

Avaliação do crescimento de *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp em efluente doméstico tratado

Evaluation of Scenedesmus sp and Chlorella sp growth in treated domestic effluent

• **Data de entrada:**

07/08/2019

• **Data de aprovação:**

12/08/2021

Rafaela Seara Santos¹ | Andreza Pereira Mendonça² | Ana Lúcia Denardin da Rosa¹ | Wanderley Rodrigues Bastos¹ | Elisabete Lourdes do Nascimento^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.067>

ORCID ID

Santos RS  <https://orcid.org/0000-0002-8006-1166>

Mendonça AP  <https://orcid.org/0000-0001-7252-715X>

Rosa ALD da  <https://orcid.org/0000-0003-0470-5115>

Bastos WR  <https://orcid.org/0000-0002-2105-9947>

Nascimento EL  <https://orcid.org/0000-0003-2157-6415>

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de efluente doméstico tratado para o crescimento de *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp e o potencial dessas microalgas para a remoção de nutrientes. Os efluentes foram coletados em maio (experimento com *Scenedesmus* sp) e setembro de 2016 (experimento com *Chlorella* sp). Diluiu-se o efluente com água destilada em concentrações de 25% e 50%, e houve um tratamento sem diluição. No controle utilizou-se meio ASM-1. O experimento durou 15 dias, e a cada três dias foram realizadas análises de nutrientes, densidade de microlagas, pH e temperatura. O maior aumento na densidade foi obtido no T100%. Houve a redução dos teores dos nutrientes para as duas microalgas testadas. No T25%, para a *Scenedesmus* sp a redução foi de 81,3% para amônia e 44% para o fósforo. Já para a *Chlorella* sp a remoção de amônia foi de 70% e a de fósforo de 60%. O efluente foi eficiente para o crescimento das cepas e paralelamente reduziu as concentrações de nutrientes.

Palavras-chave: Microalga. Crescimento. Remoção de nutrientes.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the use of treated domestic effluent for the growth of *Scenedesmus* sp and *Chlorella* sp and the potential of these microalgae for the removal of nutrients. The effluents were collected in May (experiment with *Scenedesmus* sp) and September 2016 (experiment with *Chlorella* sp). The effluent was diluted with distilled water at concentrations of 25% and 50%. One of treatments were maintained without dilution and ASM1 culture medium was used as a control. The experiment lasted 15 days, and every three days, analysis of nutrients, microalgae density, pH and temperature were performed. The greatest increase in density was obtained at T100%. There was a reduction in the levels of nutrients for the two microalgae tested. At T25%, for *Scenedesmus* sp the reduction was 81.3% for ammonia and 44% for phosphorus. For *Chlorella* sp, the removal of ammonia was 70% and that of phosphorus was 60%. The effluent was efficient for the growth of the strains and at the same time reduced the concentrations of nutrients.

Keywords: Microalgae. Growth. Nutrient removal.

¹ Universidade Federal de Rondônia - Porto Velho - Rondônia - Brasil.

² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia - Porto Velho - Rondônia - Brasil.

* **Autora correspondente:** elisabetenasascimento@unir.br.

1 INTRODUÇÃO

O mundo, em meio à problemática de caráter ambiental, sofre com a exploração intensa de seus recursos naturais, tendo em vista a satisfação de interesses econômicos e, ainda, aos índices de consumo da sociedade. Como consequência, esse aumento gradativo da demanda por recursos naturais tem gerado, cada vez mais, uma grande quantidade de resíduos, tornando esses recursos muitas vezes escassos pelo fato de frequentemente encontrarem-se poluídos e degradados.

Diante desse cenário, busca-se estabelecer uma ligação entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental, desenvolvendo-se novos produtos, novas alternativas de processos e técnicas eficientes no combate e mitigação da poluição (Pena et al., 2017). Sendo assim, os processos biológicos surgem como uma possibilidade interessante no combate à poluição e na geração de novos produtos, visto que esses processos utilizam o metabolismo microbiano para degradar e remover poluentes, gerando produtos menos nocivos ao meio ambiente, como relatado por Schimitz et al., 2012. Podem ser utilizados microrganismos como bactérias, fungos e microalgas.

A biomassa das microalgas possui um excelente potencial biotecnológico, devido às inúmeras aplicações nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas, além da obtenção de biocombustíveis. Para a produção de biomassa de microalgas a baixo custo, é crucial o aprimoramento de um sistema menos oneroso. Entre os fatores que mais encarecem o cultivo de microalgas está o meio de cultura sintético.

Uma opção economicamente viável, que atualmente tem sido discutida, é o aproveitamento de efluentes industriais ou domésticos como meio de cultura alternativo, pois os efluentes têm uma elevada carga de nutrientes para o cultivo de microalgas (AZEREDO, 2012; CARDOSO et al., 2011; COSTA, 2018; GUPTA et al., 2016, LABBÉ

et al., 2017, NEVES et al., 2013; OLIVEIRA, 2013; OLIVEIRA et al., 2018, NI et al., 2018; SCHMITZ et al., 2012).

Além da produção de biomassa, que pode ter diferentes fins biotecnológicos, as microalgas oferecem uma solução eficaz para tratamento de efluentes sanitários, devido a sua capacidade absorverem nutrientes (nitrogênio e fósforo). Estudos com esta temática têm sido cada vez mais frequentes (ANTÔNIO et al., 2013; CAI et al., 2013; CAVALCANTI et al., 2014; CHRISTENSON e SIMS, 2013; MATA et al. 2010, 2016; PIRES et al., 2018; SILVA, 2014; PENA et al., 2017; ZHOU, 2014).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de efluente doméstico tratado sob o crescimento das espécies *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp. Paralelamente, avaliar o potencial para remoção de nutrientes do efluente por essas espécies.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de efluente doméstico utilizadas para o desenvolvimento do experimento foram coletadas na lagoa facultativa pertencente ao Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Cacoal no Estado de Rondônia nos meses de maio e setembro de 2016. Esta lagoa foi selecionada pois foi verificado em ensaios preliminares que a mesma apresentava elevadas concentrações de nutrientes, os quais são essenciais para o crescimento das microalgas. Além disso, é a última lagoa de tratamento antes do lançamento do esgoto no corpo hídrico receptor, desejando-se assim verificar o potencial de remoção de nutrientes pelas cepas de microalgas testadas.

