

Estudo do crescimento da microalga *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat 1902 em águas residuárias

Study of the growth of Microalgae Scenedesmus acuminatus (Lagerheim) Chodat 1902 in Wastewater

- **Data de entrada:**
28/06/2017
- **Data de aprovação:**
15/03/2018

Iana Chaiene de Araujo Vidal* | Weruska Brasileiro Ferreira | Maniza Sofia Monteiro Fernandes |
Thiago Santos de Almeida Lopes | William de Paiva

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.031>

Resumo

As microalgas são fontes potenciais de produção de biocombustíveis. Todavia, o alto custo de cultivo ainda inviabiliza o processo. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a produção de microalgas utilizando como meio alternativo as águas residuárias. A microalga estudada foi a *Scenedesmus acuminatus*, cultivada em meio Wright's Cryptophyte (WC), sob a qual foram adicionadas diferentes concentrações de efluente para avaliar os parâmetros cinéticos, produtividade de biomassa e lipídica e as remoções de DQO. Constatou-se que a concentração ideal de desenvolvimento para tal microalga é de 100% de efluente em seu meio. A remoção de DQO foi mais eficiente no cultivo com 80% de efluente, alcançando redução de 32,8%. A biomassa da *S. acuminatus* cultivada com adição de 100% de efluente apresentou produção de 10,42% de lipídios. Os métodos estatísticos indicaram forte correlação entre os parâmetros velocidade específica de crescimento, tempo de geração e remoção de DQO; já a produtividade apresentou correlação moderada com todos os parâmetros, exceto com a variável correspondente à remoção de DQO. A viabilidade da inserção do efluente resultante do tratamento anaeróbio de esgoto doméstico no cultivo das microalgas foi comprovada quando se detectou excelente adaptação e consequente desenvolvimento da microalga submetida a diferentes proporções do efluente em seu cultivo.

Palavras-chave: Microalgas. Biocombustíveis. Águas residuárias.

Iana Chaiene de Araujo Vidal – Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB). Mestrado em andamento em Engenharia Civil e Ambiental (UFCG).

Weruska Brasileiro Ferreira – Bacharel em Engenharia Química (UFPB). Mestre em Engenharia Química (UFCG). Doutorado em Engenharia Química (UFCG). Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB.

Maniza Sofia Monteiro Fernandes – Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB). Mestre em Engenharia Química (UFCG). Doutorado em andamento em Engenharia Química (UFCG).

Thiago Santos de Almeida Lopes – Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB). Mestrado em andamento em Engenharia Civil e Ambiental (UFPB).

William de Paiva – Licenciado em Matemática (UEPB). Bacharel em Engenharia Civil (UFPB). Mestre em Engenharia Civil (UFCG). Doutor em Engenharia Civil (UFPE). Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB.

***Endereço para correspondência:** Rua Floriano Peixoto nº 913, Ingá, PB. E-mail: iana-chaiene@hotmail.com.

Abstract

*Microalgae are potential sources of biofuel production; however, cultivation high costs still makes the process impractical. In this way, the purpose of this article was to evaluate the microalgae production using wastewater as a culture alternative medium. The microalgae studied was *Scenedesmus acuminatus*, grown in Wright's Cryptophyte (WC) medium, under which different effluent concentrations were added to evaluate kinetic parameters, biomass and lipid yield and COD removals. It was found that the optimal concentration for developing these microalgae was 100% effluent in its medium. The COD removal was more efficient in the culture with 80% effluent reaching a reduction of 32.8%. The biomass of *S. acuminatus* cultivated with 100% effluent addition showed 10.42% of lipid production. The statistical methods indicated a strong correlation between the parameters specific growth rate, generation time and COD removal, since productivity showed moderate correlation with all parameters, except with the corresponding variable to COD removal. The insertion viability of effluents generated from anaerobic treatment of domestic sewage in microalgae cultivation was proven when it was detected an excellent adaptation and consequent microalgae growth after submitted to different proportions of the effluent in its culture.*

Keywords: Microalgae. Biofuels. Wastewater.

1 INTRODUÇÃO

O mundo atual está enfrentando muitos desafios ambientais, como a crise energética, a poluição da água, do ar e do solo e o aquecimento global, e outros. Destes, a crise energética apresenta-se como um dos problemas mais críticos neste novo milênio.

O esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, vinculado ao aumento da procura global de energia e sua associação com a emissão de gases do efeito estufa, eclodiu na necessidade do desenvolvimento de fontes energéticas alternativas renováveis, biodegradáveis, de produções limpas e atóxicas, que apresentem custo competitivo com as atuais fontes de energia e que ocasionem os menores impactos possíveis ao meio ambiente.

Nesse contexto, uma alternativa que tem se destacado é o uso de biocombustíveis, definido como energias renováveis, oriundas de produtos vegetais e animais, que liberam de maneira significativa menor quantidade de poluentes em relação aos combustíveis derivados do petróleo (SILVA e KONRADT-MORAES, 2005).

O biocombustível que vem se destacando no cenário mundial atualmente é representado em sua maioria pelos derivados de culturas terrestres, tais como: soja, milho e cana-de-açúcar. No entanto, vem a cada dia sendo pressionado pelo mercado de alimentos devido à necessidade de enormes áreas de terra agricultáveis para sua produção, além de contribuir com a escassez de água e o desmatamento da flora natural (VIEIRA, 2013). Como solução para essa questão, surgem as microalgas, uma opção atraente para aliar o seu alto teor energético à facilidade de absorção de grande quantidade de CO₂ durante seu processo de crescimento (VIDAL, 2016).

