

TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL UTILIZANDO UM SISTEMA COM BIOFILME DE MICROALGA DO GÊNERO MONORAPHIDIUM EM FOTOBIOREADORES

Rodrigo Felipe Bedim Godoy¹, Elias Trevisan², André Aguiar Batistelli³, Juliano Katayama Griff⁴, Matheus Haddad Nudi⁵, João Gabriel da Silva Andrade⁶, Carlos Eduardo Porto⁷

Resumo

Microalgas são organismos microscópicos fotossintetizantes que podem ser encontrados em águas doces, marinhas, solo e em substratos em árvore. Esses microrganismos possuem capacidade de remoção de nitrogênio e fósforo tanto em suspensão quanto em formas imobilizadas, podendo ser utilizados para remediação de efluentes domésticos. Entretanto, existe a necessidade de verificar a aplicabilidade desses organismos para remediar efluentes industriais que apresentam outras características diferindo das dos efluentes doméstico. O sistema de tratamento utilizado constitui de 4 sistemas: o tanque de efluente, fotobioreator decantador I (com três britas pequenas), fotobioreator decantador (com uma brita grande) e o coletor. O efluente foi recirculado durante os 10 dias de experimento. O efluente industrial utilizado foi efluente de produção de sucos, apresentando alta turbidez e baixo pH. O sistema no período do experimento obteve-se uma remoção de 48,79% de turbidez e mais de 50% para o ortofosfato. Com isso, o trabalho conclui que a microalga utilizada *Monoraphidium* sp. apresentou boa adaptabilidade a mudança de ambiente (ph de 9,37 para 3,31) e remoção de fosfato como descrito na literatura.

Palavras-chave: Ortofosfato; turbidez; remoção.

Abstract

Microalgae are photosynthetic microscopic organisms that can be found in freshwater, marine, soil and tree substrates. These microorganisms are capable of nitrogen and phosphorus removal both in suspension and in immobilized forms and can be used for domestic wastewater remediation. However, there is a need to verify the applicability of these organisms to remedy industrial effluents that have other characteristics than those of domestic effluents. The treatment system used consists of 4 systems: the effluent tank, decanter photobioreactor I (with three small gravels), decanter photobioreactor (with one large gravel) and the collector. The effluent was recirculated during the 10 days of experiment. The industrial effluent used was juice production effluent, presenting high

¹ Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná-UFPR; professor do departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus Umuarama, e-mail: rodrigofelipe7@hotmail.com.

² Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá-UEM; professor do departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus Umuarama. e-mail: etrevisan2@uem.br.

³ Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina; professor do departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá, campus Umuarama, e-mail: andreambiental@live.com

⁴ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Maringá-UEM, professor do departamento de Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus Umuarama, e-mail: julianokg@hotmail.com.

⁵ Graduando do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus Umuarama, e-mail: matheus.h.nudi@gmail.com.

⁶ Graduando do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus Umuarama, e-mail: joaogabriel-andrade@hotmail.com.

⁷ Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus Umuarama, e-mail: kadu.e.porto@gmail.com.

turbidity and low pH. The system during the experiment period obtained 48.79% turbidity removal and more than 50% for orthophosphate. Thus, the work concludes that the microalgae used *Monoraphidium* sp. showed good adaptability to environment change (ph from 9.37 to 3.31) and phosphate removal as described in the literature.

Keywords: Orthophosphate; turbidity; removal.

1 Introdução

Microalgas são organismos microscópicos fotossintetizantes que podem ser encontrados em águas doces, marinhas, solo e em substratos em árvores (BOELEEE, 2013; SOUSA, 2014; TORRES, 2014). A maioria das microalgas são eucariontes enquanto as cianobactérias são procariontes (BOELEEE, 2013). Esses microrganismos desempenham papel fundamental na cadeia alimentar sendo produtores primários e, também, por reduzir os níveis de dióxido de carbono (CO₂) e liberar oxigênio para a atmosfera. Ainda, esses organismos têm boa capacidade de remoção de minerais tóxicos tais como Arsênio (As), Bromo (Br), Cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb) (DELRUE, *et al.*, 2016; MOLAZADEH, *et al.*, 2019).

