



AValiação da Comunidade de Microalgas na Formação de Agregados Microalgas-Bactérias em Lagoas de Alta Taxa Alimentadas com Esgoto Doméstico

ANNY KAROLINY DE OLIVEIRA BARROS; MARIA DE LOURDES FLORENCIO DOS SANTOS; ANTÔNIO GUSTAVO DOS SANTOS NETO

RESUMO

As Lagoas de Alta Taxa (LATs) são uma adaptação das lagoas de estabilização convencionais e têm potencial para produzir microalgas comercialmente, ao mesmo tempo em que tratam efluentes domésticos. No entanto, a colheita da biomassa microalgal nas LATs é desafiadora, representando cerca de 20 a 30% dos custos de produção devido à baixa sedimentabilidade da biomassa. Para otimizar a colheita, tem sido utilizada uma abordagem biológica, os agregados de microalgas-bactérias (AMABs), que têm sedimentabilidade superior à biomassa das LATs viabilizando o tratamento de esgoto. No entanto, ainda são necessários mais estudos para compreender o papel das microalgas e bactérias na formação dos AMABs. O presente trabalho teve como objetivo identificar os principais gêneros de microalgas envolvidos na etapa de formação dos AMABs em LATs e observar o desempenho das lagoas no que tange o processo de desenvolvimento, sedimentabilidade e tratamento de esgoto. Para isso, o trabalho foi realizado em duas lagoas de alta taxa em escala piloto (2,4 m³), alimentadas com efluente oriundo de um reator UASB de uma ETE em operação, na cidade do Recife-PE. Onde uma lagoa foi inoculada com lodo ativado (como estratégia para formação dos agregados) e a outra não recebeu inóculo de lodo ativado. As LATs inicialmente foram operadas em regime de bateladas e posteriormente em modo contínuo. Dessa forma, a lagoa que recebeu a biomassa de lodo ativado apresentou agregados com maior predominância de cianobactérias, além da maior abundância de microalgas pertencentes à classe das diatomáceas. A LAT ainda apresentou concentração de sólidos igual a 249±137 mg/L, eficiência de floculação de 82±16% e remoção de matéria orgânica (DQO) de 60±18%. Portanto, a inserção de lodo ativado promoveu a formação de AMABs mais estruturados e com melhor capacidade de sedimentação e remoção de matéria orgânica.

Palavras-chave: Fitoplâncton; Tratamento de Efluentes; Saneamento Básico.

1 INTRODUÇÃO

O descarte de efluentes domésticos diretamente no meio ambiente sem o devido tratamento prévio, ainda é uma realidade no Brasil. Uma vez que, segundo os dados gerados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2022, apenas 51,2% do efluente produzido no País recebe tratamento adequado. Tal situação impacta negativamente, tanto na qualidade de vida da população brasileira, como também no meio ambiente. Dessa forma, é imprescindível investir em estudos e tecnologias que busquem alternativas eficientes que contribuam para a universalização do esgotamento sanitário no Brasil.

Nesse contexto, as microalgas têm sido amplamente estudadas devido à sua versatilidade e facilidade de cultivo. Elas podem ser empregadas no tratamento de efluentes, gerando produtos de alto valor agregado a partir de sua biomassa, ao mesmo tempo, capturando

e fixando o CO₂ atmosférico por meio do processo de fotossíntese (Gonçalves *et al.*, 2016; Besha *et al.*, 2017; Chandra *et al.*, 2019).

As lagoas de alta taxa (LATs) são uma adaptação das lagoas de estabilização convencionais e podem ser utilizadas como o principal meio de produção comercial de microalgas (Arbib *et al.*, 2017). Caracterizadas como lagoas abertas, rasas e com rotores para movimentação da massa líquida (Garcia *et al.*, 2006), as LATs são sustentáveis e produzem uma biomassa capaz de tratar eficientemente efluentes domésticos. Além disso, elas são capazes de impulsionar a produção de biocombustíveis por meio do crescimento da biomassa algal (Coggin *et al.*, 2020).

