

II-922 – PRODUÇÃO DE BIOMASSA E RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES A PARTIR DE MICROALGAS E MACRÓFITAS FLUTUANTES EM LAGOAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.

José Carlos Alves Barroso Júnior⁽¹⁾

Engenheiro de Produção e Sistemas pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Mestre e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará.

Maria Cristina de Almeida Silva⁽²⁾

Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Mestre e Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora Adjunta da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nestor Leonel Muñoz Hoyos⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Cauca. Mestre e Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq - Nível A na Universidade Federal do Paraná (Pós-Doutorado).

Lígia Conceição Tavares⁽²⁾

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará. Mestre e Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Av. Mister Hull, s/n, Pici – Universidade Federal do Ceará – Campus Pici – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – bloco 713 – Pici – Fortaleza – CE – CEP: 60455-900 – Brasil – e-mail: barrosojr@deha.ufc.br

RESUMO

A energia e a recuperação de nutrientes (fósforo e nitrogênio) são essenciais para o avanço da sociedade e está intimamente atrelada ao desenvolvimento de novas tecnologias para aproveitamento de recursos. A recuperação de nutrientes pode ser realizada a partir do tratamento de efluentes através de diversos sistemas, dentre eles as Lagoas de Alta Taxa (LAT). As LAT de cultivo de microalgas e macrófitas flutuantes são uma alternativa para o tratamento de efluentes e fixação/recuperação de nutrientes através da biomassa. Este tipo de lagoa é fortemente influenciada pela radiação solar e temperatura, a qual interfere diretamente na fotossíntese. Este trabalho avaliou a produção de biomassa em LAT com cultivo de microalgas e macrófitas flutuantes e recuperação de nutrientes em sistemas de LAT com cultivo de macrófitas para clima quente (primavera e verão) e clima frio (outono e inverno) a partir do tratamento de esgoto sanitário. O efluente sanitário foi pretratado a partir de reator anaeróbio do tipo UASB operado com vazão de 1,6 m³/h e TDH de 11,4 horas, a vazão efluente deste reator foi igualmente dividida (0,8 m³/h) para cada uma das LAT, sendo uma para cultivo de microalgas (LA) e outra para cultivo de macrófitas flutuantes (LM). As LAT's foram operadas com lâmina d'água de 30 cm e TDH de 4,1 dias. Na LM a densidade de macrófitas flutuantes foi controlada entre 30-60 g/m², assim a produtividade da biomassa foi avaliada a partir do controle de densidade. A LA obteve produtividade de 183,0 ± 13,8 kg/ha·dia no período quente e de 93,9 ± 8,2 kg/ha·dia no período frio, apresentando porcentagem de lipídios de 9,1 ± 1,4. Na LM foi obtida produtividade de 139,1 kg/ha·dia no período quente e de 100,8 kg/ha·dia no período frio, apresentando concentração de fósforo na biomassa de macrófitas de 0,81 ± 0,04 % e de nitrogênio de 5,3 % ± 0,2%. A partir das concentrações de nutrientes e a retirada de macrófitas na LM obteve-se o potencial de recuperação de nutrientes na lagoa, resultando para o fósforo a recuperação de 15,4 g/dia para o período quente e de 11,2 g/dia para o período frio. Para o nitrogênio foi obtido valores de potencial de recuperação de 117,26 g/dia para o período quente e de 85,20 g/dia para o período frio.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de Nutrientes, Microalgas, Macrófitas, Produção de Biomassa, Lagoas de Alta Taxa.

INTRODUÇÃO

A energia é essencial para o avanço da sociedade e está intimamente atrelada ao desenvolvimento das energias renováveis. Este desenvolvimento pode ter origem em sistemas sustentáveis de tratamento de efluentes. O aproveitamento da biomassa e nutrientes provindos de sistemas de tratamento de efluentes tem ganhado espaço com a economia circular. Dentre eles, destacam-se as lagoas de tratamento de efluentes e produção de biomassa de algas e macrófitas flutuantes, visto que os requisitos de alta energia e os custos associados com o tratamento de águas residuárias e de remoção de nutrientes com tecnologias físico-químicas existentes, continua sendo um desafio para o desenvolvimento (Barroso Júnior et al., 2022).