Após cada coleta, as amostras de efluente eram mantidas resfriadas e transportadas ao Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM, do

Departamento de Engenharia Ambiental-DEA, da Fundação Universidade Federal de Rondônia-UNIR, campus de Ji-paraná. No laboratório as análises dos nutrientes dissolvidos (amônia e fósforo) foram realizadas por técnicas espectrofotométricas, como descrito em APHA (2012). *In loco*, também foram medidas as variáveis, temperatura e pH (pHmetro portátil, LT Lutron PH-221), condutividade elétrica-CE (condutivímetro portátil, EC 300). Inicialmente o objetivo do trabalho era submeter as duas cepas (*Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp) ao crescimento no efluente coletado no mês de maio e posteriormente submeter as duas cepas ao efluente coletado no mês de setembro de 2016. Entretanto, na coleta de maio, a cepa de *Chlorella* sp não se encontrava apta a ser utilizada, e na coleta de setembro houve problemas com a cepa *Scenedesmus* sp. Por essa razão, a cepa de *Scenedesmus* foi exposta ao efluente de maio e a cepa de *Chlorella* sp foi exposta ao efluente de setembro de 2016.

As cepas foram gentilmente cedidas pelo Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias (LETC), do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As cepas, são mantidas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM/UNIR. A manutenção ocorre em meio de cultura ASM-1 (GORHAN, 1964). Para o experimento foram utilizados inóculos que se encontravam na fase exponencial de crescimento. O monitoramento do crescimento das cepas antes e durante o experimento foi realizado a partir de leituras de absorvâncias a 750nm em espectrofotômetro (LAB 1000).

A montagem do experimento e a porcentagem de diluição do efluente foram baseadas em literatura (NEVES et al., 2014; OLIVEIRA, 2013; ROTERMUND, 2015; SILVA 2014). Assim, foram preparadas soluções, em que o efluente doméstico foi diluído em água destilada nas porcenta-

gens de 25% e 50%. Também optou-se por um tratamento sem diluição (100%).

Posteriormente as misturas de água destilada e efluente foram autoclavadas por 30 minutos, e após o completo resfriamento das mesmas, foram adicionados em cada tratamento 150mL de inóculo na fase exponencial (efluente maio/2016 para *Scenedesmus* e efluente setembro/2016 para *Chlorella* sp), totalizando um volume final de 3.000mL. Os experimentos foram realizados em balões de fundo chato de 5.000mL. Os experimentos também foram acompanhados por um controle contendo meio de cultura ASM-1.

Os experimentos ocorreram em triplicata, com fotoperíodo de 12 horas, temperatura ambiente entre 23±3°C e intensidade luminosa de aproximadamente 160μmol.fótons.m².s⁻¹. Cada experimento teve a duração de 15 dias. A cada 3 dias, iniciando do T0, foram retiradas amostras de cultura para as análises de biomassa e nutrientes. A cada amostragem foram medidos os valores de pH e temperatura.

A temperatura e o pH foram medidos por meio do uso de sonda multiparâmetros de bancada (HANNA HI 3512) e o crescimento das microlagas foi medido por meio de leituras em espectrofotômetro (marca LAB 1000) à absorvância à 750nm. No caso dos nutrientes, amônia (N-NH₃+NH₄⁺) e fósforo dissolvido (PO₄⁻³) foi realizada espectrofotometria, como descrito em APHA (2012).

As análises estatísticas dos resultados foram obtidas pelos programas Microsoft Office Excel 2010 e o Action 2.8 da Estatcamp, em que foi assumido um p-valor = 0,05.

3 RESULTADO E DISCUSSÕES

As características físicas e químicas dos efluentes coletados encontram-se nas Tabelas 1 e 2,

em que as diferenças entre os efluentes utilizados no cultivo das microalgas são devidas a fatores como: (I) a variação sazonal; (II) a vazão

do efluente; (III) a operação do sistema de tratamento; (IV), bem como às características do próprio efluente.

Tabela 1 - Características físico-químicas da Lagoa Facultativa (maio/2016).

pH	T° (°C)	CE (µSm.cm ⁻¹)	Amônia NH ₃ +NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	Fósforo dissolvido PO ₄ ⁻³ (mg.L ⁻¹)
9,18	29,1	810	17,46	1,05

Tabela 2 - Características físico-químicas da Lagoa Facultativa (setembro/2016).

pH	T° (°C)	CE (µSm.cm ⁻¹)	Amônia NH ₃ +NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	Fósforo dissolvido PO ₄ ⁻³ (mg.L ⁻¹)
8,34	34,3	1300	20,03	4,77

Nas Fig. 1 e 2 estão apresentados os perfis de crescimento da *Scenedesmus* sp (efluente maio/2016) e *Chlorella* sp (efluente

setembro/2016), respectivamente, no controle e nos diferentes tratamentos ao longo do experimento.

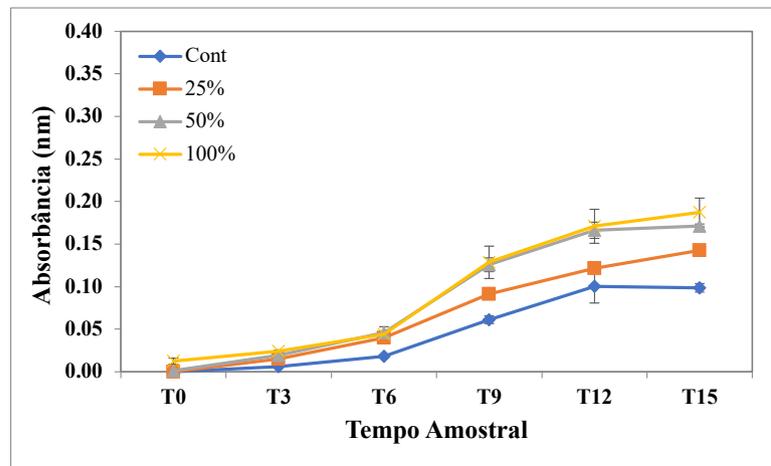


Figura 1 - Crescimento da *Scenedesmus* sp (efluente maio/2016).

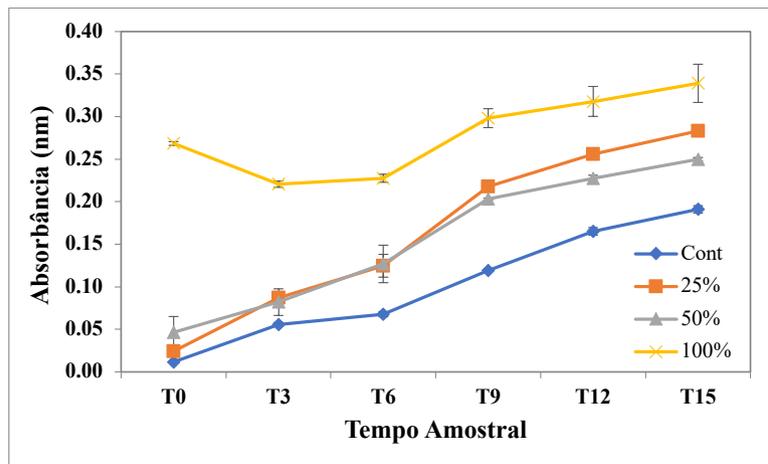


Figura 2 - Crescimento da *Chlorella* sp (efluente setembro/2016).