No entanto, embora diversas literaturas destaquem a biomassa algal como uma fonte promissora para a produção de biocombustíveis e outros produtos de interesse econômico, como rações, vitaminas, protetor solar, bioplásticos, entre outros (Chandra *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2016), ainda não há comprovação da viabilidade econômica e energética desse processo (Chandra *et al.*, 2019). A etapa de colheita é a mais custosa do processo de produção, representando de 20% a 30% dos custos totais (Mata *et al.*, 2010; Ummalyma *et al.*, 2017).

Como alternativa para contornar o desafio da colheita da biomassa, tem sido empregado o uso de agregados microalga-bactéria (AMABs) por via biológica (Arcila e Buitrón, 2016; Wang *et al.*, 2016; Arcila e Buitrón, 2017). Esse consórcio específico, além de melhorar a sedimentabilidade da biomassa algal, pode ser utilizado tanto para o tratamento de esgoto, quanto para a obtenção de produtos com valor agregado (Lee e Lei, 2019).

Estudos têm demonstrado a utilização de lodos ativados como inóculo para a formação dos AMABs, processo também conhecido como fotogranulação (Arcila e Buitrón, 2016; Santos Neto *et al.*, 2021). No entanto, pouco se sabe sobre o processo de formação desses agregados em lagoas de alta taxa.

Pesquisas relatam que, a agregação entre microalgas e bactérias ocorre em quatro estágios: iniciação, maturação, manutenção e desintegração (Yanjia Xu, Yao Wang, 2016). Em seu estudo, Arcila e Buitrón (2016) abordam que a formação dos agregados pode estar associada ao desenvolvimento de diatomáceas no centro da biomassa, conectadas a microalgas filamentosas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar os principais gêneros de microalgas envolvidos no processo de formação de agregados microalgas-bactérias em LATs e observar o desempenho das lagoas enquanto a produção de biomassa, sedimentabilidade e tratamento de esgoto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em duas lagoas de alta taxa (LATs) em escala piloto, instaladas em uma área experimental do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), localizada na estação de tratamento de esgotos (ETE) Mangueira, na cidade do Recife, estado de Pernambuco, Brasil. A ETE Mangueira realiza o tratamento de origem doméstica dos bairros da Mangueira, San Martin e Mustardinha, Recife-PE. As lagoas foram construídas com fibra de vidro e possuem dimensões semelhantes largura 1,4 m, comprimento 6,0 m e para esse estudo foram operadas com altura de lâmina d'água de 0,3m.

As lagoas foram alimentadas com efluente doméstico previamente tratado por um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) em escala real. Após o processo de tratamento anaeróbio, uma parte do efluente tratado era direcionada para uma caixa de equalização e, posteriormente, enviado as LATs.

Como estratégia para formação dos agregados microalga-bactéria (AMABs), utilizou-se inóculo de lodos ativados em uma das lagoas, com intuito de observar a influência da biomassa de lodo na formação e estabilidade dos AMABs. Sendo assim, a nomenclatura

utilizada neste estudo foi LAT 1 para a lagoa que não foi inoculada com lodo ativado e LAT 2 para a lagoa que recebeu inóculo de 0,5 g/L de lodo ativado.

O processo experimental aconteceu em três etapas distintas, as duas primeiras etapas corresponderam ao regime batelada, com ciclos de 11 e 13 dias, respectivamente e a terceira etapa correspondeu ao regime contínuo com duração de 178 dias e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 4 dias.

A identificação dos gêneros de microalgas foi realizada por meio de microscópio óptico comum e foi baseada na descrição taxonômica relatada por Bicudo e Menezes (2000). Para as análises quantitativas empregou-se a técnica de Utermöhl com câmara de 2 mL, por meio de um microscópio invertido. Posteriormente, para estimar a representatividade de cada táxon utilizou-se a metodologia descrita por Lobo e Leighton (1986).