Uma alternativa atrativa é a utilização de lagoas de alta taxa (LAT), aliando o tratamento de efluentes e a produção de biomassa através das microalgas e macrófitas flutuantes, que podem ser utilizadas para bioenergia (Barroso Júnior et al., 2022). Esta opção promete reduzir os custos de cultivo de microalgas e da energia necessária para o tratamento de efluentes, permitindo a recuperação e recuperação de nutrientes operando com valores de TDH entre 3 e 6 dias (Abdelaziz et al., 2014; Barroso Júnior et al., 2022).

Os impactos da construção das LAT e operação pra cultivo de microalgas são uma necessidade de fornecer tratamento de águas residuais e, assim, o rendimento de algas posterior, sendo uma matéria prima de biocombustíveis de menor impacto ambiental. Além disso, a água e os nutrientes que são utilizados nestes sistemas são neutros provindo dos esgotos (Benemann, 2008; Craggs et al., 2014). A posterior extração de energia e aplicação da biomassa algal residual no solo representa uma fonte de energia sustentável e de fertilizantes que oferecem benefícios ambientais (Craggs et al., 2014).

As lagoas com cultivo de macrófitas são uma variação das lagoas de estabilização, que possui uma camada de plantas flutuantes que auxilia no processo de tratamento e apresenta maior taxa de crescimento entre plantas superiores (Mohedano, 2010).

Devido a essa elevada taxa de crescimento pode-se remover e recuperar nutrientes da fase líquida, além de fixarem CO₂ atmosférico para o crescimento via fotossíntese, que são influenciados por fatores como radiação solar, disponibilidade de nutrientes, temperatura, pH entre outros (DOMA; NASSAR, 2009). As macrófitas apresentam taxa de crescimento específico 0,25-0,30 g/(g·dia) (Barroso Júnior et al., 2022; Brugnago, 2014).

Este trabalho teve como objetivo a avaliação a recuperação de nutrientes através da produção de biomassa de microalgas e macrófitas flutuantes em cultivos separados em lagoas de alta taxa, alimentadas com esgoto sanitário pré-tratado por reator anaeróbio tipo UASB.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa de microalgas e macrófitas em sistema paralelo de lagoas de tratamento de efluentes e a recuperação de nutrientes através da biomassa;

Os objetivos específicos foram operar as lagoas em modo paralelo (uma lagoa com cultivo de microalgas e outra com cultivo de macrófitas) com TDH de 4,1 dias em escala piloto, avaliando a produção de biomassa nas lagoas e a recuperação de nutrientes para o período quente (verão e primavera) e o período frio (outono e inverno), identificando as melhores condições operacionais para maior recuperação de nutrientes e produção de biomassa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em uma planta piloto localizada na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) em Porto Alegre – RS em clima subtropical úmido, segundo o INMET a precipitação anual nesta área é de 1397 mm. Os dados foram coletados semanalmente entre janeiro e junho de 2016, sendo janeiro a março os dados referentes ao período quente e de abril a junho os dados referentes ao período frio, totalizando 10 amostras para cada período.

O sistema piloto é formado por um reator do tipo UASB, duas lagoas, uma com macrófitas flutuantes (LM), e outra com microalgas (LA) e uma esteira retiradora de macrófitas (para controle da densidade das macrófitas). O reator UASB possui volume de 18,3 m³ e TDH de 11,4 horas. As lagoas apresentam volume de 80 m³, área superficial de 148,0 m² com lâmina d'água de 30 cm e TDH de 4,1 dias.

A Figura 1 apresenta o registro fotográfico das lagoas, a direita a LA e a esquerda a LM, ao fundo da LM é possível identificar a esteira retiradora de macrófitas, utilizada para auxiliar no controle da densidade.

