

# AVALIAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS DO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Antônio Gustavo dos Santos Neto <sup>1</sup>

Josivaldo Rodrigues Sátiro <sup>2</sup>

Jucélia Tavares Ferreira <sup>3</sup>

Paulo Henrique da Silva <sup>4</sup>

Lourdinha Florencio <sup>5</sup>

## RESUMO

Atualmente, é necessário a realização do tratamento de esgoto de forma sustentável. Traçando como perspectiva do sistema de operação, além da remoção de carga orgânica, a geração de produtos com valor agregado no fim do tratamento, aumentando o ciclo de vida do processo. Os sistemas que utilizam microalga-bactéria, destacam-se por serem alternativas sustentáveis, menos onerosos e que resultam na produção de produtos com valor agregado. Nesta vertente, a biomassa decorrente do tratamento de esgoto doméstico além de remover nutrientes, produz o efluente com baixa turbidez. Ainda, quando as características de sedimentação da biomassa são satisfatórias, viabiliza a destinação para produtos com valor agregado, entre eles: biogás e biocombustíveis. Neste trabalho, utilizou-se três tipos de tratamentos para a avaliação da biomassa: (A) sistema com apenas lodos ativados, (B) sistema com a inserção da microalga *Chlorella vulgaris* e (C) sistema com agregado de microalgas e bactérias. O tempo de monitoramento do sistema de tratamento foram de 14 dias. Durante a operação foi observado o processo de remoção do nitrogênio amoniacal. Nos sistemas (A) e (C) a biomassa apresentou-se com uma melhor estabilidade e sedimentação, atingindo valores de eficiência de floculação acima dos 90%. Nos três sistemas não houve um crescimento expressivo da biomassa, isso pode estar relacionado a baixa concentração de carga orgânica do esgoto efluente. Nesta perspectiva, com a necessidade de obtenção de biomassa de qualidade, desafios futuros devem ser em torno da potencialidade de aplicação dos sistemas em escala plena.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis, Produto de valor agregado, Remoção de nutrientes, Sedimentabilidade, Tratamento de esgoto.

---

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [josivaldo.satiro@ufpe.br](mailto:josivaldo.satiro@ufpe.br);

<sup>2</sup> Mestrando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [antonio.gustavosantos@ufpe.br](mailto:antonio.gustavosantos@ufpe.br);

<sup>3</sup> Doutoranda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [ferreira.juceliat@gmail.com](mailto:ferreira.juceliat@gmail.com);

<sup>4</sup> Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, [paulohsilva24@gmail.com](mailto:paulohsilva24@gmail.com);

<sup>5</sup> Professora Doutora Titular do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, [flor@ufpe.br](mailto:flor@ufpe.br).

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, devido ao crescimento populacional e ao aumento no processo industrial, as atividades antrópicas e a poluição hídrica se intensificaram. Decorrente de um despejo inadequado de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, que acentuam as concentrações de nutrientes no meio (Chan et al., 2009; Gallardo-Altamirano et al., 2019). Visando diminuir os impactos gerados, a aplicação de processos biológicos para o tratamento de esgoto doméstico é amplamente utilizado no cenário mundial (Goli et al., 2019).

Os sistemas de tratamento buscam reduzir a concentração de nutrientes, matéria orgânica, metais pesados, dentre outros (Lang et al., 2019; Show & Lee, 2017). Neste sentido, investigam-se tecnologias que possibilitem a produção de biomassa de algas, visto que, sua eficiência já é consolidada para o tratamento de efluentes e remoção de nutrientes inorgânicos de águas residuais (Wang et al., 2015), o uso desta biomassa, ainda, possibilita a diminuição de emissão de gases do efeito estufa no meio ambiente (Besha et al., 2017).

As fontes de bioenergia são alternativas promissoras para o desenvolvimento sustentável (Medeiros et al., 2015). Com as previsões de esgotamento da matéria-prima e a acumulação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no ambiente, e, sob a perspectiva de diminuir os impactos ambientais negativos gerados pela utilização de combustíveis fósseis (Chisti, 2007; Sakarika & Kornaros, 2019), os biocombustíveis apontam-se como uma boa fonte de energia para utilização, e ainda, caracterizam-se com baixo custo na sua síntese (Singh et al., 2021). O emprego de biomassa gerada pelo tratamento de esgoto representam atualmente uma fonte promissora para a produção de diversos produtos de valor agregado, podendo ser eles combustíveis como o bioetanol, biogás e o biodiesel ou não combustíveis como rações, vitaminas, protetor ultravioleta, bioplástico e nanopartículas (Chandra et al., 2019).