Observou-se que para os dois experimentos, logo nos primeiros dias (T0 e T3) os valores de absorvância foram menores quando comparados aos dias de experimento que se sucederam. Exceção apenas para o experimento com *Chlorella* sp para o tratamento 100%. Como colocado por Russo (2011), isto decorre por ser uma fase em que as microalgas passam a sintetizar as moléculas essenciais ao seu crescimento (proteínas e enzimas) e absorverem nutrientes.

No cultivo com *Scenedesmus* sp, Fig. 1, a partir do T6 foi possível observar claramente a fase exponencial (*log*), em todos os tratamentos e também no controle. Na fase exponencial, as células das microalgas iniciam sua divisão celular devido à grande disponibilidade de nutrientes, fase essa de maior metabolismo. Para os tratamentos 25%, 50% e 100% essa fase foi observada até o último dia do experimento (T15). Já para o controle, foi observada até o T12.

Também se verificou que no cultivo com *Scenedesmus* sp houve uma diferença estatística significativa entre o controle e os demais tratamentos em todo o período amostral (p -valor < 0,05). Já os tratamentos 50% e 100% apresentaram crescimento estatisticamente semelhante a partir do T6 (p -valor > 0,05). Ao término do experimento foi possível constatar que a *Scenedesmus* sp apresentou crescimento maior que o controle, certamente em razão da maior oferta de amônia e fósforo.

Quanto ao perfil do crescimento de *Chlorella* sp (Fig. 2), a fase *lag* teve a duração de aproximadamente três dias. A partir do T3 foi possível observar claramente a fase exponencial para os tratamentos 25% e 50% e para o controle. O tratamento 100% apresentou valores de absorvância mais elevados desde a montagem do experimento (T0), e se manteve com uma absorvância maior até o final do experimento (T15). Baseados nos dados mais elevados de condutividade

elétrica obtidos no efluente coletado em setembro/2016 utilizado no experimento com a *Chlorella* sp ($1300\mu\text{Sm}\cdot\text{cm}^{-1}$), acredita-se que a elevada concentração de substância presentes tenha contribuído para maiores valores de absorvância obtidos no T0 e T3, em virtude de se tratar de efluente bruto.

Com relação aos valores de absorvância encontrados nos tratamentos 25% e 50%, é possível que tais substâncias também tenham exercido alguma interferência. No entanto, atribuiu-se as maiores densidades celulares encontradas no experimento com a *Chlorella* sp às maiores concentrações de fósforo presentes no efluente coletado em setembro/2016 ($4,77\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) em relação ao encontrado em maio/2016 no efluente utilizado no experimento com a *Scenedesmus* sp ($1,054,77\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). O fósforo é um nutriente muito importante para as microalgas, de forma que muitas espécies tendem a absorver o fósforo do meio e estocá-lo em grânulos de fosfato, atuando com uma reserva de fósforo intracelular (Reynolds, 2006; Madigan et al, 2010).

No cultivo de *Chlorella* sp, constatou-se nos testes estatísticos que houve uma diferença significativa entre o controle e os demais tratamentos em todo o período amostral (p -valor < 0,05). Entretanto, os tratamentos 25% e 50% tiveram valores semelhantes para o crescimento nos dias 3 e 6 (p -valor > 0,05).

De forma geral, estudos que avaliam o potencial de efluentes domésticos e industriais como meio de cultura alternativo para o crescimento de microalgas têm apresentado resultados satisfatórios. A adaptação das microalgas às novas condições de cultivo estará relacionada a espécies testadas, às características dos efluentes e às diluições realizadas. Vieira et al. (2014) observaram bom crescimento das espécies *Chlorella* sp ao adicionarem ao meio de cultura uma proporção de 10% de vinhaça. Em concen-

trações de 15%, 20% e 25% não foi verificada adaptação das microalgas a este resíduo líquido da indústria sucroalcooleiras. Lúcio (2013), avaliando o crescimento de *Chlorella vulgaris* e *Desmodemus* sp, em efluente doméstico tratado, verificou que dentre as microalgas testadas, a *Chlorella vulgaris* apresentou maior densidade de células após 14 dias de experimento, bem como teve as maiores taxas de remoção de fósforo, nitrato e amônia do meio.

Silva (2018) cultivou *Scenedesmus subspicatus* com diferentes diluições de efluente avícola. As melhores condições de crescimento ocorreram na diluição 50% ou sem diluição, como os resultados encontrados nesta pesquisa para o experimento com a *Scenedesmus* sp.

Quando comparou-se o perfil do crescimento de *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp, notou-se que os valores de absorvância para *Chlorella* sp foram superiores desde o início do experimento. Acredita-se que tal resultado é decorrente de dois fatos. O primeiro é que o efluente doméstico tratado, mesmo após autoclavagem, apresentava níveis altos de materiais dissolvidos e particulados, e esses materiais poderiam ter apresentado

algum nível de interferência nas medidas de absorvância. Resultado semelhante foi encontrado por TREVISAN et al. (2014) ao cultivar *Chlorella vulgaris* em efluente doméstico. O segundo fator está relacionado ao fato de se tratar de duas espécies de microalgas distintas, que por consequência apresentam taxas de crescimento e taxas de assimilação de nutrientes do meio diferentes.

Esteves (2011) enfatiza que o pH e as comunidades vegetais apresentam uma estreita interdependência. Esse fenômeno ocorre na medida em que as comunidades aquáticas interferem no pH, assim como o pH interfere de diferentes maneiras no metabolismo dessas comunidades. Sobre as comunidades, o pH atua diretamente nos processos de permeabilidade da membrana celular, interferindo, portanto, no transporte iônico intra e extracelular e entre os organismos e o meio. As comunidades podem interferir nos valores de pH de diferentes maneiras, como por meio da assimilação de CO₂ durante o processo fotossintético que pode elevar o pH.

Assim o pH foi monitorado durante o experimento nos diferentes tratamentos e no controle, e os resultados são apresentados nas Fig. 3 e 4.