Segundo Lourenço (2006), as microalgas são microrganismos fotossintéticos que utilizam energia solar associada com água e o gás carbônico (CO₂) para produzir biomassa, sendo a fotossíntese o processo chave para transformar a energia solar em formas de energia disponível para toda vida orgânica no ambiente. Assim, as microalgas vêm sendo consideradas como uma fonte potencialmente útil para a produção de biodiesel, pois sua produtividade supera a de qualquer vegetal comercialmente produzido no mundo, sendo os

rendimentos em óleo por hectare equivalente de área utilizada, de ordens de grandeza superiores às das oleaginosas tradicionais (CHISTI, 2007).

Apesar do grande potencial das microalgas, o cultivo desses organismos em seu meio de cultura sintético tem custos elevados. Para diminuir os custos e viabilizar o cultivo desses seres autotróficos, tem-se utilizado como alternativa bastante inovadora a utilização de águas residuárias. Com essa nova vertente, é possível obter a redução desses custos, promover maior incentivo ao reúso da água, produzir biomassa microalgal com valor de mercado competitivo e atenuar os gastos associados aos sistemas de tratamento de efluentes (PITTMAN et al., 2011).

Antes do lançamento em corpos de águas, a depender de sua classificação, faz-se necessário que o esgoto sanitário seja previamente tratado, atingindo os padrões estabelecidos na resolução CONAMA nº 430/2011. O tratamento mais difundido atualmente é o biológico, e este pode ser aeróbio ou anaeróbio, estando inserido nessas duas formas diversas configurações e modalidades de tratamento (VIDAL, 2016).

Segundo Von Sperling (2016), o reator UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) é considerado uma tendência em tratamento de esgotos no país. Esse sistema apresenta vantagens quando diz respeito à quantidade de área requerida para seu funcionamento, baixo custo de operação, manutenção e simplicidade operacional. Contudo, tem-se uma reduzida capacidade de suportar cargas tóxicas, extenso intervalo de tempo para o início do sistema, suscetibilidade a variações ambientais e há necessidade de pós-tratamento (CHERNICHARO, 1997).

A retirada de nutrientes em águas residuárias ajuda a preservar o corpo aquático receptor do efluente, pois a presença de fósforo e nitrogênio, em combinação com o CO₂, acelera o processo de eutrofização do corpo hídrico (CHEIS, 2014). Vidal (2016) destaca que, sendo o efluente do re-

ator UASB rico nesses nutrientes, as microalgas podem utilizá-los para seu crescimento e desenvolvimento, diminuindo os custos de alimentação e manutenção do cultivo.

Desse modo, quando há a utilização do esgoto pós-tratado em reator UASB como substrato para as microalgas, evita-se o pós-tratamento desse efluente, além de não o lançar diretamente em corpos hídricos, direcionando-o para fins mais nobres: reduzindo a quantidade de água total no cultivo das microalgas, diminuindo a quantidade de meio sintético utilizado, reduzindo os custos para sua produção, além de uma posterior geração de energia limpa e renovável a partir deste processo (VIDAL, 2016).

Muitas microalgas são utilizadas no tratamento de águas residuárias por promoverem a depuração das águas quando absorvem os contaminantes e os nutrientes solúveis em quantidades maiores do que precisam para seu crescimento, resolvendo assim os problemas de acumulação de biomassa do processo e de eutrofização (MULBRY, 2008).

A espécie da microalga *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat 1902 destaca-se por sua elevada produtividade lipídica, assim como de biomassa, o que favorece a produção de biocombustíveis. Além disso, apresenta-se como candidata em potencial para mitigação das emissões de CO₂ e remediação de águas residuárias (BAUMGARTNER et al., 2013).

Baseado nessa questão, este artigo teve por objetivo avaliar o potencial biotecnológico da microalga *Scenedesmus acuminatus* para fins de produção de biocombustível, estudando-a por meio dos parâmetros cinéticos, produtividade de biomassa, remoção da demanda química de oxigênio e concentração de lipídios, utilizando como meio de cultura efluente de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico a fim de promover um destino adequado para esses resíduos líquidos, bem como reduzir o custo dos cultivos.

2 METODOLOGIA

2.1 Microalga *Scenedesmus acuminatus*

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Saneamento Ambiental situado no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade

Estadual da Paraíba, localizado na cidade de Campina Grande - PB. A cepa da microalga *Scenedesmus acuminatus* (Figura 1) utilizada nesse estudo foi fornecida pela Universidade Federal de Campina Grande.

Figura 1 - Fotomicrografia da microalga *Scenedesmus acuminatus*



Fonte: Autores (2016).

2.2 Meio de Cultivo

Para o cultivo da *Scenedesmus acuminatus* utilizou-se o meio sintético *Wright's Cryptophyte* (WC), desenvolvido por Guillard e Lorenzen (1972).