Nesse contexto, a colheita da biomassa é aplicada para retê-las, produzindo um efluente com baixa turbidez. Entretanto, estudos relatam que o gasto da colheita da microalga está na faixa de 20 a 30% do valor total da produção, devido à baixa sedimentabilidade, tamanho pequeno e baixa densidade da biomassa algal (Abinandan & Shanthakumar, 2015; Nirmalakhandan et al., 2019), uma vez que a biomassa algal seca corresponde apenas uma faixa de 0,1 a 1,0% do peso da cultura (Gonçalves et al., 2017). Por estes fatores, a produção de biomassa de algas ainda sugere o desafio para redução de custos e o uso em grande escala (Assemany et al., 2015).

As técnicas mais empregadas são os métodos elétricos, mecânicos e químicos que são muitas vezes limitados e aumentam significativamente o custo operacional (Abinandan &

Shanthakumar, 2015; Álvarez-díaz et al., 2017). Uma alternativa de menor custo, é a biofloculação, que consiste em promover a aderência das algas à superfície de lodo floculento (Li et al., 2011) ou granular (D. Chandra et al., 2019; Ummalyima et al., 2017), formando agregados, sem adição de produtos químicos (Abinandan & Shanthakumar, 2015).

Com o intuito de desenvolver sistemas com excelentes performances no tratamento de esgoto, além de promover técnicas de colheitas de microalgas mais eficientes e menos onerosas, o consórcio granular microalga-bactéria vem sendo extensivamente estudado (Christenson & Sims, 2011; Mata et al., 2010). A biomassa algal pode ser bastante eficiente na produção de biocombustíveis (Wang et al., 2016). Nos últimos anos, existe uma crescente em estudos utilizando o tratamento com produção de biomassa de algas, podendo associá-las com bactérias na remoção de nutrientes de águas residuais (Wang et al., 2015). As cianobactérias, mais conhecidas como algas verdes-azuladas, têm capacidade para crescer em meio a efluentes residuais, podendo assim acumular composto bioativos intracelulares (Arias et al., 2019).