Nos últimos anos o cultivo de microalgas tem ganhado atenção pelas diversas aplicações na área de biotecnologia, por exemplo, para a produção de biocombustíveis, biodiesel, biohidrogênio, suplementos alimentares, produtos farmacêuticos e cosméticos (CRUZ, *et al.*, 2018). Segundo Delrue *et al.*, (2016) devido as múltiplas aplicações o cultivo de microalgas em grande escala, pode ser considerada como um futuro promissor para a produção de bicomustíveis. Isto se deve principalmente por apresentar rápido crescimento e acumularem boas quantidades de lipídeos, proteínas, carboidratos e pigmentos (CRUZ, *et al.*, 2018).

Tratamento de efluentes é uma área ambiental bastante importante no qual requer atenção devido aos possíveis impactos no meio ambiente e saúde humana. Efluentes domésticos contêm em sua constituição importantes nutrientes (MIRANDA, *et al.*, 2017) para o desenvolvimento e reprodução de microrganismos. Dessa forma, muitos trabalhos têm sido realizados através da remediação dos efluentes domésticos por microalgas (CHOI; LEE, 2012; SOUZA *et al.*, 2015; NOVOVESKÁ, *et al.*, 2016) devido a capacidade de remoção de nitrogênio e fósforo tanto em suspensão quanto em formas imobilizadas (NOVOVESKÁ, *et al.*, 2016). Entretanto, existe a necessidade de verificar a aplicabilidade desses organismos para remediar efluentes industriais que apresentam outras características diferindo das dos efluentes domésticos.

Dessa forma, existem diferentes metodologias de tratamento de efluentes utilizando o cultivo de microalgas, sendo operado com as microalgas em suspensão na coluna d'água do efluente

(SOUZA *et al.*, 2015; TING *et al.*, 2017) ou utilizando substratos para a formação de biofilmes (BOELEEE, 2013). Ainda, os sistemas podem ser fechados ou abertos (NOVOVESKÁ, *et al.*, 2016; KHIEWWIJIT *et al.*, 2017; TING *et al.*, 2017). De acordo com Ting *et al.* (2017), o tratamento com as microalgas em suspensão na coluna d'água é a forma mais comum para o tratamento de efluentes em fotobioreatores.

Em ambientes aquáticos o biofilme ocorre naturalmente como uma estrutura de diferentes organismos heterotróficos e fotoautotrófico procarionte e eucarionte vivendo no mesmo substrato (MIRANDA, *et al.*, 2017). Essa interação de microalgas nos substratos naturais com outros microrganismos é denominada perifíton (BOELEEE, 2013). Nesses substratos onde forma o biofilme existem os produtos extracelulares, no qual auxiliam na adesão dos microrganismos no substrato. Assim, existe um grande interesse no cultivo de microalgas através de biofilme (HUANG *et al.*, 2018). Nesse contexto o objetivo do trabalho foi analisar o tratamento de um efluente industrial utilizando a microalga do gênero *Monoraphidium* através de um sistema constituído de dois fotobioreatores decantadores.

2 Materiais e Métodos

A metodologia utilizada seguiu a realizada por Rodrigues & Belli Filho (2004). Entretanto, foi utilizado outro gênero de microalga e outro efluente para tratamento. Foi cultivada a microalga *Monoraphidium* sp. durante 5 dias em meio de cultivo sintético, e posteriormente foi adicionado o efluente para o tratamento durante 10 dias. O meio sintético utilizado foi DM (WATANABE, 1960). Os ingredientes deste meio sintético se encontram na tabela 1 e 2. O meio sintético escolhido é um ótimo meio de cultivo para algas verdes, no qual a *Monoraphidium* sp. pertence à classe das Chlorophyceae. Outro fator bastante importante para o trabalho é que a microalga escolhida a *Monoraphidium* sp. apresenta bom crescimento em águas residuárias (HOLBROOK *et al.*, 2014; CRUZ *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Composição do meio sintético DM. Fonte: Watanabe (1960)

Composição	Quantidade
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	1 g por litro
KCl	0,25 g por litro
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,55 g por litro
KH ₂ PO ₄	0,26 g por litro
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,02 g por litro
A ₅	1 mL por litro

Fonte: Os autores, 2020.

Tabela 2 - Composição da solução A5. Fonte: Watanabe (1960)

Composição	Quantidade
H ₃ B ₃ O	2,9 g por litro
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81 g por litro
ZnCl ₂	0,11 g por litro
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,08 g por litro
3(NH ₄) ₂ O.7MoO ₃ .4H ₂ O	0,018 g por litro

Fonte: Os autores, 2020.

