Remoção de surfactantes ao longo dos dias de tratamento para ambos os sistemas de tratamento.

A concentração de LAS presente no efluente do reator UASB foi de 4,62 mg/L, e as concentrações finais, após 36 h de experimento, foram de 3,73 e 2,65 mg/L, e esses resultados corresponderam à eficiências de remoção de 19,3 e 42,6%, respectivamente nos reatores com agitação por aeração e com agitação magnética. É possível perceber ainda que para o sistema com agitação magnética, a eficiência de remoção atingiu o valor de 41,3% nas primeiras 3 horas, e manteve-se praticamente constante após esse intervalo. Em relação ao tratamento com aeração, percebe-se que a remoção máxima de LAS se deu em um período maior, após 12 horas, obtendo uma remoção de 19,7%, e após esse período o valor também se manteve constante. E, nesse caso, o reator com agitação magnética apresentou melhor desempenho quando comparado ao reator agitado por aeração, o que novamente pode estar associado às condições estressantes neste último.

Embora não exista um padrão de lançamento para a concentração de LAS no caso de efluentes provenientes de sistemas públicos de tratamento de esgotos sanitários (mesmo a nível nacional), a legislação

mineira estabelece um valor máximo de 2,0 mg/L para efluentes de outras fontes poluidoras (DN COPAM/CERH-MG nº 1, 2008). Considerando os resultados do Experimento 2, é provável que os reatores de microalgas sejam capazes de atender a esse valor limite. Bonfim *et al.* (2016) observaram redução das concentrações e LAS provenientes de reatores UASB, em lagoas de polimento (que são reatores de microalgas) a níveis de $0,1 \pm 0,3$ e $0,6 \pm 0,3$ mg/L. No entanto, é importante investigar se a remoção de LAS se deu com a completa mineralização destas substâncias inorgânicas (com a quebra do anel aromático) e a incorporação dos seus constituintes à biomassa algal, ou se apenas houve a formação de produtos intermediários, ou ainda, se o mecanismo foi a adsorção na biomassa.

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos de análise e remoção de DQO, análise de pH, e biomassa microalgal úmida obtidos para os sistemas de tratamento utilizados em um período de 6 dias de experimento.

Tabela 6: Resultados dos parâmetros analisados para ambos os sistemas de tratamento utilizados.

Parâmetros analisados	Dia 0	Dia 3		Dia 6	
	Efluente UASB	Sistema com aeração	Sistema com agitação magnética	Sistema com aeração	Sistema com agitação magnética
pH	7,73	8,37	8,88	8,65	8,96
Biomassa microalgal úmida (g/L)	5,05	10,04	11,90	11,35	13,59
Concentração de DQO (mg/L)	460	250	138	206	101
Remoção de DQO (%)	-	45,6	70,0	55,2	78,0

Em relação ao parâmetro pH, verifica-se que houve um aumento do pH ao longo dos dias para ambos os tratamentos. Trevisan *et al.* (2013), em seu estudo que avaliou o pH em cultivo de microalga *Chlorella vulgaris*, também verificou o aumento de pH em cultivos utilizando efluentes. O aumento do pH pode ocorrer devido a fixação do dióxido de Carbono (CO_2) que está presente no efluente, por meio do metabolismo autotrófico das microalgas que proporcionam uma maior dissociação de carbonato e bicarbonato. A dissociação faz com que a acidez carbônica seja removida do meio, ocorrendo, assim, a liberação de íons hidroxila (OH^-) no meio, acarretando um aumento do pH (MOTA e VON SPERLING, 2009; LI *et al.*, 2011). Tal mecanismo indica a possibilidade da remoção de nutrientes, nitrogênio (N) e fósforo (P), uma vez que a elevação do pH promove a volatilização do primeiro (pela conversão do íon amônio NH_4^+ em amônia gasosa NH_3) e a precipitação do segundo (sob a forma de fosfato de cálcio). Entretanto, a assimilação tem sido considerada as principais rotas de remoção dos nutrientes em reatores de microalgas (DINIS *et al.* 2004).