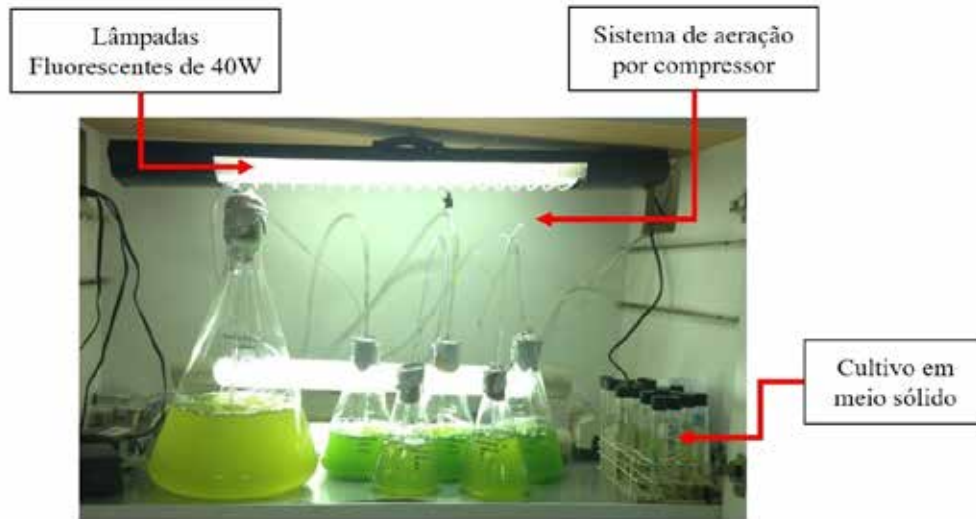
Com o intuito de verificar a concentração de melhor adaptação da *Scenedesmus acuminatus*, adicionou-se o efluente de UASB em diferentes proporções ao meio de cultura (20%, 30%, 50%, 70%, 80% e 100%). Essas proporções indicam que, por exemplo, 20% do volume do meio de cultivo foi de efluente de UASB.

O efluente do reator UASB foi fornecido pela Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários, localizada na cidade de Campina Grande-PB. Salienta-se que o esgoto bruto da cidade apresentou DQO de 810 mg.L⁻¹ e com o tratamento anaeróbico este revelou uma redu-

ção para 432,5 mg.L⁻¹. O pH do efluente foi de 8 e a temperatura de 25°C, sendo este armazenado sob refrigeração.

2.3 Aclimação dos Cultivos

A aclimação dos cultivos foi realizada de modo a estabelecer um ambiente propício para a otimização do crescimento da *Scenedesmus acuminatus*. As culturas foram desenvolvidas em erlenmeyres de 500mL, que foram utilizados como fotobioreatores e incubados a temperatura de 26°C±2, com agitação por meio de injeção direta de ar comprimido para garantir a homogeneização do meio e expostos por um período de 12 horas à iluminação de lâmpadas fluorescentes de 40W. A Figura 2 ilustra as condições de aclimação adotadas para o desenvolvimento da microalga.

Figura 2 - Aclimação dos cultivos da microalga

Fonte: Autores (2016).

2.4 Determinação dos Parâmetros Cinéticos

Hiss (2001) descreve o procedimento para determinação dos parâmetros cinéticos, e estes são relatados a seguir:

2.4.1 Crescimento

Com o auxílio da microscopia óptica (aumento de 400x), foi possível determinar o crescimento das microalgas, avaliando-se a densidade celular em função do tempo de cultivo em cada uma das unidades experimentais. As amostras foram retiradas após o início dos cultivos, a cada 24 horas, para contagem de células em câmara de Neubauer, determinando, desse modo, a densidade celular expressa em número de células por mililitro de cultivo (células.mL⁻¹).

A contagem de células foi realizada em triplicata. O número de células corresponde à média geométrica das três contagens. O tempo de cultivo foi expresso pela quantidade de dias decorridos desde o início da inoculação (período de adap-

tação – fase lag) até o alcance máximo da densidade celular (fase estacionária). Os gráficos de dispersão foram plotados para representar as curvas de crescimento da *S. acuminatus*, em que o eixo das abscissas corresponde ao o tempo de cultivo em horas e o eixo das ordenadas ao número de células. mL⁻¹.

2.4.2 Velocidade Específica de Crescimento

A velocidade de crescimento é diretamente proporcional à concentração de microrganismos em um dado instante. A fração pela qual a população cresce na unidade de tempo é dada por $\mu_{m\acute{a}x}$, que representa a velocidade específica de crescimento e tem unidade de tempo h⁻¹. Na fase exponencial (ou logarítmica), essa velocidade é constante e máxima, sendo μ_x igual a $\mu_{m\acute{a}x}$. A velocidade específica de crescimento foi calculada por meio da equação (1).

$$\ln X = \mu_{m\acute{a}x} \cdot (t - t_i) + \ln X_i \quad (1)$$

A representação em função do tempo de cultivo na fase exponencial resulta em uma reta com coeficiente angular igual a velocidade específica máxima de crescimento $\mu_{m\acute{a}x}$.

2.4.3 Tempo de geração

A fase exponencial também é caracterizada pelo tempo de geração (t_g), que é o tempo necessário para dobrar o valor da concentração celular ($X = 2X$). O tempo de geração foi calculado por meio da equação (2):

$$t_g = \frac{\ln 2}{\mu_{m\acute{a}x}} = \frac{0,693}{\mu_{m\acute{a}x}} \quad (2)$$

Como $\mu_{m\acute{a}x}$ é constante então t_g também é constante nesta fase.