2.1 Caracterização do Efluente

O efluente utilizado para o tratamento biológico por biofilme foi efluente de indústria de sucos. As características deste efluente encontram-se na tabela 3. Resumidamente, o efluente apresentou um baixo valor de pH, elevada turbidez e uma concentração de 17,56 mg/L de ortofosfato. Foram utilizados aproximadamente 2,4 litros de efluentes (equivalente a 700 mL para cada fotobioreator mais 1 litro) para o tratamento.

Tabela 3 - Características do efluente industrial da produção de sucos.

Caracterização do Efluente	
pH	3,31
Condutividade (μS/cm)	287,4
Turbidez (NTU)	93,6
Ortofosfato (mg/L)	17,56
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,54
Temperatura (°C)	24,1

Fonte: Os autores, 2020.

2.2 Caracterização dos Fotobioreatores Decantadores

Anteriormente a adição do efluente nos fotobioreatores decantadores foi lavado os fotobioreatores com aproximadamente 4,5 litros de água para fazer a remoção do meio sintético nos mesmos. Após a lavagem, foi realizada a caracterização dos fotobioreatores decantadores. Na tabela 4 encontram-se os valores das características dos fotobioreatores I e II.

Tabela 4 - Caracterização dos fotobioreatores anteriormente a adição do efluente.

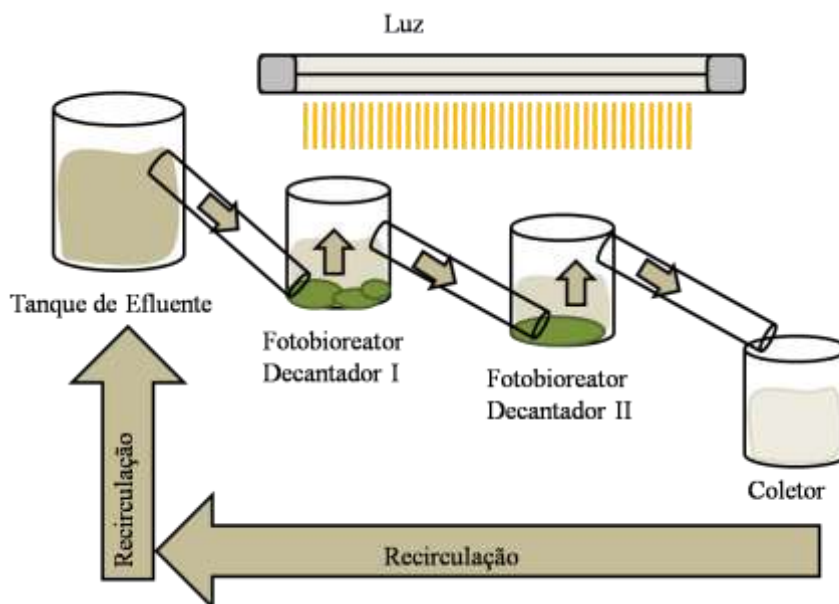
Caracterização dos Fotobioreatores Decantadores		
Parâmetros	Fotobioreator I	Fotobioreator II
pH	9,09	9,37
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	215,5	110
Turbidez (NTU)	8,14	5,56
Ortofosfato (mg/L)	2,24	1,55
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,41	1,36
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24,3	24,5

Fonte: Os autores, 2020.

2.3 Fluxograma do sistema

O tratamento constitui de 4 sistemas: o tanque de efluente, fotobioreator decantador I (com três britas pequenas), fotobioreator decantador (com uma brita grande) e o coletor (Figura1).

Figura 1 - Fluxograma do sistema de tratamento de efluente industrial com biofilme com a recirculação do efluente.