Por fim, para analisar produção de biomassa foram realizadas análises de clorofila-a (*chl-a*) e sólidos suspensos totais (SST) de acordo com o método descrito em "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (Apha, 2017). A sedimentabilidade da biomassa foi avaliada por meio da eficiência de floculação descrita por Oh *et al.* (2001) e Leong *et al.* (2018). E o tratamento de esgoto foi avaliado por meios das análises de DQO, nitrogênio e fósforo conforme o método padrão Apha, 2017.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de monitoramento de aproximadamente 8 meses, um total de 21 gêneros de microalgas eucarióticas foram identificados nas LATs. Sendo os 21 ocorrendo na LAT1 (Figura 1). Dentre os gêneros identificados nessa lagoa, 12 pertencem à classe das clorofíceas, 7 pertencem à classe das diatomáceas, 1 gênero pertencendo ao grupo das euglenofíceas e 1 gênero pertencendo à classe das zygnematofíceas. Além disso, na referida lagoa ainda foi identificado de dois gêneros de cianobactérias: *Oscillatoria* sp. e *Chroococcus* sp. Em contrapartida, na LAT2, durante o período de operação, foram identificados no sistema cerca de 18 gêneros de microalgas eucarióticas. Dentre esses, 11 gêneros pertencendo à classe das clorofíceas e 7 gêneros corresponderam à classe das diatomáceas. Além disso, foram identificados três gêneros de cianobactérias: *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp. e *Chroococcus* sp. (Figura 2).

Sendo assim, os gêneros de microalgas eucarióticas que demonstraram maior abundância relativa na LAT1 foram *Chlorella* sp., *Oocystis* sp., *Desmodesmus* sp., *Navicula* sp. e *Chlamydomonas* sp. consecutivamente. Enquanto na LAT2, os gêneros de microalgas eucarióticas que demonstraram maior abundância relativa, foram *Chlorella* sp., *Navicula* sp., *Desmodesmus* sp., *Gomphonema* sp. e *Cyclotella* sp2

Em termos de abundância relativa, vê-se que a lagoa que recebeu inóculo de lodo ativado (LAT2), no processo inicial de formação da biomassa apresentou maior abundância média 61% do gênero de cianobactérias filamentosas *Oscillatoria* Sp. A existência de organismos filamentosos, como as cianobactérias, desempenha um papel relevante na formação de AMABs, conforme discutido na literatura, pois esses microrganismos contribuem para uma melhor estruturação dos agregados e grânulos de microalgas-bactérias (Arcila e Buitrón, 2016).

Além disso, a LAT2 também apresentou maior abundância de microalgas pertencentes a classe das Diatomáceas, principalmente os gêneros *Navicula* sp. e *Gomphonema* sp. com médias de 20 e 9% respectivamente. Esse grupo de microalgas tem a sua relevância no processo de estabilidade dos agregados, uma vez que, apresentam parede celular composta de sílica promove o aumento das taxas de sedimentação e produção de biofilme, resultando em uma colheita mais eficiente e menos onerosa (Datta *et al.*, 2019).

Ademais, os gêneros de microalgas predominantes no presente estudo na formação dos AMABs em lagoas de alta taxa, são representantes dos grupos das clorofíceas e diatomáceas, como os já relatados em outras literaturas (Arcila e Buitrón, 2017; Shahid *et al.*, 2019; Santos

Neto *et al.*, 2021). Dessa forma, vê-se que as microalgas das classes citadas são integrantes cruciais no processo de formação dos agregados de microalga-bactérias em LATs.

Figura 1: Abundância relativa dos gêneros de microalgas e cianobactérias identificados na LAT1.