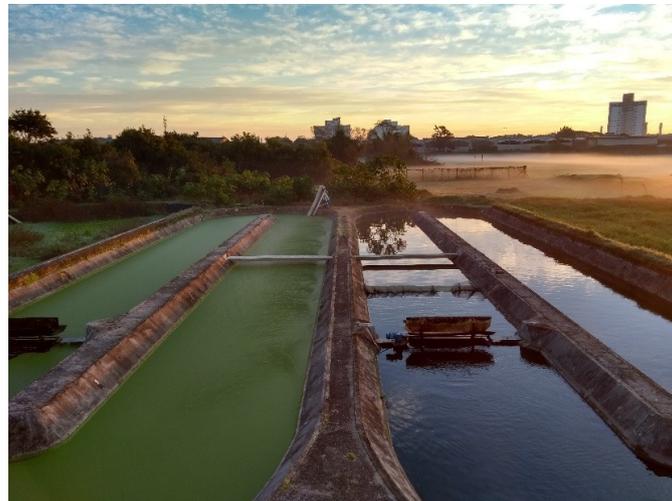


Figura 1: Registro fotográfico das lagoas em operação, a direita está a LA (microalgas) e a esquerda a LM (macrófitas flutuantes).

O reator UASB é alimentado por efluente sanitário desarenado com vazão de 1,6 m³/h e o seu efluente é dividido igualmente para cada uma das lagoas (0,8 m³/h). Na LM a densidade de macrófitas foi mantida entre 30 e 60 g/m² (base seca) com predominância das seguintes espécies; *Lemna minor*, *Spirodela intermedia*, *Spirodela polyrhiza*, e *Wolffia columbiana* e na LA as algas predominantes foram; *Nitzschia*, *Chlorella*, *Euglena*, *Desmodesmus*, *Scenedesmus*, *Gomphonema*, *Lepocinclis*, *Trachelomonas*, *Coelastrum*, *Tetrastrum* e *Phacus*. A Figura 2 apresenta o esquema de funcionamento da planta piloto de tratamento de efluentes e recuperação de recursos localizado dentro de uma estação de tratamento de efluentes sanitários em Porto Alegre – RS.

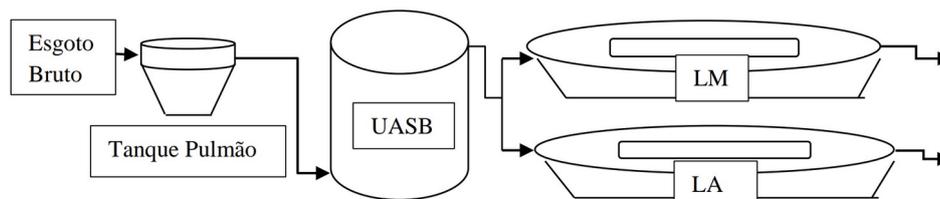


Figura 2: Planta Piloto de tratamento de efluentes e recuperação de recursos.

A partir das porcentagens de nutrientes presentes na biomassa de macrófitas e a quantidade de biomassa retirada da lagoa foi estimada a recuperação de nitrogênio e fósforo, considerando a diferença de densidades no início e fim da medição, a partir da equação 1.

$$MN = [c * Bc \pm (da - db)] * A \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

MN = massa de nutrientes em g;

Bc = biomassa retirada em g/m²·dia;

da = densidade medida na lagoa após a retirada de macrófitas (g/m²·dia);

db = densidade medida na lagoa na última retirada de macrófitas (g/m²·dia);

A = área superficial da lagoa em m²;

c = concentração do nutriente em g/m³.

O cálculo da produção de biomassa de macrófitas foi realizado a partir da diferença de densidade da LM entre dois dias consecutivos (taxa de crescimento) e a retirada de lemna a partir da esteira automática para o

controle da densidade. A produção total foi avaliada a partir da produção total considerando a área superficial da LM.