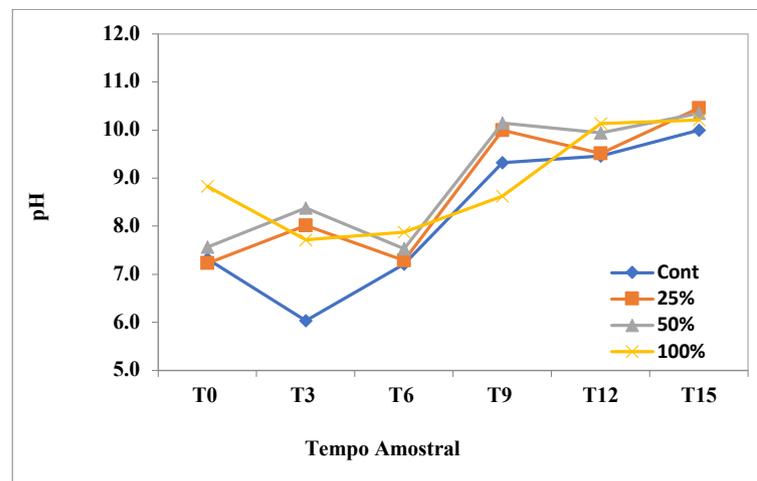


Figura 3 - Valores de pH no experimento com *Scenedesmus* sp.

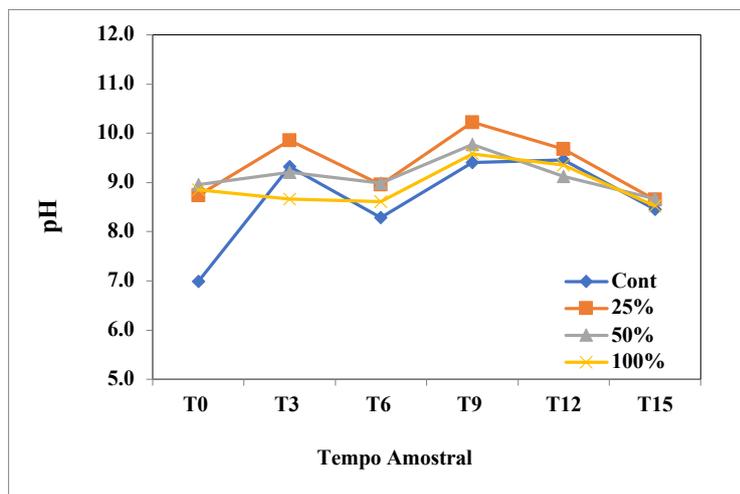


Figura 4 - Valores de pH no experimento com *Chlorella* sp.

No experimento com *Scenedesmus* sp (Fig. 3), o menor valor de pH foi registrado no T3 (6,0) do controle, caracterizado como levemente ácido. Neste tempo amostral, os tratamentos 25%, 50% e 100% encontravam-se alcalinos, 8,0, 8,4 e 7,6, respectivamente. Apenas a partir do 9º dia amostral foi observado meio alcalino no controle, com média 9,3. Dessa forma, do T9 até o término do experimento (T15), tanto o controle como os tratamentos estavam alcalinos.

Por meio da Fig. 4, observa-se a variação do pH durante o período amostral no experimento com a *Chlorella* sp, no qual se observou comportamento semelhante ao experimento com a *Scenedesmus* sp. O menor valor encontrado durante todo o experimento foi registrado no primeiro dia no controle (6,9) e o maior valor, 10,2, registrado no T9 no tratamento 25%. No primeiro dia (T0, controle), quando foi encontrado o menor valor de pH, é importante frisar que os tratamentos 25%, 50% e 100% já estavam alcalinos, tendo valores iguais a 8,7, 8,9 e 8,8, respectivamente. Logo, desde o T3 até o término do experimento foi observado que o meio permaneceu alcalino.

Ao comparar os dados de crescimento celular de *Scenedesmus* sp (Fig. 1) e *Chlorella* sp (Fig. 2) com

os dados de pH (Fig. 5 e 6, respectivamente), observa-se que o aumento do pH ocorreu paralelamente ao crescimento das microalgas. Esteves (2011) enfatiza que, em casos de elevado crescimento algal, o pH do meio pode ser elevado a valores próximos a 11. Isso ocorre em função do elevado consumo de CO_2 , provocando o consumo de bicarbonato e a liberação de OH^- no meio.

Rossi (2013), ao cultivar *Desmodesmus* sp e *Scenedesmus* sp em efluente doméstico por 20 dias, verificou que o maior número de células ocorreu entre pH 9,2 e 11,2 e menores densidades celulares foram observadas no pH 6,2.

Os elementos mais importantes para o crescimento das microalgas incluem o carbono, o nitrogênio e o fósforo (PRANDINI, 2016). O nitrogênio é um nutriente muito importante para a produção de biomassa, sendo essencial em muitos componentes celulares. A amônia é considerada a forma preferencial de nitrogênio assimilado pelas microalgas (Zhou, 2014). Assim a Fig. 5 apresenta os resultados de amônia encontrados no experimento realizado com a cepa de *Scenedesmus* sp e a Fig. 6 apresenta os resultados para o experimento realizado com a *Chlorella* sp.

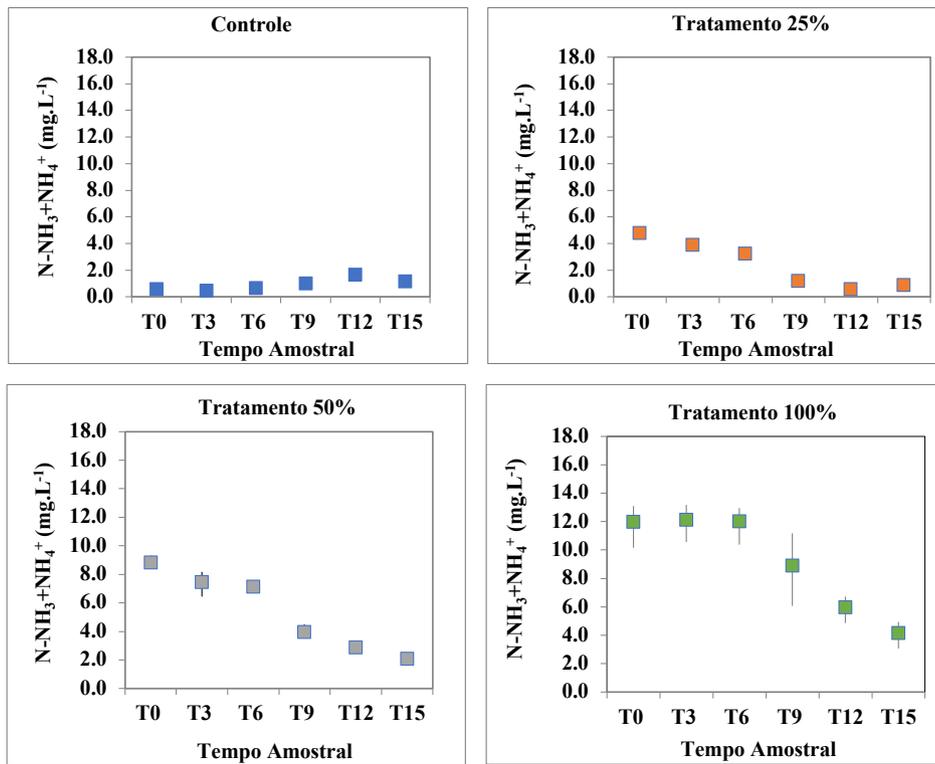


Figura 5 - Concentração de Amônia no experimento com *Scenedesmus* sp.