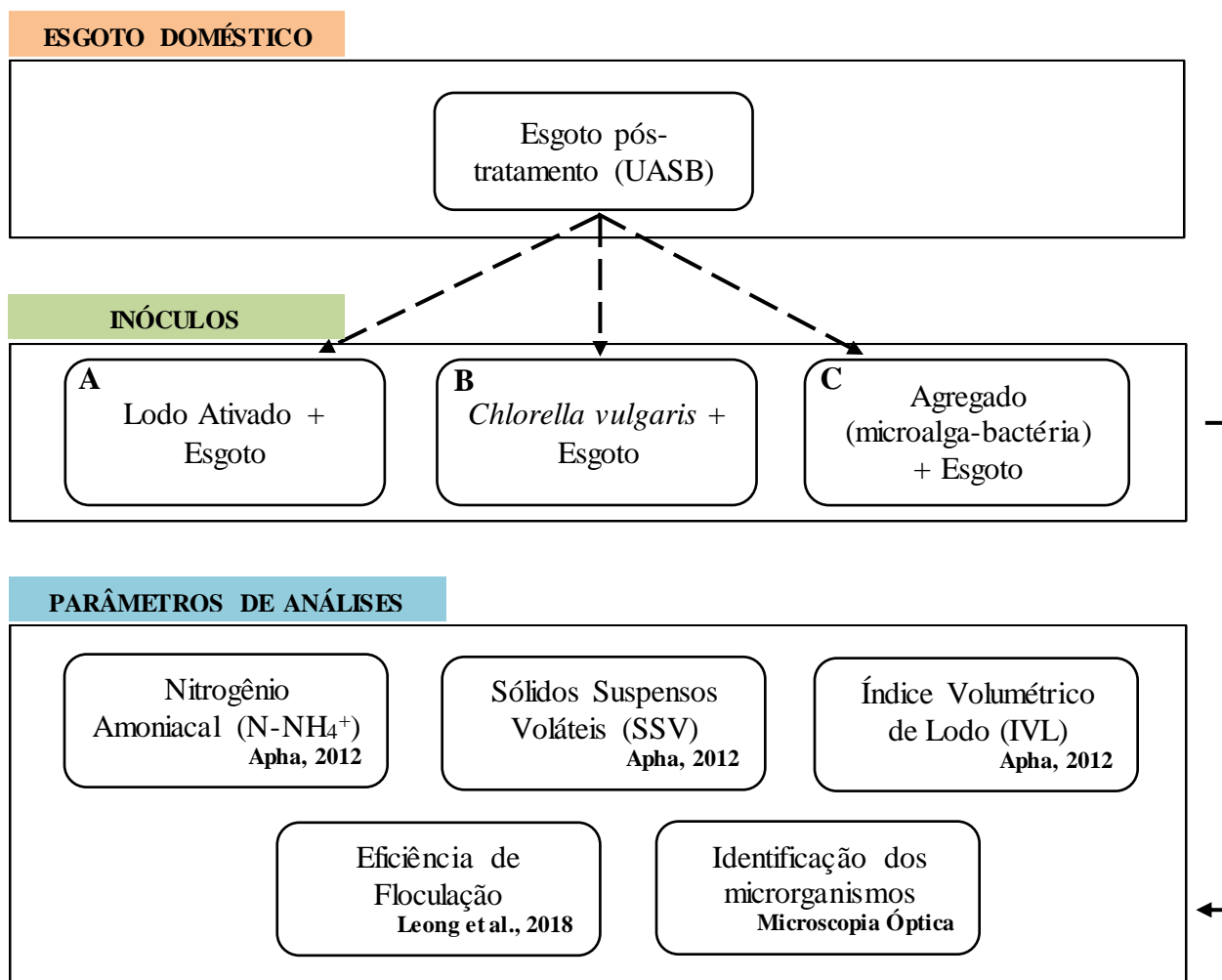
A produção de biocombustíveis a partir das microalgas depende das condições da recuperação de biomassa e das técnicas utilizadas de extração de óleo. Ademais, outras etapas são importantes para obtenção do biodiesel, são elas: cultivo, colheita, recuperação da biomassa, extração do óleo e enriquecimento. No processo de obtenção, fatores podem afetar a produção das microalgas e biocombustíveis, como luz solar, concentração de gás carbônico, temperatura, quantidade de nutrientes e salinidade (Ansari et al., 2017; Arenas et al., 2016).

Nesse contexto, o trabalho avaliou a capacidade de diferentes biomassas de tratar o esgoto doméstico como também sua sedimentabilidade, visando a produção de biocombustíveis foram elas: (a) lodo ativado, (b) aplicando a espécie de microalga *Chlorella vulgaris* e (c) um agregado de microalga-bactéria.

## **METODOLOGIA**

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), no Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), na cidade do Recife, no estado de Pernambuco, Brasil. O experimento foi estruturado em recipientes com volume útil de 500 mL e com agitação de 150 rpm. Com intuito de fornecer iluminação natural a operação decorreu das 6 às 18 horas, sem adição externa de fonte de dióxido de carbono. Toda a operação do sistema foi realizada em triplicata com uma concentração de biomassa de 0,2 gSSV.L<sup>-1</sup>. Uma visão geral das características das biomassas (A, B e C) utilizadas está apresentada na Figura 1 a seguir:

**Figura 1** – Fluxograma das características dos experimentos desenvolvidos



A obtenção dos lodos ativados foi proveniente de um tanque de aeração de uma estação de tratamento de esgotos em escala real e para aclimatação foram alimentados com o efluente do reator UASB durante 20 dias. Concomitantemente, a microalga *Chlorella vulgaris* foi lograda a partir do banco de culturas do Laboratório de Produção de Alimento Vivo (LAPAVI), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O agregado microalga-bactéria foi obtido a partir da aeração do efluente de uma lagoa de polimento cujo o fitoplâncton tinha a predominância da cianobactéria *Planktothrix sp.*