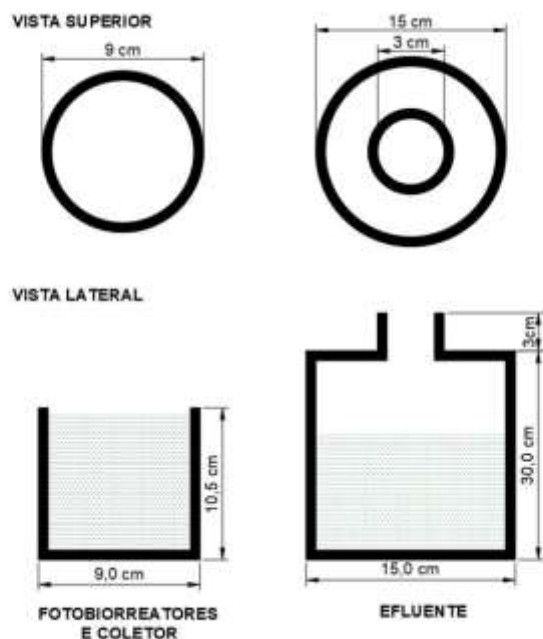


Fonte: Os autores, 2020.

O efluente foi recirculado durante os 10 dias de experimento. As análises do tratamento foram realizadas após a recirculação, com a exceção do último dia para analisar o efeito da não recirculação. A vazão de entrada e saída de cada sistema foi de aproximadamente de 0,0077 litros/minuto. A iluminação foi de 24 horas com duas lâmpadas fluorescentes e sem a injeção de ar comprimido como fonte de carbono inorgânico para os microrganismos. Os

fotobioreatores decantadores são de fluxo ascendente, no qual o efluente descia pela ação da gravidade para o fotobioreator I, do fotobioreator I para o II até o coletor. A recirculação foi feita manualmente. Na figura 2 encontram-se as dimensões dos fotobioreatores, tanque do efluente e coletor.

Figura 2 - Dimensões dos fotobioreatores decantadores e do tanque de efluente.



Fonte: Os autores, 2020.

2.4 Análises

Para a realização do controle do tratamento do efluente foram analisados os seguintes parâmetros: pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica e ortofosfato. Para essas análises foram utilizados um pHmetro (mPA-210), um condutivímetro (mCA 150P) e um turbidímetro (Del Lab). A concentração de ortofosfato solúvel ($P-PO_4^{3-}$) foi quantificada pelo método do ácido molibdovanadofosfórico (APHA, 2005). As leituras foram realizadas empregando-se um fotocolorímetro (AT 10P, Alfakit) sob comprimento de onda entre 465 e 475 nm.

3 Resultado e Discussão

Na figura 2 é apresentada a variação dos parâmetros de controle do sistema ao longo dos dias de tratamento. O pH variou de 3,55 no primeiro dia no fotobioreator 2 até cerca de 7,66 também

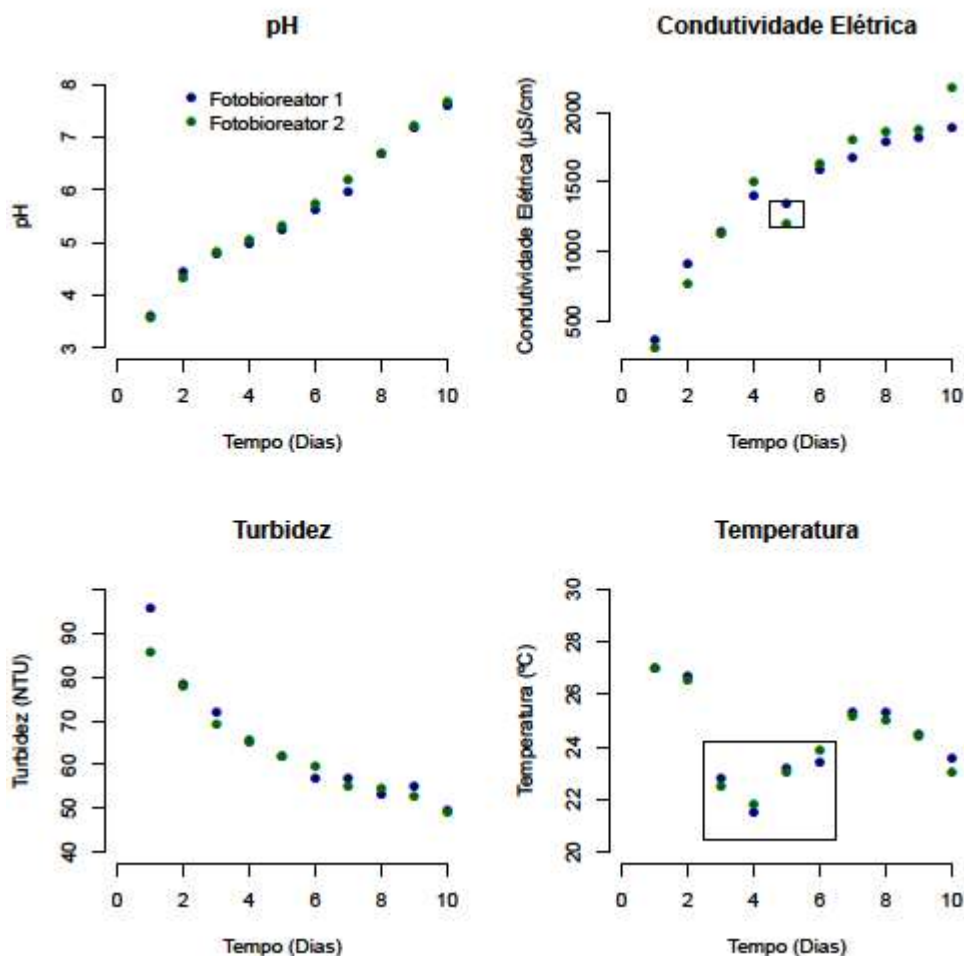
no fotobioreator 2 no décimo dia. Essa variação do pH ao longo do tempo pode estar associada com a concentração de oxigênio dissolvido devido a atividade dos seres fotossintetizantes, uma vez que, ocorre a remoção de dióxido de carbono (CO_2) pela dissociação dos íons bicarbonato (HCO_3^-) em CO_2 e OH^- aumentando assim o pH (TORRES, 2014). No entanto, as microalgas também podem utilizar o HCO_3^- para a produção de sua biomassa como ocorre com a utilização de CO_2 (BOELEE, 2013). Souza *et al.* (2015), também encontrou o aumento de oxigênio dissolvido e a variação do pH após o tanque de microalgas resultado da fotossíntese desses microrganismos.