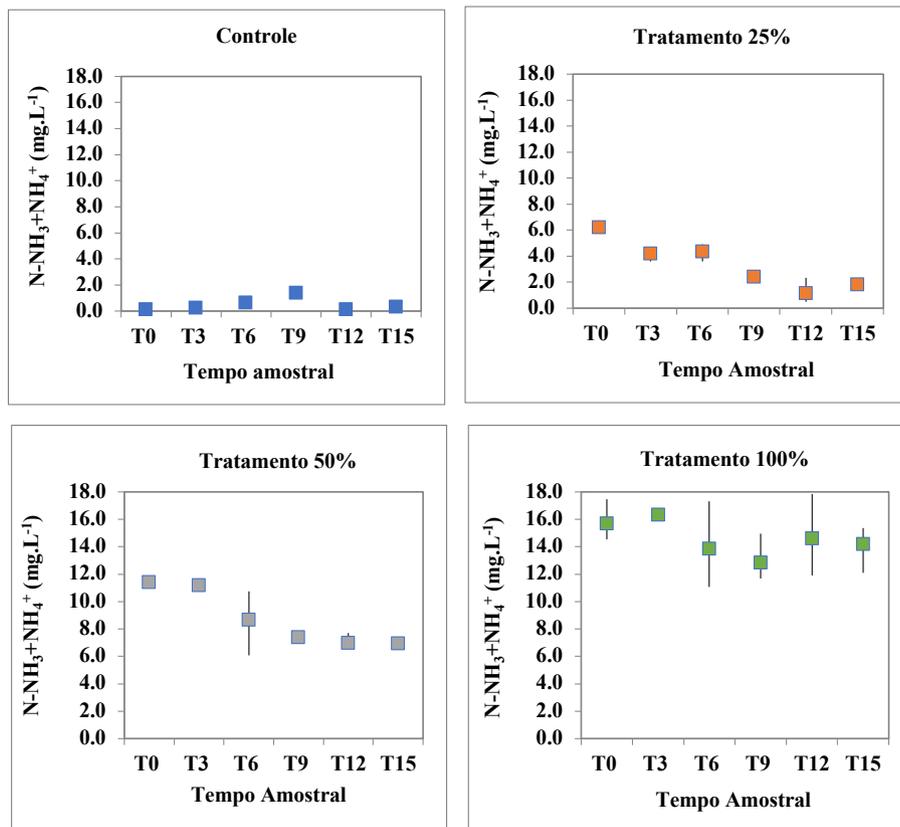


Figura 6 - Concentração de Amônia no experimento com *Chlorella* sp.

No experimento com a *Scenedesmus* sp (Fig. 5), no controle observou-se que não houve diferenças significativas entre as concentrações de amônia ao longo do tempo. Já nos tratamentos 25%, 50% e 100%, as concentrações de amônia decaíram ao longo do experimento, indicando a absorção da amônia presente no meio pelas microalgas.

No tratamento 25%, a concentração no T0 foi de 4,7mg.L⁻¹ e no T15 foi de 0,88mg.L⁻¹, apresentando assim uma redução de 81,3% de amônia. No tratamento 50% a redução foi de 76,7% e no tratamento 100% de efluente a redução foi de 62,5%.

As microalgas têm como principal forma de nitrogênio o nitrato, o nitrito e a amônia, sendo esta última preferencialmente absorvida por haver menos gasto energético, pois encontra-se na forma reduzida (REYNOLDS, 2006). Por essa razão, durante o experimento nos tratamentos observou-se rápido consumo desse nutriente pelas microalgas.

Durante os experimentos, foi verificado que os tratamentos que continham efluente doméstico (independentemente da concentração, 25% e 50% 100%) tiveram as maiores concentrações de amônia, devido à carga de poluentes.

No controle foi observado um leve aumento da amônia do T6 (0,640mg.L⁻¹) ao T12 (1,6mg.L⁻¹). Isso pode estar relacionado à não absorção deste íon, por haver no meio maior concentração de nitrato (NO₃⁻), preferencialmente absorvido pelas microalgas quando há baixas concentrações de amônia.

Em relação à análise estatística da amônia para o experimento com *Scenedesmus* sp, observou-se que as concentrações de amônia no controle e nos tratamentos foram diferentes ao longo do tempo (p-valor < 0,05).

No experimento com a *Chlorella* sp (Fig. 6), foi observado um decréscimo da amônia ao longo

do tempo nos tratamentos 25%, 50% e 100%, comportamento semelhante ao experimento com a *Scenedesmus* sp. O tratamento com 25% de efluente foi o que apresentou a maior redução de amônia, 70%, visto que a concentração no T0 foi de 6,2mg.L⁻¹ para 1,8mg.L⁻¹ no T15. Já no tratamento 50% a redução foi de 39% e no tratamento 100% a redução foi de 9,5%.

No controle do experimento com a microlaga *Chlorella* sp, foi verificada a mesma tendência de aumento nas concentrações da amônia observada no experimento com *Scenedesmus* sp. No T0 a concentração de amônia era 0,096mg.L⁻¹ e passou para 0,190mg.L⁻¹ no T15.

No meio aquático, em sistemas de pH entre ácido e neutro, a amônia formada é instável, sendo convertida por hidratação a íon amônio (NH₃ + H₂O = NH₄⁺ + OH⁻). Já em meio alcalino, a possibilidade de ocorrência desse processo é reduzida, e parte da amônia formada pode ser perdida para atmosfera por difusão (ESTEVES, 1998).

Em relação à análise estatística da amônia para o experimento com a *Chlorella* sp, observou-se que houve diferença entre os cultivos (p-valor < 0,05), com exceção do controle e do tratamento 25%, que tiveram valores iguais no T9 (p-valor >0,05).