2.5 Determinação da Produtividade

As análises de produtividade da biomassa cultivada em laboratório foram realizadas em triplicata no início e fim dos cultivos. Foram utilizadas cápsulas de evaporação, como meio suporte da biomassa de *Scenedesmus acuminatus*. Estas foram levadas para a estufa na temperatura de 60°C, visando evaporar toda umidade existente até atingir peso constante. A diferença entre a quantidade de biomassa no fim e no início do cultivo dividido pelo seu respectivo tempo equivale à produtividade da microalga.

2.6 Análise de remoção da demanda química de oxigênio (DQO)

As análises de DQO foram realizadas nos cultivos suplementados com as diferentes proporções de efluente de UASB (20%, 30%, 50%, 70%, 80% e 100%), no intuito de verificar se a *Scenedesmus*

acuminatus promoveria boa redução da DQO, ou seja, da carga poluidora, implicando no tratamento do efluente.

Para realização dessa análise foi utilizado o método recomendado pelo Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2005). As análises foram realizadas nos meios de cultivo antes do inóculo das microalgas para evitar interferências nas leituras causadas pelas células. Após o tempo de estudo que serviu para acompanhar o crescimento das microalgas, separou-se as microalgas dos cultivos por meio da centrifugação e analisou-se a DQO dos sobrenadantes oriundos da separação. Desse modo, foi possível comparar os valores de DQO_{inicial} e DQO_{final} para verificar se a microalga *Scenedesmus acuminatus* promoveu a biorremediação no resíduo líquido em estudo.

2.7 Determinação de Lipídios

Os lipídios foram determinados por meio do método descrito por Folch et al. (1957), que consiste em submeter as amostras à extração por meio de uma mistura de clorofórmio e metanol (2:1) seguida de evaporação do solvente em estufa a 105°C. Devido à resistência da parede celular das microalgas o método foi adaptado, sendo introduzido uma etapa de rompimento celular com o uso de banho ultrassônico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivo de microalgas tem sido associado a um grande potencial para produção de biocombustíveis. Uma das limitações para essa produção em escala industrial é a disponibilidade de suplementos nutricionais de baixo custo (CHISTI, 2007). Portanto, têm-se realizado diversos estudos com o cultivo de microalgas em efluentes, como uma forma de minimizar os custos inerentes à produção de biocombustíveis a partir das

microalgas (BENEMANN, 2009). Citam-se os estudos de Rossi (2013) e Silva (2014) como exemplos dessa nova vertente.

Para estudar a cinética de crescimento celular em função das diferentes concentrações oferecidas aos cultivos, foram plotadas curvas de crescimento para cada experimento (Figura 3), e assim foram avaliados os parâmetros cinéticos (crescimento celular, velocidades específicas máximas de crescimento e tempos de geração), produtividades de biomassa, remoção da demanda química de oxigênio de cada cultivo com o objetivo de identificar as condições que melhor promoveram o desenvolvimento da microalga em estudo.

A partir dessas curvas observou-se que todas as concentrações favoreceram um excelente desenvolvimento celular da *Scenedesmus acuminatus*, em que todos os cultivos atingiram densidade celular na ordem de 10^7 células.mL⁻¹ ao final dos cultivos.

A curva de crescimento da *Scenedesmus acuminatus* em meio de cultivo WC contendo 20% de efluente de UASB apresenta pequena fase lag, que indicou boa adaptação da microalga nessa proporção do efluente. O cultivo iniciou com $1,39 \times 10^6$ células.mL⁻¹ e finalizou com $1,28 \times 10^7$ células.mL⁻¹, e teve duração de 9 dias.

Os resultados experimentais da *Scenedesmus acuminatus* em meio de cultivo WC contendo 30% de efluente de UASB evidenciaram crescimento mais lento que o cultivo anterior; no entanto, foi o que atingiu a maior densidade celular ($3,55 \times 10^7$ células.mL⁻¹) dentre os demais cultivos.

O cultivo da *Scenedesmus acuminatus* em WC com adição de 50% de efluente de UASB foi o único a iniciar a fase de declínio no nono dia. Tal cultivo iniciou com densidade celular de $2,17 \times 10^6$ células.mL⁻¹ e alcançou a concentração máxima