A condutividade elétrica aumentou inicialmente de 314.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no fotobioreator 2 até 2171 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no décimo dia. Esse aumento da condutividade elétrica pode estar relacionado com o acúmulo de íons cálcio (Ca), sódio (Na) e potássio (K) nos substratos. Segundo Souza *et al.* (2015), após a etapa de tratamento contendo brita (filtro anaeróbio fluxo ascendente) houve o aumento em 36% da condutividade elétrica na estação de tratamento de esgoto doméstico devido ao acúmulo de efluente no estágio com brita.

A turbidez variou de 95.7 NTU no fotobioreator I no primeiro dia do tratamento até 49 NTU no décimo dia no fotobioreator II. O sistema, portanto, obteve uma remoção de aproximadamente 48,79%. A redução da turbidez pode ter sido resultado tanto pela sedimentação dos sólidos em suspensão como também pela remoção do biofilme instalado na parte inferior dos fotobioreatores.

A variação da temperatura durante o experimento foi de 5.2°C sendo a menor no quarto dia (21,8°C) e a maior temperatura registrada 27°C no primeiro dia do experimento. A variação da temperatura ocorre devido à variação da temperatura ambiente. A temperatura exerce uma importância muito grande na taxa de crescimento de microalgas, sendo geralmente a taxa de crescimento máximo ocorrendo entre 20 a 25°C (BOELEE, 2013). Certas espécies de *Monoraphidium* podem ser cultivadas em baixas temperaturas (10°C) (HOLBROOK *et al.*, 2014).

Figura 3 - Parâmetros avaliados diariamente no controle do sistema fotobioreator decantador para tratamento de efluente industrial.



Fonte: Os autores, 2020.