O excesso de produção da biomassa foi retirado por uma esteira automatizada controlada por inversor de frequência e *timer*, que foram ajustados conforme a produção das macrófitas. A retirada de macrófitas é essencial para o bom desempenho da lagoa, devido ao tempo de vida das plantas (reprodução de 10-20 vezes). Caso não haja a retirada das plantas estas podem morrer, perdendo sua capacidade de flutuação e arraste junto ao efluente final ou sua sedimentação com ressolubilização dos nutrientes e matéria orgânica na massa líquida. A demanda de biomassa a ser retirada é calculada a partir da taxa de crescimento e da densidade de lemnáceas que apresenta a lagoa, objetivando maior remoção/recuperação de poluentes/nutrientes do efluente líquido.

A Figura 3 apresenta o registro fotográfico da esteira retiradora de macrófitas, a qual é regulada para funcionar de acordo com a densidade registrada durante o período de operação dos sistemas de tratamento e a influência da radiação e temperatura (maior ou menor produtividade).



Figura 3: Registro fotográfico da esteira retiradora de macrófitas, instalada ao final da LM.

Com este método se sabe a capacidade de recuperação de nutrientes, pois controlando-se a densidade corretamente (sempre com a mesma densidade), pode ser recuperado o máximo de nutrientes possível. Entretanto, o fósforo e nitrogênio recuperado é somente aquele realmente absorvido pela biomassa nas lagoas, no caso o contido na biomassa de macrófitas e bactérias aderidas nas raízes.

A produção de biomassa de microalgas foi baseada na quantificação de sólidos suspensos voláteis da LA, considerando-se que mais de 70% dos SSV são compostos por microalgas (MARA; PEARSON, 1986).

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os valores de produção de biomassa para recuperação de nutrientes são influenciados pelo clima local, já que o experimento foi conduzindo em sistema aberto. Assim, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 os valores de temperatura e radiação solar.

Na Tabela 1 são apresentadas as médias de radiação solar no local de estudo para o período quente e frio.

Tabela 1: Valores médios de radiação solar obtidos no período quente e frio.

Período	Média radiação solar (W/m ²)
Quente	626,1 ± 166,4
Frio	690,2 ± 155,8

Na Tabela 2 são apresentadas os valores médios, máximos e mínimos de temperatura medidos diretamente nas lagoas para o período quente e frio.

Tabela 2: Temperaturas das lagoas para o período quente e frio.

Período Quente		
	LM	LA
Máximo (°C)	35,4	35,6
Média (°C)	30,6 ± 4,8	30,8 ± 5,4
Mínimo (°C)	27,1	27,4
Período Frio		
	LM	LA
Máximo (°C)	23,2	23,6
Média (°C)	17,9 ± 2,9	19,5 ± 3,2
Mínimo (°C)	12,0	12,1

A interpretação dos dois parâmetros (temperatura e radiação solar), permite avaliar a influência destes na produção de biomassa e por consequência na recuperação de nutrientes, visto que durante o período quente há maiores valores de temperatura, porém menores valores de radiação solar.

Tabela 3: Produção de Biomassa de Microalgas a partir da análise de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV).

Período	Quente	Frio
Produção (kg/ha·dia)	183,0 ± 13,8	93,9 ± 8,2
Produção (g/m²·dia)	18,3 ± 1,4 ^a	9,4 ± 0,8 ^b

Os valores de produção de biomassa de microalgas são mais elevados para o período quente, que pode ser justificado devido aos elevados valores de temperatura, mesmo obtendo valores elevados de radiação solar. Oliveira et al., (2020) apresenta produtividade de 6,80 ± 1,9 g/m²·dia em ambiente controlado, sendo inferior ao encontrado no experimento durante os dois períodos. A literatura apresenta valores entre 1,9 e 26,2 g/m²·dia (Craggs et al., 2014; Sutherland et al., 2015).

A elevada produção é possível pois une variáveis essenciais para a produção de biomassa, como o TDH, temperatura e radiação solar. O elevado TDH permite que haja multiplicação das microalgas (Craggs et al., 2014) e as condições de temperatura (27,4 – 35,6 °C) e radiação solar (> 600W/m²) influenciam diretamente a produção de microalgas (Militão et al., 2019), além do elevado tempo de exposição ao sol, que durante os meses de primavera e verão apresenta períodos mais longos.