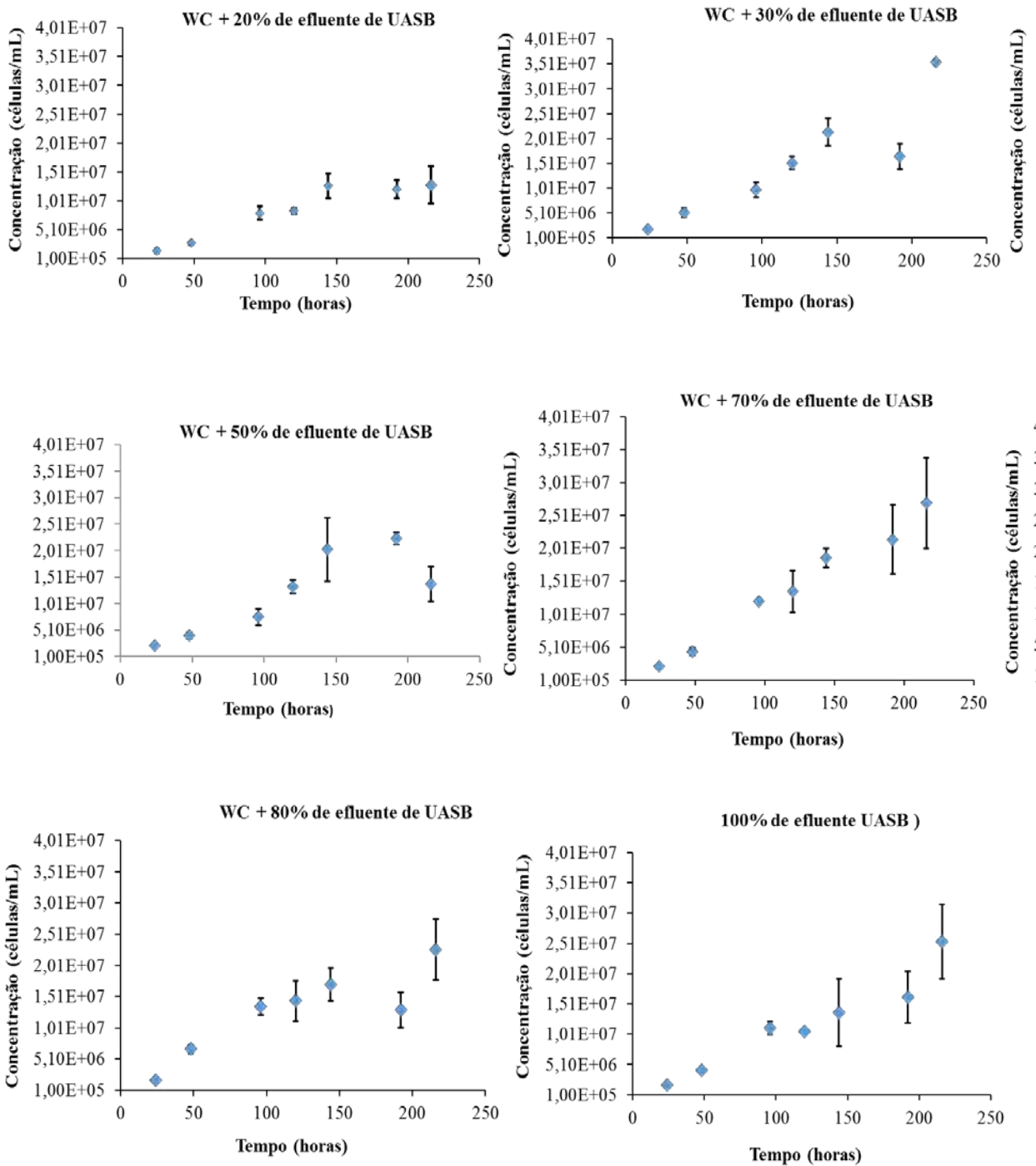
$2,24 \times 10^7$ células.mL⁻¹ no oitavo dia. Rossi (2013), em estudos com a *Scenedesmus acuminatus*, concluiu que as maiores densidades celulares ao final do período de cultivo (16º dia) foram obtidas na concentração de 50% do efluente doméstico de reator UASB.

O cultivo da microalga reportada no estudo em meio WC contendo 70% de efluente de UASB apresentou crescimento contínuo, com rápida adaptação e acelerado desenvolvimento microalgal. O cultivo iniciou com $2,15 \times 10^6$ células.mL⁻¹ e alcançou uma concentração máxima de $2,70 \times 10^7$ células.mL⁻¹ após nove dias.

Os dados experimentais da microalga em estudo, cultivada em WC com adição de 80% de efluente de UASB foram bastante expressivos, provando que o efluente de UASB não é tóxico para as microalgas em estudo e que favorece o seu crescimento, podendo ser utilizado em altas concentrações no meio de cultivo e ainda reduzir os custos ao substituir parcialmente o meio sintético. O cultivo iniciou com $1,67 \times 10^6$ células.mL⁻¹ e finalizou com $2,26 \times 10^7$ células.mL⁻¹.

Assim como o cultivo anterior, os dados experimentais da *Scenedesmus acuminatus* cultivada em 100% de efluente de UASB, ou seja, sem o meio sintético WC exprimiram excelente e constante crescimento das microalgas, mostrando que apenas os nutrientes presentes no efluente de UASB são suficientes para o seu desenvolvimento. O cultivo durou 9 dias e iniciou com $1,68 \times 10^6$ células.mL⁻¹, ao seu término contou com $2,54 \times 10^7$ células.mL⁻¹. Salienta-se que o descarte do meio sintético viabiliza o cultivo da *Scenedesmus acuminatus* para a produção de biocombustíveis ao mesmo tempo em que essa microalga, ao utilizar os nutrientes do efluente, está promovendo seu tratamento.

Figura 3 - Curvas de crescimento da *Scenedesmus acuminatus* em meio WC suplementado com diferentes proporções de efluente de UASB



3.1 Parâmetros Cinéticos, Produtividade e Remoção de DQO

Para avaliação mais aprofundada dos cultivos realizados, a Tabela 1 exibe um resumo dos parâmetros cinéticos, das produtividades de biomassa e da remoção da demanda química de oxigênio dos cultivos de *Scenedesmus acuminatus* sob di-

versas condições de suplementação orgânica com efluente de UASB. A condição de 0% de efluente indica o cultivo da microalga apenas em meio WC, e a condição de 100% indica o cultivo apenas em efluente de UASB. As demais condições correspondem à utilização do meio WC e do efluente de UASB em conjunto, sob diferentes proporções.