Segundo Resolução CONAMA n° 430 de 13 de maio de 2011 em termos de teores de nitrogênio amoniacal total, o valor máximo permitido para efluentes lançados em corpos hídricos é de 20mg.L⁻¹. Assim, as concentrações de amônia total em todos os experimentos estiveram muito abaixo dos valores preconizados pela resolução. Entretanto, há de se destacar que os próprios efluentes domésticos coletados em maio/2016 e setembro/2016 estavam dentro do padrão preconizado pela legislação vigente, pois apresentaram concentrações de 17,46mg.L⁻¹ e 20,0mg.L⁻¹, respectivamente.

O fósforo está presente em elevadas concentrações nos efluentes industriais e domésticos, os quais contêm grande quantidade de matéria orgânica e compostos fosfatados, intrínsecos à maioria dos detergentes (PENA et al, 2017). Esse é um elemento importante para os organismos vivos, visto que está presente na maioria dos compostos bioquímicos essenciais à vida (ácidos nucleicos, DNA e RNA), sendo fundamental ao armazenamento e à transferência de energia (ATP) (Reynolds, 2006).

Embora a biomassa de microalgas possua menos do que 1% de fósforo, esse nutriente pode limitar seu crescimento, pois o fósforo é facilmente ligado a outros íons (por exemplo, cálcio e ferro), resultando na sua precipitação e, por conseguinte, tornando este nutriente indisponível para absorção pelas algas (Cai et al., 2013).

Assim as Fig. 7 e 8 apresentam as concentrações do fósforo dissolvido no controle e nos tratamentos 25%, 50% e 100% para as duas espécies de microalgas estudadas.

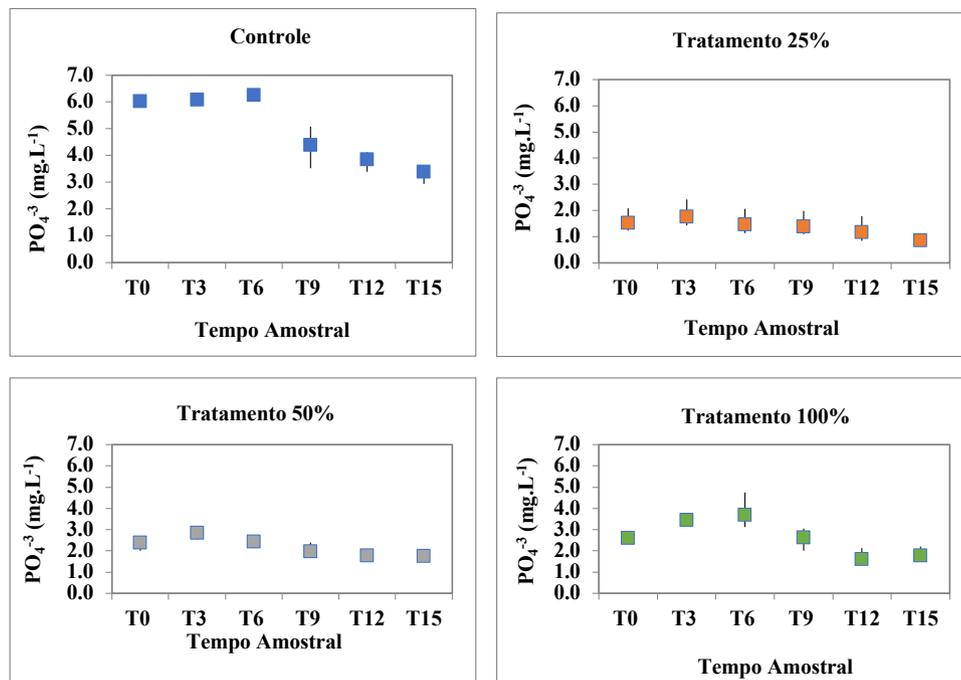


Figura 7 - Concentrações de fósforo dissolvido no experimento com *Scenedesmus* sp.

Em relação aos resultados obtidos para o fósforo dissolvido no experimento com a *Scenedesmus* sp (Fig. 7), foi verificado que no controle as concentrações de fósforo dissolvido no meio decaíram a partir do T9; já para os tratamentos 25%, 50% e 100%, essa diminuição foi observada a partir do T6, tempo amostral em que as microalgas

encontravam-se no início de fase exponencial, como apresentado na Fig. 3.

No controle, a concentração no T0 foi de 6,03mg.L⁻¹ e no T15 foi de 3,4mg.L⁻¹ apresentando uma redução de 43,9%. No tratamento 25%, a concentração no T0 foi de 1,5mg.L⁻¹ e no T15 foi de 0,9mg.L⁻¹, com redução de 44%.

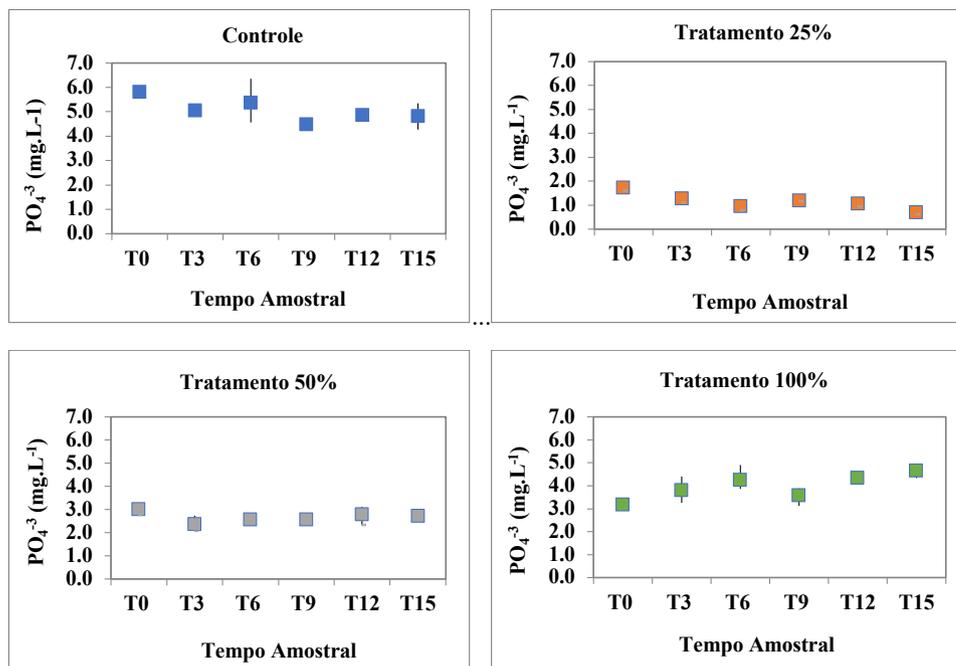


Figura 8 - Concentrações de fósforo dissolvido no experimento com *Chlorella* sp.