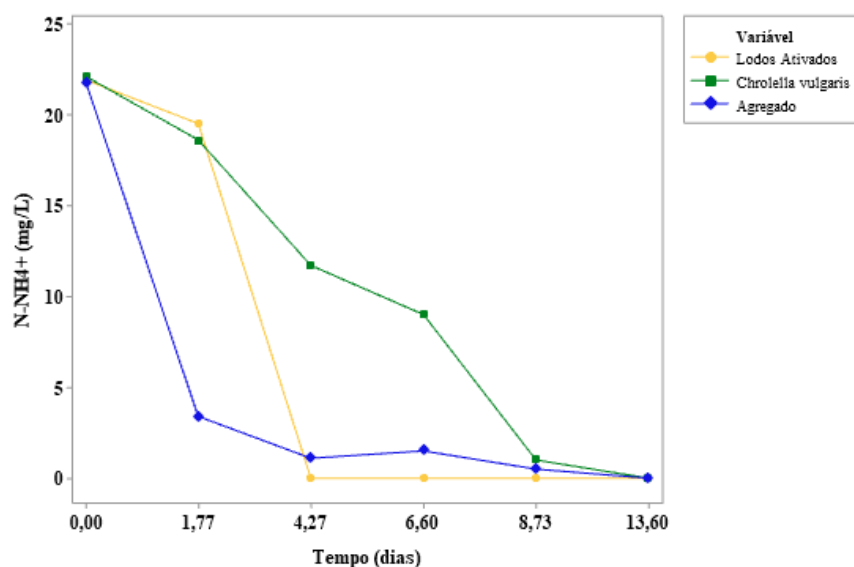
O esgoto utilizado nesse estudo foi proveniente de um reator UASB, com concentrações de DQO, nitrogênio amoniacal, ortofosfato e sólidos suspensos voláteis de respectivamente 171,6 mg.L<sup>-1</sup>, 22,2 mg.L<sup>-1</sup>, 2,6 mg.L<sup>-1</sup> e 106 mg.L<sup>-1</sup>. Por sua vez, o monitoramento experimental decorreu durante 14 dias e as coletas foram feitas nos tempos de 0, 1,77, 4,69, 6,6, 8,73 e 13,60 dias.

Para avaliação na capacidade de assimilação da biomassa na remoção de nutrientes, verificou-se a quantidade de nitrogênio amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) nos três reatores em escala de bancada, segundo os procedimentos descritos no *Standard Methods for Water and Wastewater* (APHA, 2012). Logo, para verificar as características e sedimentabilidade da biomassa foi analisado através dos parâmetros operacionais de sólidos suspensos voláteis (SSV), índice volumétrico do lodo ( $IVL_{30}$ ) e eficiência de floculação (% Floc). A análise de  $IVL_{30}$  e de SSV será realizada de acordo com APHA, 2012. A determinação da % Floc será realizada de acordo com Oh et al., 2001 e Leong et al., 2018.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de avaliar as condições e características da biomassa, se faz necessário avaliar a capacidade de remoção de nutrientes que estão presentes no esgoto doméstico como o nitrogênio na forma amoniacal ( $N-NH_4^+$ ). Na Figura 2 observa-se que até o fim do monitoramento do sistema, em todos os tratamentos, o nitrogênio amoniacal foi removido completamente do meio.