Tabela 1 - Parâmetros avaliados nos cultivos de *Scenedesmus acuminatus* suplementados com efluente de UASB

| Efluente de UASB (%) | Velocidade específica $\mu_{m\acute{a}x}$ (h^{-1}) | Tempo de geração (h) | Produtividade de biomassa ($g.L^{-1}.d^{-1}$) | Remoção de DQO (%) |
|----------------------|--|----------------------|---|--------------------|
| 0 | 0,0360 | 19,25 | 0,09560 | - |
| 20 | 0,0239 | 29,00 | 0,09215 | 15,3 |
| 30 | 0,0225 | 30,81 | 0,09689 | 13,9 |
| 50 | 0,0168 | 41,26 | 0,08348 | 15,6 |
| 70 | 0,0235 | 29,50 | 0,08385 | 25,3 |
| 80 | 0,0270 | 25,67 | 0,09607 | 32,8 |
| 100 | 0,0254 | 27,29 | 0,08444 | 30,1 |

Fonte: Autores (2016).

O cultivo realizado com efluente de UASB na proporção de 80% apresentou a melhor velocidade específica de crescimento e, conseqüentemente, o melhor tempo de geração dentre as demais proporções, valores que demonstram pequena distância quando comparados aos valores com cultivo isento do efluente. Destaca-se que os parâmetros cinéticos obtidos a partir do cultivo com 100% de efluente apresentaram grande semelhança com o de 80%, indicando que essas concentrações de efluente de UASB promoveram o melhor desenvolvimento da microalga.

Quando foi avaliada a produtividade de biomassa dos cultivos, percebeu-se que a *Scenedesmus acuminatus* alcançou os maiores valores quando foi cultivada nas menores porcentagens de efluente de UASB, chegando a uma produtividade de $0,0969 g.L^{-1}.d^{-1}$. Esses valores podem ser justificados pela predominância do meio sintético específico da microalga, por meio do

qual a microalga está adaptada e desenvolve-se melhor. Destaca-se, ainda, um alto valor de produtividade no cultivo com 80% de efluente de UASB, valor que pode ter sofrido influência devido à alta quantidade inicial de biomassa (não verificado nos outros cultivos) que se encontrava presente no início do cultivo e que favoreceu seu desenvolvimento.

Dzuman (2013) cultivou a microalga *Scenedesmus acuminatus* em meio Chu padrão e reciclado, com temperatura de $20 \pm 2^{\circ}C$, iluminação com fotoperíodo de 12 horas de luz e aeração efetuada por compressor conectado a um borbulhado contínuo com vazão de $1L.min^{-1}$ de ar, alcançando, após 10 dias, uma produtividade de biomassa de $0,068 g.L^{-1}.d^{-1}$.

Rossi (2013) cultivou em batelada simples na condição otimizada em efluente (50%) cepas de *Scenedesmus acuminatus*. Esta apresentou produtividade de biomassa de $0,034 g.L^{-1}.d^{-1}$.

Já Baumgartner et al. (2013) cultivaram a microalga *Scenedesmus acuminatus* em diferentes meios de cultura, sendo eles meio MC, DM, NPK (10:10:10) e NPK (20:5:10), em que o cultivo utilizando o meio MC apresentou a melhor produtividade de biomassa algácea em função do tempo ($0,0811 \text{ g.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$). Em comparação com o atual estudo, verifica-se que as produtividades encontradas em todos os cultivos foram superiores às referências citadas, revelando que tais cultivos apresentaram excelente cinética de crescimento à microalga *Scenedesmus acuminatus*.

A Tabela 1 também mostra dados de remoção de DQO, obtidos por meio de análises realizadas no início e no fim de todos os cultivos. Pode-se observar que nas concentrações de 80% e 100% de efluente de UASB a microalga reduziu a DQO em 32,8% e 30,1%, respectivamente, sendo esses os melhores resultados e proporções para promover o tratamento do efluente e assim diminuir a sua carga poluidora. Esses valores podem induzir baixa remoção da DQO; contudo o reator UASB onde era gerado o efluente foi operado com alto tempo de detenção hidráulica (12h), recebia microaeração, resultando em eficiência em torno de 70%; logo, a parte mais assimilável já estava consumida, havendo apenas compostos complexos de difícil assimilação pela microalga.

Silva (2014) utilizou esgoto sanitário biodigerido para cultivar a microalga *Scenedesmus* sp. em reatores tipo airlift, e atingiu uma remoção de DQO de 36%, valor bem próximo ao alcançado nesse estudo.

De modo geral, as concentrações de 80% e 100% se destacaram na maioria das análises. Ambas apresentaram as melhores cinéticas de crescimento microalgal e os melhores valores de redução na DQO. Buscando a viabilidade econômica para a produção de biocombustí-

veis, optou-se pela concentração de 100%, pois assim os gastos decorrentes do meio sintético serão ausentes.

É importante ressaltar que todas as concentrações de efluente de UASB promoveram o crescimento da microalga em estudo, podendo qualquer uma ser utilizada em larga escala para a produção de biocombustíveis. O que influenciará na escolha da proporção ideal é o objetivo que se pretende alcançar, seja ele focar na produção de biocombustíveis, seja focar na redução de custos, seja focar na biorremediação do efluente.

3.2 Lipídios na *Scenedesmus acuminatus*

A partir da concentração ótima (100% de efluente de UASB) obtida por meio dos estudos discutidos na seção anterior, foi realizado um cultivo em maior escala (fotobioreator de 6L) para assim quantificar o teor de lipídios contido na biomassa microalgal.