No tratamento 50% a concentração no T0 foi de 2,4 $mg.L^{-1}$ e no T15 foi de 1,8 $mg.L^{-1}$, uma redução de 26,7% e no tratamento 100% a redução foi de 30,7% em que a concentração de fósforo dissolvido era 2,6 $mg.L^{-1}$ no T0 e dcaiu para 1,8 $mg.L^{-1}$ no T15.

Em relação à análise estatística, os tratamentos 25% e 50% no tempo T12 apresentaram o mesmo comportamento (p -valor $>0,05$). Assim como o tratamento 50% e o 100% nos tempos amostrais T0, T12 e T15.

Ao comparar os dados de crescimento e concentração de fósforo disponível no meio, verificou-se que com o passar do tempo, o crescimento da *Scenedsmus* sp aumentou e as concentrações de fósforo dissolvido no meio diminuíram, reflexo da absorção desse elemento pelas células. Oliveira (2013) aborda que as microalgas são capazes de absorver grandes quantidades de fósforo, de 8 a 16 vezes a mais do que a cota mínima do elemento, o que permite o crescimento mesmo em período de privações.

Ressalta-se que durante a fase *lag* as microalgas já iniciaram a absorção de fósforo dissolvido; entretanto essa absorção foi menor, provavelmente devido ao fato de microalgas possuírem um estoque deste elemento, pois estavam ambientadas no meio ASM-1, rico em fósforo.

A respeito dos resultados de fósforo dissolvido obtidos no experimento com a *Chlorella* sp (Fig. 8), foi verificado que no controle e nos tratamentos 25% e 50% as concentrações de fósforo dissolvido decaíram a partir do T6 e no decorrer do experimento apresentaram valores um pouco mais altos. Para o tratamento 100%, esse decaimento foi observado apenas no T9.

No controle, a concentração no T0 foi de 5,8 $mg.L^{-1}$ para 4,8 $mg.L^{-1}$ no T15, uma redução 17%. A maior redução do fósforo dissolvido foi observada no tratamento 25%, em que a concentração no T0 foi de 1,7 $mg.L^{-1}$ e no T15 foi de 0,7 $mg.L^{-1}$, apresentando assim uma redução 60%. No Tratamento 50%, a concentração no T0 foi de 3,0 $mg.L^{-1}$ e no T15 foi de 2,7 $mg.L^{-1}$ (redução de 9,8%)e no tratamento

100% a concentração foi de 3,2mg.L⁻¹ no T0 e de 4,6mg.L⁻¹ no T15. Em relação à análise estatística referente ao experimento com a *Chlorella* sp, observou-se que os tratamentos 25% e 50% no T12 e os tratamentos 50% e 100% no T0, T12 e T15 apresentaram o mesmo comportamento (p-valor > 0,05).

Ao comparar os dados de crescimento e concentração de fósforo disponível no meio nos tratamentos 25% e 50%, verificou-se que com o passar do tempo, o crescimento aumentou e as concentrações de fósforo dissolvido no meio diminuíram, reflexo da absorção deste elemento pelas células de *Chlorella* sp. O aumento das concentrações de fósforo dissolvido observado no tratamento 100% pode estar relacionado ao processo de lise celular, o que estaria disponibilizando fósforo ao meio, ou algum outro processo de ciclagem deste nutriente intermediado por ação bacteriana, visto que os inóculos tanto de *Scenedesmus* sp como de *Chlorella* sp são oriundos de culturas não axênicas.

A legislação Conama 357 de 17 de março de 2005 preconiza que a concentração de fósforo total deve ser de 0,05mg.L⁻¹ em efluentes que serão lançados no corpo hídrico receptor, para águas de classe 2. Em todos os experimentos com as microalgas *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp, os valores finais de fósforo não estão dentro do valor preconizado pela legislação. Destaca-se que o próprio efluente doméstico coletado na lagoa facultativa em maio/2016 e setembro/2016 estava fora dos padrões preconizados pela legislação vigente, pois apresentaram concentrações de 1,05mg.L⁻¹ e 4,77mg.L⁻¹ respectivamente, conforme as Tabelas 1 e 2.

4 CONCLUSÕES

Os experimentos mostraram que a cepa de *Scenedesmus* sp e *Chlorella* sp apresentaram bom crescimento celular, principalmente nos tratamentos 50% e 100%.

Em relação ao T100%, a espécie *Scenedesmus* sp foi mais eficiente na redução de fósforo dissolvido e amônia, porém para o fósforo a redução não foi suficiente para atingir o padrão de lançamento no corpo hídrico receptor para águas de classe 2 previsto na Resolução Conama 357/2005, que é de 0,05mg.L⁻¹, pois a concentração de fósforo no experimento com esgoto in natura no último dia de experimento foi de 1,8mg.L⁻¹.

Diferentemente do que ocorreu com a amônia, que ao final do experimento (T15) com efluente in natura e a espécie *Scenedesmus* sp teve concentração final de 4,14mg.L⁻¹, abaixo do que preconiza a Resolução do Conama nº 430/2011.

Desta forma, os resultados demonstraram que o efluente doméstico tratado foi eficiente para o crescimento das cepas estudadas, contribuindo para o crescimento celular, bem como para a redução dos nutrientes dissolvidos no efluente. Essa redução atingiu valores próximos aos preconizados pela legislação vigente, no que se refere ao lançamento de efluente no corpo hídrico receptor, contribuindo assim, para um descarte do efluente menos impactante ao meio no ambiente.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

- ANTÔNIO, P. R.; TEIXEIRA, C.; OLIVEIRA, M. C. R. de. Avaliação das diferentes condições de cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* visando o aumento da Produtividade em biomassa. In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos. **Anais...** 30 jul. e 02 ago. 2013. Foz de Iguaçu, PR, Brasil. ISBN: 978-85-85905-06-4
- APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Ed. 19. Washington, 2012.
- AZEREDO, V. B. S. **Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas: estimativa de custos e perspectivas para o Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético).

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

BRASIL, Decreto Lei nº 357, de 17 de abril de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.53, p. 58, 18 mar. 2005, Seção 1.

BRASIL, Decreto Lei nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de abril de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 92. 2011.