**Figura 2** – Variação da concentração de  $N-NH_4^+$  em função do tempo nos 3 tratamentos



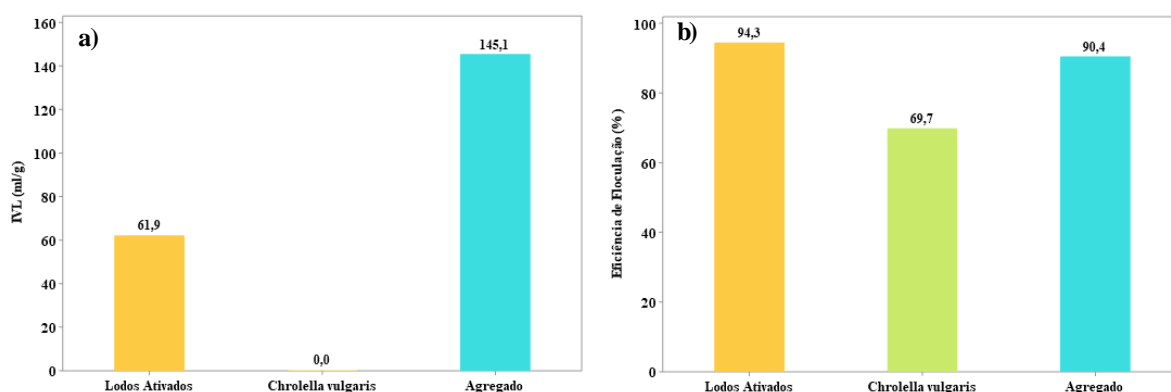
Os referidos resultados indicam que o tratamento com *Chlorella vulgaris* obteve uma remoção mais lenta, este fato pode ter ocorrido porque as microalgas levam um tempo maior para se adaptar ao meio. Após a aclimação, perto do dia dois de operação, a microalga inicia o processo de assimilação do  $N-NH_4^+$ , indicando sua capacidade de incorporação da massa de nitrogênio, que pode ser destinada para síntese de carboidratos, proteínas e lipídios. Segundo

Jia & Yuan, 2016 isto acontece pelo fato de não necessitar da reação redox e consumir menos energia, a assimilação do nitrogênio na sua forma amoniacal é apontada como a melhor via de remoção para as microalgas.

No tratamento utilizando o agregado de microalgas e bactérias obteve-se uma remoção aproximadamente de 84% de nitrogênio amoniacal aos 1,77 dias de operação do sistema. A taxa de remoção inicial para o supracitado agregado foi de  $10,4 \text{ mg.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , sendo superior aos demais tratamentos, este resultado pode ser indicativo da ocorrência de nitrificação e assimilação simultânea, como já apontado por Leong et al, 2018.

Em seguida, visando a avaliação da biomassa dos três tratamentos aplicados, na Figura 3a investigou-se o Índice Volumétrico de Lodo (IVL) e na Figura 3b a Eficiência de Flocculação (%). Estes parâmetros servem como indicativos para obtenção de uma colheita da biomassa mais efetiva e com maior aproveitamento para produção de produtos com a valor agregado, como os biocombustíveis. Tendo em vista, que nos dias atuais, o maior desafio para comercialização de biomassa advinda do tratamento de esgoto é a capacidade de sedimentabilidade da mesma, que pode possibilitar em uma colheita mais satisfatória e menos onerosa.

**Figura 3 – (a) Índice volumétrico de lodo dos 3 tratamentos; (b) Eficiência de flocculação da biomassa dos 3 tratamentos aplicados**



A partir da avaliação da Figura 3a observa-se que o experimento com *Chlorella vulgaris* não dispõe de uma biomassa com boa sedimentação, indica-se, portanto, que as características da parede celular e os fatores associados a natureza microscópica desta microalga influenciaram no processo de sedimentação. O reator operado apenas com lodos ativados obteve uma média final de IVL de  $61,9 \text{ ml.g}^{-1}$ , a relatada boa sedimentação é uma peculiaridade dos processos

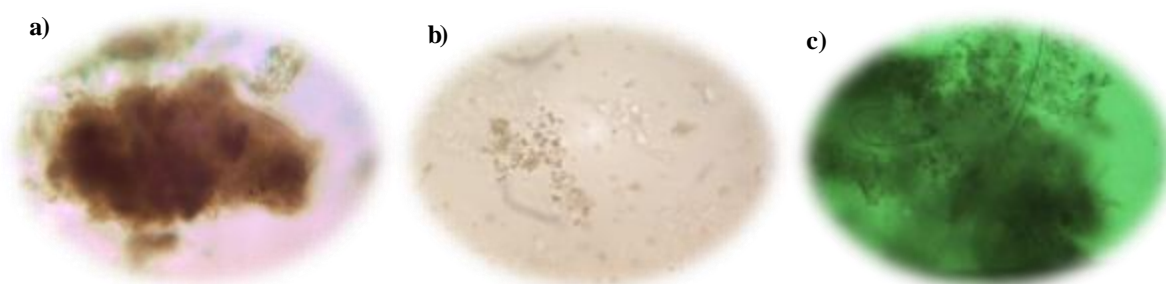


aeróbios de lodos ativados já reportado na literatura, que por sua vez, apresentam agregados microbianos mais estáveis possibilitando tamanhos maiores e mais densos dos grânulos.