Tabela 4: Porcentagem de lipídios encontrada nas amostras de biomassa de microalgas.

Amostra	Porcentagem de lipídios (%)
Biomassa de algas	9,1 ± 1,4

A porcentagem de lipídios encontrada nas amostras deste trabalho se apresenta próximas às encontradas por outros autores, que variam entre 2,0 e 22,0 % (SUGANYA et al., 2016; BEHL et al., 2019; HASHEMIAN et al., 2019; RAEISSADATI et al., 2019).

A biomassa de microalgas apresenta desvantagem devido à necessidade de desaguamento, este normalmente realizado a partir de flotação por ar dissolvido, filtro prensa e/ou centrifugação (HANOTU; BANDULASENA; ZIMMERMAN, 2012; BARROSO, 2015), o que eleva consideravelmente os custos do sistema de recuperação e aproveitamento da biomassa.

A elevada produção de biomassa algal é possível pois une variáveis essenciais, como o TDH, temperatura e radiação solar. O elevado valor de TDH possibilita a multiplicação das microalgas (SÁNCHEZ-BAYO et al., 2019) e as condições de temperatura (27,4 – 35,6 °C) e radiação solar (> 600 W/m²) influenciam diretamente no desenvolvimento das microalgas (HUANG; HANKAMER; YARNOLD, 2019; MILITÃO et al., 2019), além do elevado tempo de exposição ao sol, que durante os meses de primavera e verão apresenta períodos mais longos (dias mais longos e noites mais curtas).

Tabela 5: Produção da Biomassa de Macrófitas a partir da retirada do excesso de biomassa para controle da densidade.

Período	Quente	Frio
Produção (kg/dia)	2,06 ± 0,29	1,49 ± 0,31
Produção (kg/ha·dia)	139,1	100,8
Produção (g/m²·dia)	13,9 ^a	10,1 ^b

A produção de lemna apresentou valores mais elevados para o período quente, mesmo apresentando valores de radiação solar mais elevados para o período frio. Entretanto, foram registrados valores inferiores de temperatura no período frio, exercendo influência no desenvolvimento da macrófitas como pode ser observado na produção de biomassa.

O cálculo da produção foi realizado a partir da diferença de densidade da LM entre dois dias consecutivos (taxa de crescimento) e a retirada de lemna a partir da esteira automática para o controle da densidade. A produção por hectare·dia foi avaliada a partir da produção total considerando a área superficial da LAT (148 m²)

A taxa de crescimento específico apresentada pelas macrófitas foi de 0,25 -0,30 g/g·dia, valores próximos aos apresentados pela bibliografia que variam entre 0,23 -0,3 g/g·dia para a espécie *Landoltia punctata* (Brugnago, 2014; Mohedano, 2010) e de 0,097 g/g·dia para a *Lemna minor* (IATROU; STASINAKIS; ALOUPI, 2015).

Tabela 6: Composição de nitrogênio e fósforo na biomassa de macrófitas flutuantes.

Nutriente	Porcentagem do peso seco (%)	Frio
Nitrogênio	5,3 % ± 0,2	1,49 ± 0,31
Fósforo	0,81 ± 0,04	100,8

Os valores de recuperação de fósforo (0,81 %) e nitrogênio (5,3 %) estão ligados diretamente com a produção de biomassa de macrófitas. Estas porcentagens se apresentam dentro da faixa reportada pela literatura, sendo para o fósforo valores entre 0,7 -1,4 % (Stadtlander et al., 2019) e para nitrogênio em torno de 5,5 % KAUR et al., (2019). A biomassa de lemnas e microalgas pode ser utilizada como substrato para a produção de energia a partir da digestão anaeróbia (Kaur et al., 2019), lipídios para biodiesel (Khan et al., 2018) e alimentação animal (APPENROTH et al., 2017).