CAI, T.; PARK, S. Y.; LI, Y. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.19, p. 360–369, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.030>

CAVALCANTI, V.F.; LEAL, B.E.S.; PRADO, M.R.; SAKUMA, A.C.; PEGORARO, L.A.; RAMOS, L.P. Cultivo de microalga *Chlorella Vulgaris* em fotobioreator de placas planas e produção de Ésteres por transesterificação *in situ*. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v. 3, p. 244- 254, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v3i4.38616>

CARDOSO, A. S.; VIEIRA, G. E. G.; MARQUES, A. K. O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, vol. 9, n. 4, p. 542-549, 2011. Disponível on-line em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1797>

CHRISTENSON, L. and SIMS, R.. Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. **Biotechnology Advances**. v.29, p.686–702, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.015>

COSTA, A.G. **Efeitos de diferentes condições físicas e efluentes agrícolas sobre o cultivo de microalgas da família Scenedesmeaceae como subsídio à aplicação biotecnológica**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2018

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: **Interciência**. 2ª ed. 602 p. 1998.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: **Interciência**. 3ª ed. 826 p. 2011.

GORHAM, P. R, MCLACHLAN, J., HAMMER, U. T, KIM, W. K. (1964) Isolation and culture of toxic strains of Anabaena foies-aquae (Lyngb.) de Bréb. **Int Ver Theor Angew Limnol Verh** 15:796–804. <https://doi.org/10.1080/03680770.1962.11895606>

GUPTA, S.K., et al. Dual role of *Chlorella sorokiniana* and *Scenedesmus obliquus* for comprehensive wastewater treatment and biomass production for bio-fuels. **J. Clean. Prod.** v. 115, p. 255–264, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.040>

LABBÉ, J. I. et al. Microalgae growth in polluted effluents from the dairy industry for biomass production and phytoremediation. **J. Environ. Chem. I Engineering**, v. 5, p. 635–643, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.040>

LÚCIO, M. J. **Cultivo de microalgas *Chlorella Vulgaris* com efluente doméstico como meio de cultura alternativo**. Monografia (Bacharelado em Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, SC. 2013

MATA, T.M.; MARTINS, A.; CAETANO, N.S. Microalgae for biodiesel production and others: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. p. 217–232. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>

MADIGAN, M. T., MARTINKO, J. M., DUNLAP, P. V., CLARK, D. P. **Microbiologia de Brock**. 12 Edição. Editora Artmed. 1160p. 2010.

NEVES, F. F.; JERÊMIAS, M. L.; LOPES, R. G.; SARDÁ, A.; RÖRIG, L. R.; OLIVEIRA, A. C. **Produção de biomassa de microalgas *Scenedesmus* em efluente de bovinocultura biodigerido**. EdUFPR. Curitiba, PR. 2013.

NI, Z. Y. et al. Role of granular activated carbon in the microalgal cultivation from bacteria contamination. **Bioresour. Technol.** v. 247, p. 36–43, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.079>

OLIVEIRA, A. C. **Produção de biomassa de microalgas *Scenedesmus* sp em efluente de bovinocultura biodigerido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais). EdUFPR. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2013.

OLIVEIRA, G. A. et al. Comparison between coagulation-flocculation and ozone-flotation for *Scenedesmus* microalgal biomolecule recovery and nutrient removal from wastewater in a high-rate algal pond. **Bioresource Technology**. v. 259, p. 334–342, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.072>

PENA, A.C.C.; FONTOURA, J.T.; TRIERWEILE, L.F.; GUTTERRES, M. Estudo de um consórcio de microalgas na remoção de nutrientes de efluentes de curtume, **Rev. Elet. Cient. UERGS**, v. 3, n. 4 (Número Especial), p. 743-752, 2017. <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.34.743-752>

PIRES, T.A.; CARDOSO, V.L.; BATISTA, F.R.X. Microalga *Chlorella vulgaris* e o tratamento de efluentes. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB**, Jaboticabal, v. 10, p. 89-93, 2018.

PRANDINI, J. M. **Remoção de nutrientes de efluente suínico alopado à purificação de biogás por microalgas nativas de *Scenedesmus* spp. e *Chlorella* spp.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2016.

RÊGO, F.S.; VIEIRA, G.E.G.; MARQUES, A.K.. Obtenção de biodiesel a partir de microalgas coletadas em uma lagoa facultativa

localizada na ETE da Vila União Palmas – TO. In: **VII Seminário de Iniciação Científica**. Vol. 3. 2011. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2011.

SILVA, E.V. H. dA. **Cultivo de microalgas *Scenedesmus subspicatus* com efluente avícola como meio de cultura alternativo**. Monografia (Bacharelado em Medicina Veterinária graduação). Universidade Federal do Paraná – UFPR, PR. 2018

VIEIRA, T. Q. Et al. Estudo da viabilidade do uso de resíduos líquidos no cultivo da microalga *Chlorella* sp visando a produção de biocombustíveis. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**. Vol.13 (4). p.3477-3490. 2014. <https://doi.org/10.5902/2236130813544>

REYNOLDS C. S. **Ecology of Phytoplankton** - Ecology, Biodiversity and Conservation. Cambridge, 2006.

ROSSI, R.A. **Seleção de microalgas dos gêneros *Desmodesmus* e *Scenedesmus* produtoras de lipídeos: otimização do cultivo e aplicação do efluente doméstico de reator UASB como substrato alternativo à produção de biodiesel**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROTERMUND, S. R. V. Cultivo da microalga *Scenedesmus* sp. em efluente de ribeira. In: **XXVII Salão de iniciação científica da UFRGS**. Porto Alegre, RS, 2015.

RUSSO, D.A.M.T. **Estudo do crescimento da microalga *Chlorella vulgaris* numa água residual tratada, sob diferentes condições de fotoperíodo e temperatura**. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia). Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2011.

SCHMITZ MAGRO, C.D.; COLLA, L.M. Aplicações ambientais de microalgas. **Revista CIATEC – UPF**. vol.4 (1). p.48-60. 2012. <https://doi.org/10.5335/ciatec.v4i1.2393>

SILVA, D. A. **Produção de biomassa de microalgas cultivadas em esgoto sanitário biodigerido visando a produção de biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

TREVISAN, E.; BRANCO, K. B. Z. F.; MORO, P.; ARROYO, P. A. Cultivo de microalga *Chlorella vulgaris* em efluente doméstico para a produção de lipídeos. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, SC. 19 a 22 de outubro de 2014. **Anais...**

VIDAL JUNIOR, E.A. **Obtenção de óleo extraído da Microalga *Chlorella* sp**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Escola de Engenharia de Lorena – EEL. Universidade de São Paulo - USP. Lorena, SP. 2014.

ZHOU, W. **Potential Applications of Microalgae in Wastewater Treatments, Recent Advances in Microalgal Biotechnology**. Center for Biorefining, Bioproducts and Biosystems Engineering Department, University of Minnesota, USA. 2014.