Para o agregado, resultou em um IVL de  $145 \text{ ml.g}^{-1}$ . Neste caso, os resultados do agregado, indicam que o mecanismo de bioaglutimação da microalga com as bactérias, ajudam na separação da biomassa e do esgoto, permitindo uma boa sedimentação da biomassa. Em tempo, investigando a Figura 3b conclui-se que o sistema monitorado com apenas *Chlorella vulgaris* apresentou-se com uma menor eficiência de floculação (69,7%), quando comparado aos sistemas operados com apenas lodos ativados (94,3%) e o agregado microalga-bactéria (90,4%). Estes resultados corroboram com o indicativo que a tecnologia utilizando agregado microalga-bactéria apontam no cenário atual com boas condições de sedimentabilidade da biomassa, sendo uma condicionante primordial para a melhoria na colheita da biomassa que possibilitará na produção lipídica.

Ratificando a performance dos sistemas em torno da sedimentação e da colheita da biomassa, a Figura 4 (a, b e c) demonstra imagens microscópicas com ampliação de 100x, apresentando o desenvolvimento das biomassas formadas nos três sistemas operados. Observa-se uma biomassa floculenta e presença da microalga esférica. É importante salientar, na Figura 4c a presença de microalgas filamentosas, que, auxiliam na agregação e estabilidade na formação do consórcio microalga e bactéria. Assim como reportado por Xu e Wang, 2016 este processo de granulação acontece em quatro etapas: iniciação, maturação, manutenção e desintegração.

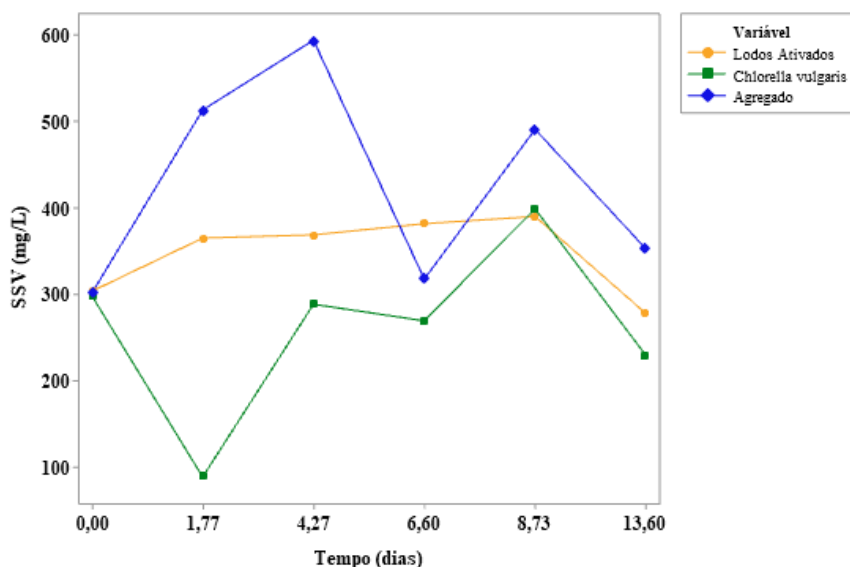
**Figura 4** – Observações microscópicas com ampliação de 100x dos sistemas após o 14º dia de operação: (a) Lodos ativados; (b) *Chlorella vulgaris*; (c) Agregado



Por fim, para apreciação da dinâmica da biomassa obtida nos sistemas, avaliou-se o parâmetro de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), porém não houve um crescimento expressivo nos três reatores, isso pode ser fundamentado pela baixa carga orgânica do esgoto afluente

empregado no sistema. Na Figura 5 será apresentada as condições da biomassa ao longo dos 14 dias de experimento.