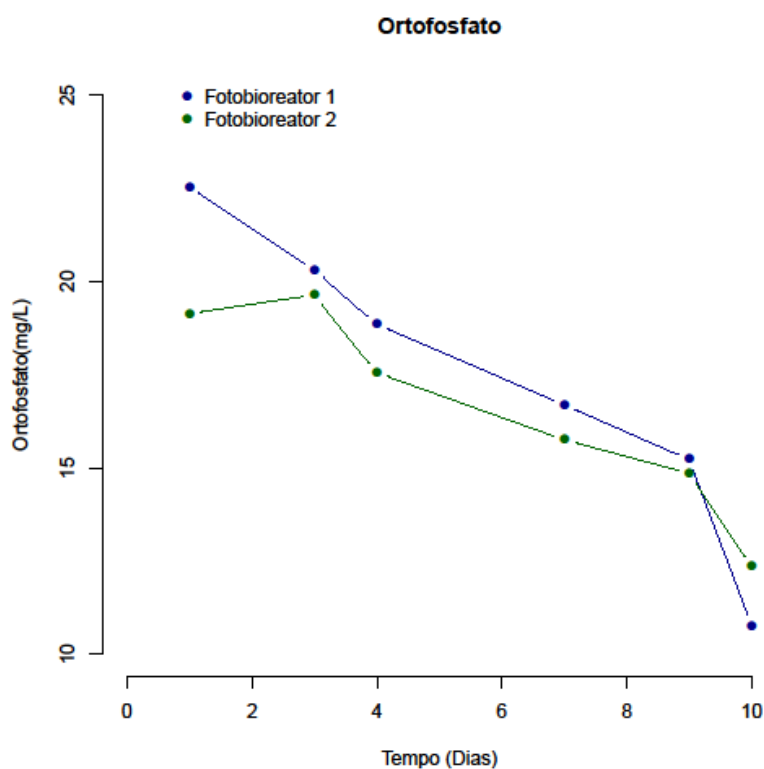
Em relação à remoção de fósforo ocorreu uma redução de aproximadamente 52% de ortofosfato para o fotobioreator 1, enquanto que no fotobioreator 2 foi de 35,42% (Figura 4). Essa diferença na porcentagem de remoção total do efluente pode ser resultado da maior disponibilidade de área superficial para a formação de biofilme nos substratos do fotobioreator 1. Além disso, os valores de ortofosfato foram sempre menores no fotobioreator 2, o que poderia ser devido ao processo de recirculação manual do efluente no sistema. Uma maior redução de ortofosfato no fotobioreator 1 pode ser devido a não recirculação para a análise dos parâmetros.

Segundo Araújo *et al.* (2012) para o processo de filtração com pedras na fase de tratamento de efluentes ocorre acúmulo de matéria orgânica e nutrientes. Embora os fotobioreatores

decantadores não sejam filtros, a presença de substrato com biofilme pode ter sido fator importante para a remoção do ortofosfato pela presença da biomassa algal.

Outra explicação do resultado da diminuição de ortofosfato pode ser consequência da aplicabilidade da microalga utilizada em remediação de águas residuárias, uma vez que, segundo Holbrook *et al.* (2014) certas espécies de *onoraphidium* apresentam boa resiliência a mudanças no ambiente, alta capacidade de remoção de nitratos e fosfatos em águas residuárias e fixação de carbono.

Figura 4 - Remoção de Ortofosfato pelo sistema fotobioreator decantador.



Fonte: Os autores, 2020.

Mesmo ocorrendo à remoção de turbidez e ortofosfato do efluente industrial, o sistema poderia apresentar uma eficiência ainda maior. Segundo Cruz *et al.* (2018), as microalgas necessitam de nutrientes e determinada dosagem de CO₂, ou seja, introduzir ar comprimido diretamente no tanque de efluente pode ser uma solução para aumentar a remoção de nutrientes. No entanto, também existe a possibilidade que a injeção de CO₂ não afete o crescimento da *Monoraphidium sp.* De acordo com Leite *et al.* (2019), a ausência de injeção de CO₂ não foi um

fator limitante para o crescimento da *C.sorokiniana*. A remoção de nutrientes ocorre durante o crescimento em que as microalgas assimilam nitrogênio e fósforo (WHITTON *et al.*, 2016)

Outro fator operacional que poderia aumentar a eficiência do sistema seria ter uma circulação automática do efluente, ou, não haver recirculação e aumentar o tempo de residência do efluente no sistema, porém, para esse caso, a limitação seria da utilização de apenas 700 mL de efluente para cada fotobioreator.

Acredita-se que a alta turbidez do efluente industrial pode ter sido um fator importante para a diminuição da eficiência do tratamento do efluente, visto que a turbidez afeta a passagem de luz na amostra d'água e conseqüentemente afeta a fotossíntese desses microrganismos. Por fim, as características do substrato também podem ter influencia na formação do biofilme nos substratos e conseqüentemente na eficiência de tratamento do efluente (HUANG *et al.*, 2018).