O nitrogênio e o fósforo compõem os nutrientes essenciais para vida. Desta forma a recuperação deste pode reduzir a necessidade de aquisição de compostos nitrogenados para fins de adubagem ou como matéria prima para processos de digestão anaeróbia (BETTANI et al., 2019; COLLET et al., 2011; MORALES et al., 2019).

Os valores de recuperação de fósforo e nitrogênio estão ligados diretamente com a produção de biomassa de lemna, seguindo assim a mesma tendência da produção de lemna. Os valores máximos alcançados para recuperação de fósforo foram de 15,4 g/dia (0,10 g/m²·dia), e para o nitrogênio a recuperação foi mais elevada para o período quente, possibilitando valores de 117,26 g/dia.

Tabela 7: Potencial de recuperação de nutrientes a partir da produção de biomassa de macrófitas.

Potencial de Recuperação de Pt		Potencial de Recuperação de N	
Produção na lagoa (g/dia)	g/m ² ·dia	Produção na lagoa (g/dia)	g/m ² ·dia
Período Quente			
15,4 ^a	0,10	117,26 ^a	0,79
Período Frio			
11,2 ^b	0,08	85,20 ^b	0,58

Estes valores elevados de recuperação de nutrientes ocorrem devido a ao conjunto de fatores relacionados principalmente a temperaturas elevadas no período quente (27,4 a 35,6 °C), elevados valores de radiação solar (> 600 W/m²) e maior período de exposição ao sol (primavera/verão).

Esta biomassa pode ser aproveitada para agricultura como adubo e/ou levado em consideração quando for utilizado como matéria prima para digestão anaeróbica com o intuito de geração de produtos e subprodutos (estabilização do lodo, biogás, adubo). Com estes valores é possível a otimização da dosagem de nutriente para o processo.

A utilização de macrófitas para a produção de biodiesel não é muito atrativa, visto que esta apresentou cerca de 2-3% de lipídios, porém pode ser utilizada para alimentação animal devido a elevada concentração de proteínas (APPENROTH et al., 2017).

CONCLUSÕES

Os sistemas de lagoas de alta taxa de algas e macrófitas apresentaram resultados atrativos para a produção de biomassa com intuito de remoção e recuperação de nutrientes.

A produção de biomassa de microalgas foi mais elevada para o período quente (18,3 g/m²·dia) quando comparado ao período frio (9,4 g/m²·dia), verificando a influência da radiação solar e temperatura para a produção de microalgas. Como consequência, a possibilidade de recuperação de nutrientes a partir das microalgas é mais elevada para o período quente.

A produção de macrófitas foi mais elevada para o período quente, apresentando 13,9 g/m²·dia e para o período frio de 10,1 g/m²·dia, seguindo a mesma tendência das microalgas.

O potencial recuperação de fósforo a partir da LM foi 0,10 g/m²·dia para o período quente e 0,08 g/m²·dia para o período frio, seguindo a tendência da produção de biomassa de macrófitas, já que mesmo com diferentes produtividades de biomassa a porcentagem de nutrientes (nitrogênio e fósforo) continuaram as mesmas.

O potencial recuperação de nitrogênio foi mais elevado para o período quente com 0,79 g/m²·dia e para o período frio com 0,58 g/m²·dia, mostrando que é possível o tratamento de efluentes sanitários e a recuperação de nutrientes nos sistemas de tratamento.

A porcentagem de lipídios nas microalgas encontrada foi de 9,1 %, sendo possível a extração deste para a produção de biodiesel. Além disto, é possível o uso da biomassa de macrófitas e microalgas para a produção de bioenergia através da digestão anaeróbica ou extração de álcool, podendo seu substrato final ser usado para composição de adubo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdelaziz, A. E. M., Leite, G. B., Belhaj, M. A., & Hallenbeck, P. C. (2014). Screening microalgae native to Quebec for wastewater treatment and biodiesel production. *Bioresource Technology*, 157, 140–148.