**Figura 5** – Variação da concentração de SSV em função do tempo nos 3 tratamentos



Avaliando os resultados mais satisfatórios em relação ao SSV, pode-se destacar o crescimento da biomassa no tratamento que utilizou o agregado de lodos ativados com microalgas, onde nos 4,27 dias alcançou-se  $594,17 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos em sua biomassa. Este pode ser mais um fator indicativo da satisfatória interação da tecnologia utilizando microalgas e bactérias, que dispõe de biomassa mais estável e sedimentável, possibilitando uma melhor colheita, extração lipídica e produção de óleos com potencial emprego para biocombustíveis.

Em seguida, a partir do oitavo dia de operação houve uma queda brusca nas concentrações da biomassa nos três sistemas, este fato é explicado pelos autores Sun et al., 2019 que quando não é mais possível assimilar os nutrientes presentes no meio, é provável que ocorra a lise celular, que causa a destruição da célula causada pela rotura da membrana plasmática.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando a remoção de nutrientes, mais especificamente, o nitrogênio amoniacal observou-se que no sistema com *Chlorella vulgaris* houve uma remoção mais lenta, tendo em vista que as microalgas levam um tempo maior para se adaptar ao meio. O sistema mais eficaz para remoção de  $\text{N-NH}_4^+$  foi com o agregado microalga-bactéria, onde alcançou uma remoção de 84% deste nutriente, este resultado é indicativo da ocorrência de nitrificação e assimilação simultânea. Não ocorreu crescimento significativo da biomassa para nenhuma das condições aplicadas. O



sistema com agregado obteve resultados satisfatórios em relação a eficiência de floculação (90,4%) e de IVL ( $145 \text{ ml.g}^{-1}$ ), este pode ser mais um fator indicativo da satisfatória interação da tecnologia utilizando microalgas e bactérias, que dispõe de biomassa mais estável e sedimentável. A boa performance e estabilidade do tratamento da biomassa que utilizou o agregado microalga-bactéria, indica características promissoras para obtenção da colheita da biomassa, e, perspectivas positivas para extração dos lipídios e produção de biocombustíveis. Para os próximos estudos, indica-se além da produção de biomassa com boa sedimentação, a realização de análises das componentes da biomassa como os lipídios, carboidratos e proteínas.

## AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto - INCT ETEs Sustentáveis. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG. Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE. Companhia Pernambuco de Saneamento - COMPESA. BRK Ambiental. Fibra Técnica - Engenharia e Saneamento.

## REFERÊNCIAS

- Abinandan, S., & Shanthakumar, S. (2015). Challenges and opportunities in application of microalgae (Chlorophyta) for wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 123–132.
- Álvarez-díaz, P. D., Ruiz, J., Arbib, Z., Barragán, J., Garrido-pérez, M. C., & Perales, J. A. (2017). Freshwater microalgae selection for simultaneous wastewater nutrient removal and lipid production. *Algal Research*.
- Ansari, F. A., Shriwastav, A., Gupta, S. K., Rawat, I., & Bux, F. (2017). *Exploration of microalgae biorefinery by optimizing sequential extraction of major metabolites from Scenedesmus obliquus* Exploration of microalgae biorefinery by optimizing sequential extraction of major metabolites from Scenedesmus obliquus Institute for.
- APHA, AWWA, and WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th ed. Baltimore: Port City Press, 2012.
- Arenas, E. G., Palacio, M. C. R., Juantorena, A. U., & Fernando, S. E. L. (2016). *Microalgae as a potential source for biodiesel production : techniques , methods , and other challenges*.
- Arias, D. M., Rueda, E., García-Galán, M. J., Uggetti, E., & García, J. (2019). Selection of cyanobacteria over green algae in a photo-sequencing batch bioreactor fed with wastewater. *Science of the Total Environment*, 653, 485–495.

Assemany, P. P., Calijuri, M. L., Do Couto, E. D. A., Santiago, A. F., & Dos Reis, A. J. D. (2015). Biodiesel from wastewater: Lipid production in high rate algal pond receiving disinfected effluent. *Water Science and Technology*, 71(8), 1229–1234.

Besha, A. T., Gebreyohannes, A. Y., Tufa, R. A., Bekele, D. N., Curcio, E., & Giorno, L. (2017). 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*, 5(3), 2395–2414.

Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(1–2), 1–18.

Chandra, D., Srivastava, R., Gupta, V. V. S. R., Franco, C. M. M., Paasricha, N., Saifi, S. K., Tuteja, N., & Sharma, A. K. (2019). Field performance of bacterial inoculants to alleviate water stress effects in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, 261–281.

Chandra, R., Iqbal, H. M. N., Vishal, G., Lee, H. S., & Nagra, S. (2019). Algal biorefinery: A sustainable approach to valorize algal-based biomass towards multiple product recovery. *Bioresource Technology*, 278, 346–359.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306.

Christenson, L., & Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29(6), 686–702.

Gallardo-Altamirano, M. J., Maza-Márquez, P., Montemurro, N., Rodelas, B., Osorio, F., & Pozo, C. (2019). Linking microbial diversity and population dynamics to the removal efficiency of pharmaceutically active compounds (PhACs) in an anaerobic/anoxic/aerobic (A2O) system. *Chemosphere*, 233, 828–842.

Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhosani, A., Sanaye, R., & Azizi, K. (2019). A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 6(1), 113–141.

Gonçalves, A. L., Pires, J. C. M., & Simões, M. (2017). A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. *Algal Research*, 24, 403–415.

Lang, X., Li, Q., Xu, Y., Ji, M., Yan, G., & Guo, S. (2019). Aerobic denitrifiers with petroleum metabolizing ability isolated from caprolactam sewage treatment pool. *Bioresource Technology*, 290(May), 121719.

Leong, W. H., Lim, J. W., Lam, M. K., Uemura, Y., Ho, C. D., & Ho, Y. C. (2018). Co-cultivation of activated sludge and microalgae for the simultaneous enhancements of nitrogen-rich wastewater bioremediation and lipid production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 87, 216–224.

Li, Y., Chen, Y. F., Chen, P., Min, M., Zhou, W., Martinez, B., Zhu, J., & Ruan, R. (2011). Characterization of a microalga *Chlorella* sp. well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. *Bioresource Technology*, 102(8),

5138–5144.

Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217–232.

Medeiros, D. L., Sales, E. A., & Kiperstok, A. (2015). Energy production from microalgae biomass: Carbon footprint and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, 96, 493–500.

Nirmalakhandan, N., Selvaratnam, T., Tchinda, D., Abeysiriwardana-arachchige, I. S. A., Delanka-pedige, H. M. K., & Munasinghe-arachchige, S. P. (2019). *Algal wastewater treatment : Photoautotrophic vs . mixotrophic processes*. 41(March).

Oh, H., Lee, S. J., Park, M., Kim, H., Kim, H., Yoon, J., Kwon, G., & Yoon, B. (2001). *Harvesting of Chlorella vulgaris using a bioflocculant from Paenibacillus sp . AM49*. 1229–1234.

Sakarika, M., & Kornaros, M. (2019). Chlorella vulgaris as a green biofuel factory: Comparison between biodiesel, biogas and combustible biomass production. *Bioresource Technology*, 273, 237–243.

Singh, A. R., Singh, S. K., Jain, Siddharth. (2021). A review on bioenergy and biofuel production. *Materials today: proceedings*.

Show, K., & Lee, D. (2017). 8 - Anaerobic Treatment Versus Aerobic Treatment. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier B.V.

Ummalyma, S. B., Gnansounou, E., Sukumaran, R. K., Sindhu, R., Pandey, A., & Sahoo, D. (2017). Bioflocculation: An alternative strategy for harvesting of microalgae – An overview. *Bioresource Technology*, 242, 227–235.

Wang, Y., Guo, W., Yen, H. W., Ho, S. H., Lo, Y. C., Cheng, C. L., Ren, N., & Chang, J. S. (2015). Cultivation of Chlorella vulgaris JSC-6 with swine wastewater for simultaneous nutrient/COD removal and carbohydrate production. *Bioresource Technology*, 198, 619–625.

Wang, Y., Ho, S. H., Cheng, C. L., Guo, W. Q., Nagarajan, D., Ren, N. Q., Lee, D. J., & Chang, J. S. (2016). Perspectives on the feasibility of using microalgae for industrial wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 222, 485–497.