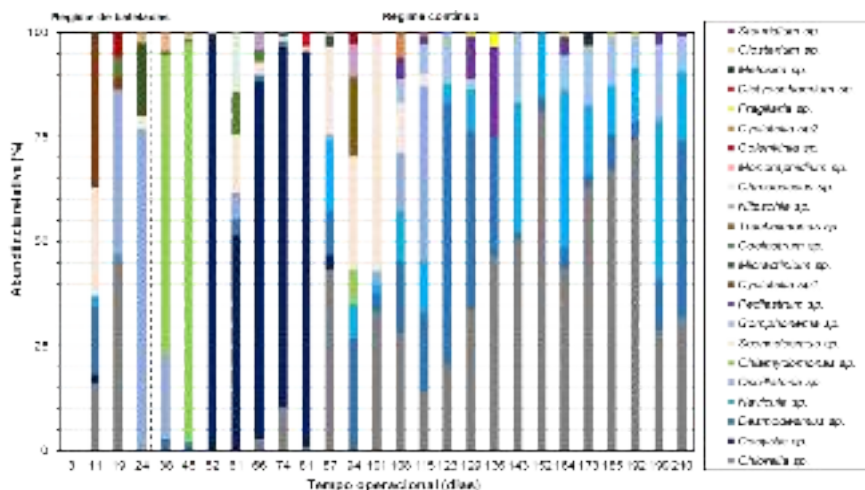
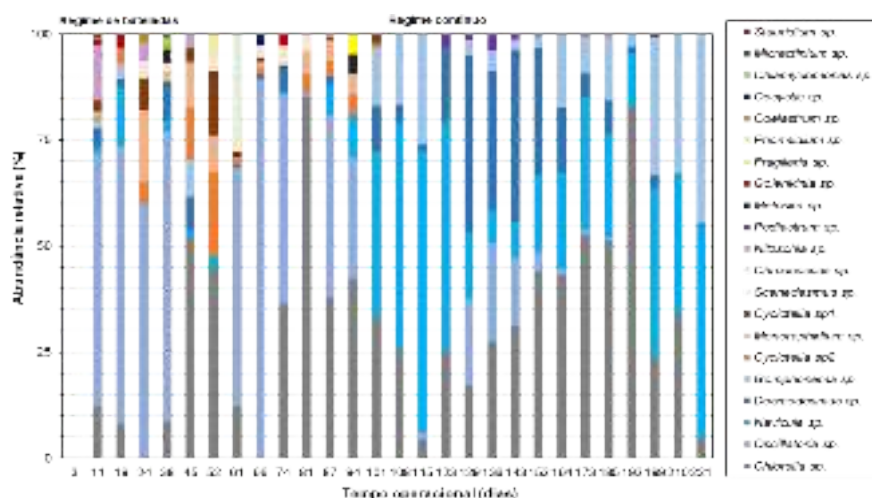


Figura 2: Abundância relativa dos gêneros de microalgas e cianobactérias identificados na LAT2.



Analisando o processo de desenvolvimento da biomassa nas LATs ao longo do período experimental, por meio da análise de sólidos suspensos totais (SST), nota-se que o inóculo de lodo ativado influenciou na concentração de SST na LAT 2, uma vez que a lagoa apresentou média de $249,7 \pm 137,5$ mg/L e a LAT1 obteve média de $174,7 \pm 86,7$ mg/L, essas médias apresentaram diferença significativa, p – valor de 0,0073.

Por outro lado, as lagoas não apresentaram diferença significativa em relação as suas concentrações médias de clorofila-a. Uma vez que a LAT 1 obteve uma média de $0,58 \pm 0,63$ mg/L e a LAT2 uma média de $0,76 \pm 0,66$ mg/L, p - valor de 0,1494.

Enquanto a eficiência de floculação, a LAT 2, que recebeu inoculação de lodo ativado, apresentou uma eficiência média de $82,4 \pm 16,3\%$ e a lagoa convencional LAT 1, obteve uma média de $63,1 \pm 25,6\%$, estatisticamente as médias obtiveram diferença significativa, p -valor de 0,0027. Sendo assim, nota-se que a maior abundância de microalgas diatomáceas presente na LAT 2 durante a formação dos AMABs é um fator a ser considerado em relação à boa capacidade de sedimentação que a biomassa produzida nesse sistema apresentou.