2. Barroso Júnior, J. C. A., Silva, M. C. D. A., Hoyos, N. L. M., & Monteggia, L. O. (2022). Evaluation of UASB effluent post-treatment in pilot-scale by microalgae HRP and macrophytes pond for nutrient recovery. 357(April).
3. BARROSO, J. A. PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE ALGAS EM LAGOAS DE ALTA TAXA ALIMENTADAS COM ESGOTO SANITÁRIO COM POSTERIOR SEPARAÇÃO POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO. Programa de PósGraduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental., [s.l.], 2015.
4. BEHL, K. et al. Performance evaluation of isolated electrogenic microalga coupled with graphene oxide for decolorization of textile dye wastewater and subsequent lipid production. Chemical Engineering journal, [s. l.], v. 375, n. March, p. 121950, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.121950>>
5. Benemann, J. R. (2008). Overview : Algae Oil to Biofuels (annotated presentation) Abstract – a short history of algae biofuels. Fuel, 925.
6. Brugnago, N. (2014). AVALIAÇÃO DE LAGOAS DE LEMNAS (*Landoltia punctata*) PARA O POLIMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO E FIXAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO.
7. Craggs, R., Park, J., Heubeck, S., & Sutherland. (2014). High rate algal pond systems for low-energy wastewater treatment, nutrient recovery and energy production. New Zealand Journal of Botany, 52(1), 60–73.
8. HANOTU, J.; BANDULASENA, H. C. H.; ZIMMERMAN, W. B. Microflotation Performance for Algal Separation. [s. l.], v. 109, n. 7, p. 1663–1673, 2012.
9. HASHEMIAN, M. et al. Production of Microalgae-Derived High-Protein Biomass o Enhance Food for Animal Feedstock and Human Consumption. [s.l.] : Elsevier Inc., 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817941-3.00020-6>>
10. Kaur, M., Srikanth, S., Kumar, M., Sachdeva, S., & Puri, S. K. (2019). An integrated approach for efficient conversion of Lemna minor to biogas. Energy Conversion and Management, 180(October 2018), 25–35.
11. Khan, S. A., Malla, F. A., Rashmi, Malav, L. C., Gupta, N., & Kumar, A. (2018). Potential of wastewater treating *Chlorella minutissima* for methane enrichment and CO₂sequestration of biogas and producing lipids. Energy, 150, 153–163.
12. Militão, F. P., Fernandes, V. de O., Bastos, K. V., Martins, A. P., Colepicolo, P., & Machado, L. P. (2019). Nutritional value changes in response to temperature, microalgae mono and mixed cultures. Acta Limnologica Brasiliensia, 31(0).
13. Mohedano, R. D. A. (2010). Uso de macrófitas lemnáceas (*landoltia punctata*) no polimento do efluente de suinocultura e na fixação de carbono. 270.
14. Oliveira, R. G. de, Vassoler, F., & Santiago, A. da F. (2020). DESEMPENHO ENERGÉTICO E TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA EM FOTOBIORREATOR CONTÍNUO ILUMINADO ARTIFICIALMENTE. Revista Aidis, 13(2), 515–529.
15. Raeissadati, M., Vadivelloo, A., Bahri, P. A., Parlevliet, D., & Moheimani, N. R. (2019). Treating anaerobically digested piggery effluent (ADPE) using microalgae in thin layer reactor and raceway pond. Journal of Applied Phycology.
16. Stadlander, T., Förster, S., Rosskothén, D., & Leiber, F. (2019). Slurry-grown duckweed (*Spirodela polyrhiza*) as a means to recycle nitrogen into feed for rainbow trout fry. Journal of Cleaner Production, 228, 86–93.
17. SUGANYA, T. et al. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 55, p. 909–941, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.026>>
18. Sutherland, D. L., Howard-Williams, C., Turnbull, M. H., Broady, P. A., & Craggs, R. J. (2015). Enhancing microalgal photosynthesis and productivity in wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. Bioresource Technology, 184, 222–229.