Para essa quantificação foi empregado o método descrito por Folch et al. (1957) na extração dos lipídios, e assim foi possível determinar que, para uma concentração de 100% de efluente de UASB, a *Scenedesmus acuminatus* apresentou um teor de lipídios de 10,42%.

Radmann e Costa (2008), por meio do método proposto por Folch et al., realizaram a quantificação de lipídios totais da microalga *Scenedesmus obliquus* e obtiveram teor lipídico de 6,18%. Baumgartner (2011) realizou extração de lipídios da microalga *Scenedesmus* sp. pelo método de Bligh e Dyer e obteve 8,3% de lipídios totais. Chng et al. (2016) realizaram estudos de extração da microalga *Scenedesmus dimorphus* utilizando a metodologia adaptada de Bligh e Dyer e alcançou teor de 14%.

3.3 Análise Estatística

Para verificar o nível de relação entre os parâmetros descritos na Tabela 1 foi realizado o estudo da matriz de correlação para a microalga *Scenedesmus acuminatus*.

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação entre os parâmetros avaliados para a *Scenedesmus acuminatus*. Constata-se, de modo geral, grande número de parâmetros que se correlacionam entre si, com correlações que chegam à ordem de +/- 0,99.

Para essa microalga a remoção de DQO apresentou-se como fator importante para determinados parâmetros, como exemplo para a concentração de efluente de UASB, revelando correlação bastante expressiva e também correlação com a velocidade específica e com o tempo de geração. Essas correlações indicam que reduções eficientes de DQO acontecerão em concentrações elevadas de efluente de UASB com altas velocidades específicas e baixos tempo de geração. Destaca-se correlação moderada (0,4 até 0,6) da produtividade com os demais parâmetros, a exceder com a remoção de DQO.

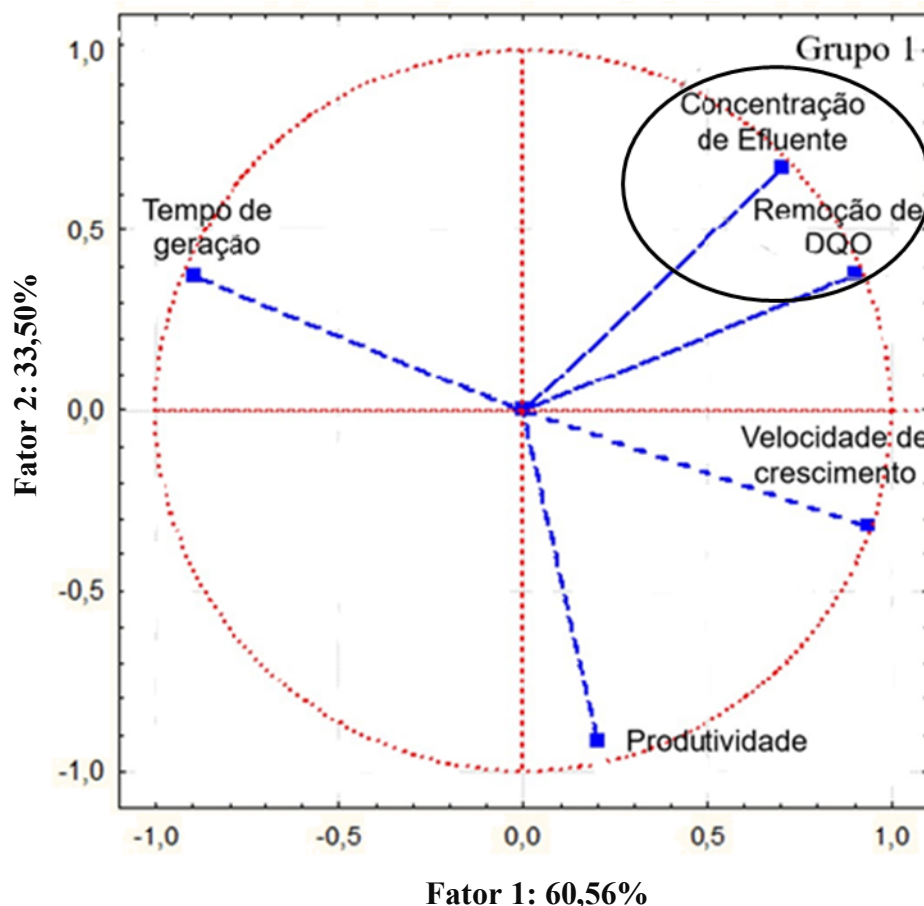
Tabela 2 - Matriz de correlação para a *Scenedesmus acuminatus*

| Variáveis | % Efluente de UASB | Velocidade específica | Tempo de geração | Remoção de DQO | Produtividade |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|------------------|----------------|---------------|
| Efluente de UASB | 1 | | | | |
| Velocidade específica | 0,42 | 1 | | | |
| Tempo de geração | -0,34 | -0,99 | 1 | | |
| Remoção de DQO | 0,91 | 0,70 | -0,62 | 1 | |
| Produtividade | -0,41 | 0,43 | -0,44 | -0,11 | 1 |

Fonte: Autores (2016).

Uma maneira de identificar a formação de grupos com afinidades equivalentes é a Análise em Componentes Principais (ACP). Nesse âmbito, a Figura 4 apresenta os parâmetros que se relacionam e são semelhantes entre si.

Figura 4 - Análise em Componentes Principais para *Scenedesmus*



Fonte: Autores (2016).