Em relação ao tratamento de esgoto, em termos de matéria orgânica as remoções

médias de DQO na LAT 1 e LAT 2 foram de 44,7% e 60,3%, respectivamente. As médias de remoção apresentam diferença estatística uma vez que o p - valor foi de 0,0086, o desempenho da LAT2 no processo de remoção da DQO, em relação à LAT 1, pode ser atribuído devido a uma maior interação sinérgica entre os microrganismos da LAT 2, que supostamente foi mais efetiva devido a presença das bactérias heterotróficas já presentes no lodo ativado.

A respeito das remoções de nitrogênio, a remoção média do nitrogênio total (NT) na LAT1 foi de 59,4%, enquanto na LAT 2 foi de 43,5%. Estatisticamente as remoções médias de NT das lagoas apresentam diferença significativa, p - valor de 0,0199. Logo, o inóculo de lodo ativado não influenciou no processo remoção do NT na LAT 2. Já a remoção da fração de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) nas lagoas não apresentam diferença estatística, p – valor de 0,1944, a LAT 1 e LAT 2 obtiveram médias de remoção de 87,4% e 90,4%, nessa ordem.

Além disso, neste trabalho também ocorreu a formação das formas oxidadas do nitrogênio, nitrito e nitrato em ambas as lagoas. No entanto, o nitrato (NO_3^-) ocorreu com maiores concentrações médias nas duas lagoas, principalmente na LAT 2, com concentração de 12 ± 6 mg/L, supostamente devido presença de bactérias nitrificantes oriundas do inóculo lodo ativado.

Por fim, a remoção de fósforo nas lagoas apresentou médias de 59,3% e 48,9% para a LAT1 e LAT2, nessa ordem. Estatisticamente, observa-se que as médias de remoção apresentaram diferença estatística, p – valor de 0,0363.

4 CONCLUSÃO

Ocorreu a formação de agregados de microalgas-bactérias em ambas as lagoas. Os gêneros predominantes de microalgas eucarióticas identificados nas lagoas foram aqueles comumente relados pela literatura. Pertencendo principalmente a classes das Clorofíceas e Diatomáceas. Entretanto, a LAT 2 apresentou maior abundância de cianobactérias filamentosas e de diatomáceas, microrganismos fundamentais para a formação de uma biomassa mais estruturada e estável. A LAT 2 também, obteve maior concentração de SST (249 ± 137 mg/L) e melhor eficiência de floculação ($82 \pm 16\%$), com diferença significativa em relação às médias alcançadas pela LAT1. Portanto, a inoculação de lodo ativado foi favorável para o desempenho da LAT2 em relação a esses parâmetros. Além disso, nota-se que a inoculação do lodo ativado também contribuiu para uma remoção mais eficaz de matéria orgânica (DQO) na LAT2 ($60 \pm 17\%$). Ambas as lagoas apresentaram formas oxidadas do nitrogênio, porém a lagoa que recebeu inóculo de lodo ativado (LAT2), exibiu maior concentração de nitrato (12 ± 6 mg/L). Enquanto aos parâmetros de clorofila-a e à remoção de nitrogênio amoniacal, as lagoas não apresentaram diferença significativa. Por outro lado, a LAT1 demonstrou um melhor desempenho na remoção de nitrogênio total ($59 \pm 24\%$) e fósforo total ($59 \pm 18\%$), com diferença significativa em comparação com as médias alcançadas pela LAT2. Em resumo, o inóculo de lodo não influenciou substancialmente na performance da LAT2 em relação aos parâmetros mencionados acima.

REFERÊNCIAS

APHA, A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Baltimore: Port City Press, 2017.

ARBIB, Z.; DE GODOS, I.; RUIZ, J. Optimization of pilot high rate algal ponds for simultaneous nutrient removal and ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY 11 lipids production. Sci Total Environ, v. 589, p. 66–72, 2017.

ARCILA, J. S.; BUITRÓN, G. Influence of solar irradiance levels on the formation of microalgae-bacteria aggregates for municipal wastewater treatment. *Algal research*, v. 27, p. 190–197, 2017.