4 Conclusão

O sistema nos 10 dias de experimento obteve-se uma remoção de 48,79% de turbidez e mais de 50% para o ortofosfato. Com isso, o trabalho conclui que a microalga utilizada *Monoraphidium* sp. apresentou boa adaptabilidade a mudança de ambiente (ph de 9,37 para 3,31) e remoção de fosfato como descrito na literatura.

Referência

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21ed., Washington, 2005.

ARAÚJO IS, OLIVEIRA JLR, ALVES RGCM, BELLI FILHO P, COSTA RHR. Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2012; 16(7):745-753.

BOELEEE, NC. **Microalgal Biofilms for Wastewater Treatment** [thesis]. Wageningen: Wageningen University; 2013. 217p.

CHOI HJ, LEE SM. Effects of microalgae on the removal of nutrients from wastewater: various concentrations of *Chlorella vulgaris*. **Environmental Engineering Research**. 2012; 17(51):3-8.

CRUZ YR, LEONETT AF, DÍAZ GC, CARLIZ RG, ROSSA V, GALINDO M, ARANDA DAG, OLIVEIRA LB. Biofixação de CO₂ pela microalga *monoraphidium* SP. **Acta Scientiae & Technicae**. 2018; 6(1):14-20

- DELRUE F, ÁLVARES-DÍAZ PD, FON-SING S, FLEURY G, SASSI JF. The environmental biorefinary: using microalgae to remediate wastewater, a win-win paradigm. **Energies**. 2016; 9(132):1-19
- HOLBROOK GP, DAVIDSON Z, TATARA RA, ZIEMER NL, ROSENTRATER KA, GRAYBURN WS. Use of the microalga *Monoraphidium* sp. grown in wastewater as a feedstock for biodiesel: Cultivation and fuel characteristics. **Applied Energy**. 2014; 131:386-393
- HUANG Y, ZHENG Y, LI J, LIAO Q, FU Q, XIA A, FU J, SUN Y. Enhancing microalgae biofilm formation and growth by fabricating microgrooves onto the substrate surface. **Bioresource Technology**. 2018; 261:36-43
- LEITE LS, HOFFMANN MT, DANIEL LA. Microalgae cultivation for municipal and piggy wastewater treatment in Brazil. **Journal of Water Process Engineering**. 2019;31
- MIRANDA AF, RAMKUMAR N, ANDRIOTIS C, HOLTKEMEIER T, YASMIN A, ROCHFORT S, WLODKOWIC D, MORRISON P, RODDICK F, SPANGENBERG G, LAL B, SUBUDHI S, MOURADOV A. **Applications of microbial biofilms for wastewater treatment and bioenergy production**. **Biotechnology for Biofuels**, 2017;10(120):1-23
- NOVOVESKÁ L, ZAPATA AKM, ZABOLOTNEY JB, ATWOOD MC, SUNDSTROM ER. Optimizing microalgae cultivation and wastewater treatment in large-scale offshore photobioreactors. **Algal Research**, 2016;18:86-94.
- RODRIGUES JBR, BELLI FILHO P. Eficiência da microalga *Chlorella minutíssima* no tratamento de resíduos de suinocultura enriquecido com uréia. **Biotemas**. 2004; 17(2):7-26.
- SOUSA CV. **Microalgas: do tratamento de efluentes para a biorefinaria** [dissertation. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa 2014. 79p.
- SOUZA CF, BASTOS RG, GOMES MPM, PULSCHEN A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Ambiente & Água**. 2015; 10(3): 587-597.
- TING H, HAIFENG L, SHANSHAN M, ZHANG Y, ZHIDAN L, NA D. Progress in microalgae cultivation photobioreactors and applications in wastewater treatment: A review. **Int. J. Agric. & Biol. Eng**. 2017; 10(1)
- TORRES H.S. **Cultivo de Microalgas em efluente de tratamento anaeróbico de esgoto** [thesis]. Vitória, Espírito Santo :Universidade Federal do Espírito Santo. 2014. 187p.
- WATANABE A. List of algal strains collection at the institute of applied microbiology, university of Tokyo. **J.Gen.Appl.Microbiol**. 1960; 6:283-292
- WHITTON R, LE MÉVEL A, PIDOU M, OMETTO F, VILLA R, JEFFERSON B. Influence of microalgal N and P composition on wastewater nutrient remediation. **Water Research**, 2016; 91:371-378.