As Figuras 4 e 5 apresentam a produção de biomassa microalgácea e remoção de DQO para ambos os sistemas. Observa-se que produção de biomassa algal foi superior no reator com agitação magnética em relação ao reator com agitação por aeração. Ao final do experimento o primeiro apresentou um crescimento de 35% e o segundo de 13%, o que pode novamente estar relacionado a maior turbulência existente no reator aerado, que pode ter limitado o crescimento das microalgas (diferença percentual de 22%). Um fato importante é que no reator aerado, caso houvesse a ação de bactérias aeróbias, poder-se-ia esperar maiores remoções de LAS e DQO. No entanto, os melhores resultados observados no reator com agitação magnética corroboram que, de fato, a degradação desses compostos ocorreu a partir do metabolismo das microalgas.

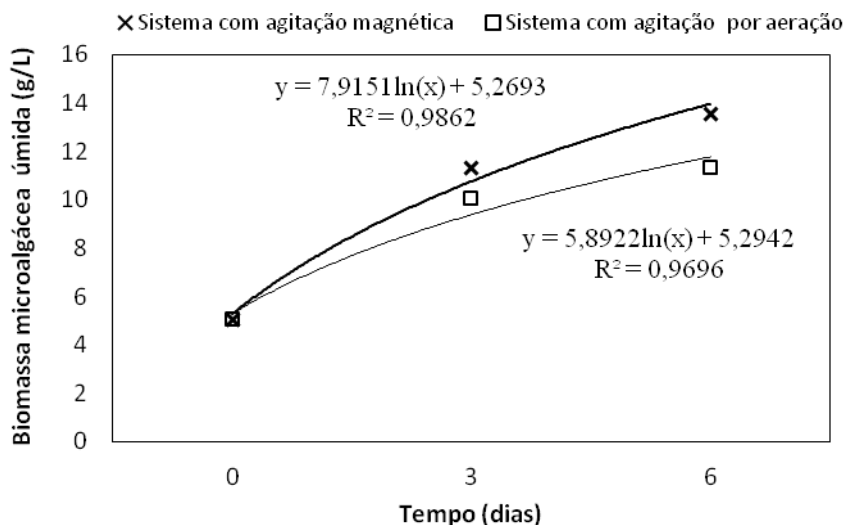


Figura 4: Produção de biomassa microalgácea (g/L) ao longo dos dias para ambos os sistemas.

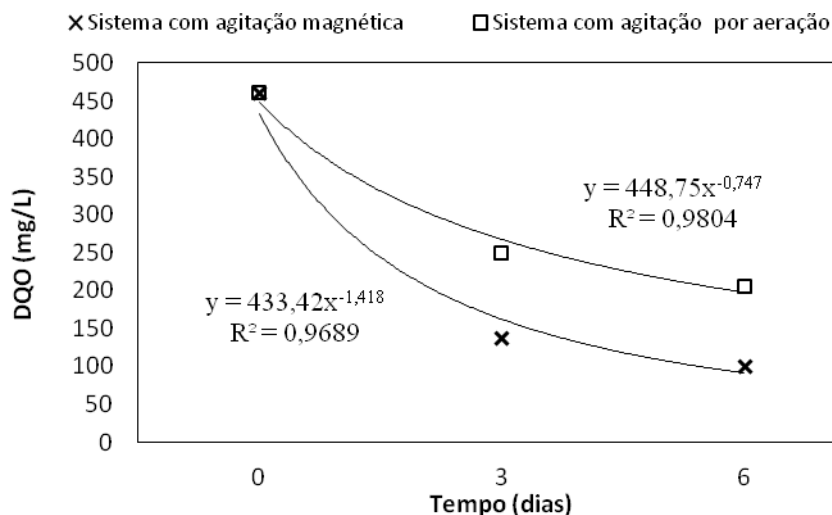


Figura 5: Remoção de DQO ao longo dos dias de tratamento para ambos os sistemas.