Observa-se que a projeção de variação dos dados nos dois eixos principais explicam aproximadamente 95% (Fator 1 + Fator 2) da variabilidade do processo, representando uma ótima correlação entre os dados.

A ACP para *Scenedesmus acuminatus* apresentada na Figura 4 mostra a formação de um grupo correlacionado mais intimamente, e as demais variáveis apareceram de forma isolada. Os resultados obtidos corroboram com a matriz de correlação para esta microalga, expondo a formação de elementos com dispersão semelhante.

Verifica-se que no grupo 1 há uma estreita correlação entre a concentração de efluente com a remoção de DQO, conforme já discutido na matriz de correlação. Destaca-se que ocorreram correlações negativas para essa análise de ACP, verificando inverso de proporcionalidade entre a velocidade específica e o tempo de geração. Além disso, vale salientar que a produtividade apresentou moderada correlação com os demais parâmetros.

4 CONCLUSÕES

Mediante a avaliação do potencial biotecnológico da microalga *Scenedesmus acuminatus* foi possível concluir:

- A produtividade elevada da biomassa de microalgas a partir de águas residuárias oriundas do tratamento de esgoto doméstico indica que esse método de cultivo é viável para geração de biocombustível, avaliado como uma das muitas abordagens utilizadas para produção de energia sustentável e renovável.
- A viabilidade da inserção do efluente resultante do tratamento anaeróbico de esgoto doméstico no cultivo das microalgas foi comprovada quando se observou excelente adaptação e consequente desenvolvimento da microalga submetida a diferentes proporções do efluente em seu cultivo.
- Associando a eficiência do tratamento anaeróbico com o tratamento realizado pelas microalgas foi obtida uma remoção total em torno de 80% da DQO inicial do esgoto doméstico.
- A microalga *Scenedesmus acuminatus* mostrou caminho bastante promissor para a produção do biodiesel a partir da extração de lipídios de sua biomassa, tendo em vista ter apresentado em sua composição teor de lipídios bastante significativo.

Diante da comprovação da viabilidade do cultivo dessa microalga em águas residuárias, pode-se partir para a próxima frente de estudo, que será a produção do biocombustível em si, analisando com mais detalhes os custos desse processo para uma escala real e fazendo comparações com os preços dos combustíveis utilizados atualmente a fim de elucidar a competitividade do biocombustível.

5 REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington, 2005. 1134 p, 19ª ed.
- BAUMGARTNER, T.R.S. **Cultivo e extração de óleo das microalgas *Scenedesmus sp.* e *Spirulina sp.* para a síntese de ésteres visando à produção de biodiesel**. 124 p. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá-PEQ/UEM, Paraná.
- BAUMGARTNER, T. R. S. et al. Avaliação da produtividade da microalga *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat em diferentes meios de cultivo. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 2, 2013.
- BENEMANN, J.R. **Microalgal Biofuels: A Brief Introduction**. **Benemann Associates and MicroBio Engineering, Walnut Creek, CA**, 2009.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1997.
- CHEIS, D. Remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, no tratamento de esgotos. **Revista TAE**, ed. nº 18, 2014.
- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. **Trends in Biotechnol**, v.26, n. 3, p. 126-131, 2007.
- CHNG, L. M.; CHAN, D. JC; LEE, K. T. Sustainable production of bioethanol using lipid-extracted biomass from *Scenedesmus dimorphus*. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 68-73, 2016.
- CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasília: CONAMA, 2011.
- DZUMAN, M. J. **Efeito da reciclagem repetida do meio de cultivo da microalga *Scenedesmus sp.* para a produção de biodiesel**. 100p. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FOLCH, J.; LESS, M.; SLOANE S. G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, n.1, p.497-509, 1957.
- HISS, Haroldo. Cinética de processos fermentativos. **Biologia industrial**, v. 2, p. 93-122, 2001.
- LOURENÇO, S. O. **Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações**. 1 ed. São Paulo: RiMa, 2006.
- MULBRY, W. et al. Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. **Bioresource technology**, v. 99, n. 17, p. 8137-8142, 2008.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. **Bioresource technology**, v. 102, n. 1, p. 17-25, 2011.

RADMANN, Elisangela Martha; COSTA, Jorge Alberto Vieira. Conteúdo lipídico e composição de ácidos graxos de microalgas expostas aos gases CO₂, SO₂ e NO. **Revista Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1609-1612, 2008.

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**. 2013. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos.

SILVA, Débora Andreatta da. **Produção de biomassa de microalgas cultivadas em esgoto sanitário biodigerido visando a produção de biodiesel**. 2014.

SILVA, D. A. **Produção de biomassa de microalgas cultivadas em esgoto sanitário biodigerido visando a produção de biodiesel**.

106 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, J. M.; KONRADT-MORAES, L. C. Vantagens e desvantagens dos biocombustíveis e dos combustíveis fósseis. **Anais do SEMEX**, v. 5, n. 5, 2015.

VIDAL, I. C.A. **Estudo da potencialidade de produção de biocombustíveis entre as microalgas Chlorella sp. e Scenedesmus sp. cultivadas em águas residuárias**. 2016. 103p. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

VIEIRA, T. Q. **Uso de resíduos líquidos no cultivo da microalga Chlorella sp, com potencial para produção de biocombustíveis**. 2013. 61p. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

VON SPERLING, M. **Urban wastewater treatment in Brazil**. Inter-American Development Bank, 2016.