ARCILA, J. S.; BUITRÓN, G. Microalgae-bacteria aggregates: effect of the hydraulic retention time on the municipal wastewater treatment, biomass settleability and methane potential: Microalgae-bacteria aggregates for wastewater treatment. *Journal of chemical technology and biotechnology (Oxford, Oxfordshire: 1986)*, v. 91, n. 11, p. 2862–2870, 2016.

BESHA, A. T. et al. Removal of emerging micropollutants by activated sludge process and membrane bioreactors and the effects of micropollutants on membrane fouling: A review. *Journal of environmental chemical engineering*, v. 5, n. 3, p. 2395–2414, 2017.

BICUDO, C. E. M.; BICUDO, R. M. *Algas de Águas Continentais Brasileiras: Chave para identificação e descrição*. 2 Edição. São Paulo: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências. p. 288, 1970.

CHANDRA, R. et al. Algal biorefinery: A sustainable approach to valorize algal-based biomass towards multiple product recovery. *Bioresource technology*, v. 278, p. 346–359, 2019.

COGGINS, L. X. et al. Flow cytometry for rapid characterisation of microbial community dynamics in waste stabilisation ponds. *Water research*, v. 169, n. 115243, p. 115-243, 2020.

DATTA, A. et al. The diatoms: From eutrophic indicators to mitigators. Em: *Application of Microalgae in Wastewater Treatment*. Cham: Springer International Publishing, p. 19–40, 2019.

GARCÍA J, GREEN BF, LUNDQUIST T, et al. Long term diurnal variations in contaminant removal in high rate ponds treating urban wastewater. *Bioresour Technol.*; 97:1709–1715, 2006.

GONÇALVES, A. L.; PIRES, J. C. M.; SIMÕES, M. Biotechnological potential of *Synechocystis salina* co-cultures with selected microalgae and cyanobacteria: Nutrients removal, biomass and lipid production. *Bioresource technology*, v. 200, p. 279–286, 2016.

LEE, Y.; LEI, Z. Microalgal-bacterial aggregates for wastewater treatment: a mini-review. *Bioresour Technol Rep*, v. 8, p. 100199, 2019.

LEONG, W.-H. et al. Third generation biofuels: A nutritional perspective in enhancing microbial lipid production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 91, p. 950–961, ago. 2018.

LOBO, E. E LEIGHTON, G. Estructurascomunitarias de lasfitocenosisplanctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista Biologia Marina y oceanografía.*, 22(1): 1-29, 1986.

MATA, T.M.; MARTINS, A.A.; CAETANO, N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 217- 232, 2010.

OH, H. et al. Harvesting of *Chlorella vulgaris* using a bioflocculant from *Paenibacillus* sp. AM49. p. 1229–1234, 2001.

SANTOS NETO, ANTÔNIO G. DOS et al. Strategy for the formation of microalgae-bacteria aggregates in high-rate algal ponds. *Environmental Technology*, 2021.

SHAHID, A., MALIK, S., ZHU, H., XU, J., NAWAZ, M.Z., NAWAZ, S., ALAM, MD.A., MEHMOOD, M.A., Cultivating microalgae in wastewater for biomass production, pollutant removal, and atmospheric carbon mitigation; review. *Environmental Technology*. 2019.

SNIS. (2022). Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – 2022. Disponível Em: <http://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/pmss/snis>.

UMMALYMA SB, GNANSOUNOU E, SUKUMARA RK, et al. Accepted manuscript bioflocculation: na alternative strategy for harvesting of microalgae -na over- view. *Bioresour Technol.* v. 242, p. 227-235, 2017.

WANG, H. et al. Effects of bacterial communities on biofuel-producing microalgae: stimulation, inhibition, and harvesting. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 36, p. 341-352, 2016.

XU, Y. et al. The role of starvation in biomass harvesting and lipid accumulation: Co-culture of microalgae–bacteria in synthetic wastewater. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 35, n. 1, p. 103-109, 2016.