Em relação à remoção de matéria orgânica, através da análise de DQO, verificou-se um comportamento semelhante de remoção, sendo o tratamento realizado no reator com agitação magnética mais eficiente na remoção de matéria orgânica. Este reator atingiu remoções biológicas 78% em um tempo de detenção de 6 dias, com uma concentração de orgânica final de 101 mgDQO/L, enquanto no reator com agitação por aeração esses resultados foram de 55% e 206 mgDQO/L. Novamente, esses resultados mostram o potencial de reatores de microalgas como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.

CONCLUSÕES

Com a realização desta pesquisa, verificou-se que o reator por agitação magnética apresentou melhores resultados em relação às eficiências de remoção de DQO e surfactantes. A concentração de LAS no efluente foi removida pelo crescimento da microalga *Chlorella vulgaris* em um período de 3 horas, obtendo-se uma remoção de cerca de 42%, e, para a remoção de matéria orgânica, este mesmo tratamento promoveu uma remoção de 70% em 3 dias e 78% em 6 dias de experimento. O maior desempenho do reator com agitação magnética indicou esse sistema de mistura para reatores em escala de laboratório como o mais adequado em comparação ao reator com agitação por aeração. Possivelmente, por propiciar condições menos estressantes. Entretanto, o mais adequado seja a operação de ambos como mesmo gradiente de mistura, e esse fator não deve ser negligenciado em estudos em nível de bancada.

Por fim, os experimentos revelaram que os sistemas com microalgas se apresentam como uma alternativa promissora de pós-tratamento de águas residuárias, tanto na remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário anaeróbio, como também na remoção de poluentes específicos, há exemplo dos surfactantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACOSTA, L. M. F. **Estudo de fontes de carbono orgânicos no cultivo heterotrófico da microalga *Chlorella vulgaris***. Campinas: Departamento de Engenharia de Processos, Processos em tecnologia química, 2012.
2. BONFIM, J. H. **Remoção de surfactantes (LAS) no tratamento anaeróbio de esgotos domésticos**. Recife: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2006.
3. BERTOLDI, F. C.; SANT'ANNA, E.; OLIVEIRA, J. L. B. **Revisão: Biotecnologia de microalgas**. B.CEPPA, v. 26, n. 1, p. 9-20. Curitiba, 2008.
4. DINIS, M. A.; MONTEIRO, A.; BOAVENTURA, R. **Tratamento de águas residuais: o papel da microalgas**. Porto: Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais, 2004.
5. BONFIM, J.H., SILVA, L. G.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. **Remoção de alquilbenzeno linear sulfonato em esgoto doméstico tratado em reator UASB e lagoa de polimento**. Engenharia Sanitária Ambiental v.21 n.2, p. 397-406, 2016.
6. KUMAR, A.; ERGAS, S.; YUAN, X.; SAHU, A.; ZHANG, Q.; DEWULF, J.; MALCATA, F. X.; VAN LANGENHOVE, H. **Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions**. Trends in Biotechnology, v. 28, n. 7, p. 371-380, 2010.
7. LI, T. *et al.* Assessment of photosynthesis regulation in mixotrophically cultured microalga *Chlorella sorokiniana*. **Algal Research**, v. 19, p. 30–38, 2016.
8. MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. **Microalgae for biodiesel production and other applications: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 217-232, 2010.
9. MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Org.). **Nutrientes de Esgoto Sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.
10. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta nº. 01, de 05 de Maio de 2008, Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.10. MUNGRAY, A.K. & KUMAR,P. Fate of linear alkylbenzene sulfonates in the environment: A review. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 63, p. 981-987, 2011.
11. RAMOS, R. G.; SOBRINHO, P. A. **Remoção de surfactantes no pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando filtro biológico percolador**. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 2012.
12. SILVA, N. F. P. **Crescimento de Microalgas em águas residuais: Produção de Biomassa e Remoção de Nutrientes**. Porto: Mestrado integrado em Engenharia do Ambiente, 2014.
13. VICENTE, J. **Determinação de surfactantes aniônicos em efluentes de postos revendedores de combustíveis da região da Grande Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso: Curso de Graduação em Química. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
14. VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.