



AValiação dos Impactos Ambientais de uma Proposta de Produção de Microalgas em Efluente Urbano

Marcelo de Moura Lima - marcelomlima82@gmail.com

Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc - Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, Av. Independência, 2293, CEP96815-900, Santa Cruz do Sul, RS

Danielle Kochenborger John - daniellekjohn@gmail.com

Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc - Departamento de Química e Física, Av. Independência, 2293, CEP96815-900, Santa Cruz do Sul, RS

Rosana de Cassia de Souza Schneider – rosana@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc - Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Departamento de Química e Física, Av. Independência, 2293, CEP96815-900, Santa Cruz do Sul, RS

Michele Hoeltz – hoeltz@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc - Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Departamento de Biologia e Farmácia, Av. Independência, 2293, CEP96815-900, Santa Cruz do Sul, RS

Fábio de Farias Neves - fabiofneves@hotmail.com

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Centro de Educação Superior da Região Sul (CERES), Departamento de Engenharia de Pesca (DEP), Laboratório de Cultivo e Biotecnologia de Algas (LCBA), Laguna, Santa Catarina.

Resumo: *As microalgas têm sido indicadas para a fixação de carbono e produção de biocombustível destacando, dentre suas vantagens, uma alta eficiência fotossintética, grande produção de biomassa e rápido crescimento comparado a outras culturas. Desta forma, os métodos de produção baseiam-se em cultivo com condições adequadas ao crescimento em ambiente fotossintético seguido de etapas de separação da biomassa, secagem e de obtenção de subprodutos. Os caminhos de produção podem ser diversos e precisam também ser avaliados quanto aos impactos ambientais que podem gerar. Assim, objetivo do trabalho foi inventariar e avaliar o impacto do ciclo de vida da produção de microalgas em estação de tratamento de efluentes em sistema raceway, utilizando o software SimaPro 7.3.2. Como resultado obteve-se que devido ao uso de energia elétrica existem “Danos à Saúde Humana”. na AICV, baseado nos dados inventariados, sendo que a etapa com mais impactos ambientais foi a de produção propriamente dita, onde há o cultivo, apresentando $1,36.10^{-2}$ DALYs, equivalente à 461 pontos. Os impactos ambientais serão menores se forem utilizadas floculação e filtração para a separação, no entanto, o uso da centrífuga poderá auxiliar no rendimento em biomassa, uma vez que o impacto ambiental total, tem pouca diferença.*

Palavras-chave: microalgas, efluente urbano, impactos ambientais



ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSESSMENT OF A MICROALGAE PRODUCTION PROPOSAL IN URBAN EFFLUENT

Abstract: *Microalgae have been indicated for the carbon fixation and biofuel production which is highlighted, among its advantages, a high photosynthetic efficiency, high biomass production and rapid growth if compared to other crops. Thus, the production methods are based on the growth suitable conditions of the cultivation in photosynthetic environment followed by the steps of biomass separation, drying and by-products obtaining. The production steps are diverse and they also need to be assessed regarding the environmental impacts that may be generated. In this way, the objective of this study was to inventory and to assess the life cycle of the microalgae production in the wastewater treatment plant in raceway system using the SimaPro 7.3.2 software. As results, it was obtained that due to the electricity use, there are 'Damage to Human Health' in the AICV, based on the inventory data. The step that presented the most environment impact was the production step which has the crop, with 1,36.2 DALYs, equivalent to 461 points. The environment impacts will be lower if used flocculation and filtration for the separation step. However, the centrifuge use may assist to the biomass yield because the overall environment impact has small difference.*

Keywords: *microalgae, urban effluent, environmental impacts*

1. INTRODUÇÃO

As microalgas desenvolvem um grande papel na tarefa de mitigar os efeitos da poluição causada pelo homem, onde atuam como agente de captura de resíduos de CO₂ presentes na atmosfera, diminuindo os efeitos causados pelos gases de efeito estufa (Khan *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2011).

Sua capacidade de adaptação em águas de reuso, efluentes industriais ou áreas contaminadas lhes confere um importante papel na biorremediação destas áreas, sendo ao mesmo tempo, capazes de gerar produtos e sub-produtos de grande utilidade para a indústria alimentícia, farmacêutica e principalmente geração de biocombustíveis. Além disso, destaca-se a capacidade desses microrganismos de capturar metais pesados dissolvidos de seus arredores, como por exemplo o ferro. Níveis relativamente elevados de ferro detectados em amostras de águas residuais foram refletidos na bioacumulação elevada de ferro no tecido e as eficiências do sistema de remoção atingiram 98 e 96,5% para os sistemas lote e contínuo, respectivamente (Hammouda *et al.*, 1995).

Segundo Khan *et al.* (2009); Ahmad *et al.* (2011); Kumar *et al.* (2011) 1 kg de biomassa seca produzida por microalgas requer cerca de 1,8 kg de CO₂. Khan *et al.* ainda ressaltam uma eficiência para a fixação de CO₂ de 10-50 vezes maior que plantas terrestres.

Microalgas têm sido sugeridas como uma potencial fonte de combustível renovável (De Souza Schneider *et al.*, 2011; Pittman, J. K. *et al.*, 2011). Entretanto para essa fonte se tornar efetiva, a produção de biomassa de microalgas deve apresentar viabilidade econômica. Um método para reduzir custos na produção dessa biomassa é integrar o tratamento de água residual (efluente líquido urbano) com produção de biomassa de microalgas [3]. Os resíduos provenientes dessa fonte são ricos em carbono, nitrogênio e outros minerais, e apresentam potencial para utilização como substrato para o cultivo de microalgas, o que irá reduzir consideravelmente o custo com nutrientes e água (Li *et al.*, 2011).

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



Muitas espécies de microalgas conseguem crescer com eficiência em águas residuais devido à sua capacidade de utilizar carbono orgânico, nitrogênio e fósforo inorgânicos presentes nessas águas. Um requisito importante no tratamento de águas residuais é a remoção de concentrações elevadas de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. Se a remoção desses nutrientes não for eficiente pode apresentar risco de eutrofização em corpos hídricos. O fósforo é particularmente difícil de remover de águas residuais sendo que, na maioria dos tratamentos comerciais, ele é precipitado com uso de produtos químicos para formar uma fração insolúvel sólida. Entretanto, o fósforo recuperado por esses métodos não é totalmente reciclável e o precipitado restante é disposto em aterro. As microalgas são eficientes na remoção de fósforo, nitrogênio e metais pesados de águas residuais, portanto, têm papel importante na remediação dessas águas (Pittman, Jon K. *et al.*, 2011).

Quanto aos macronutrientes, as microalgas requerem carbono (C), nitrogênio (N), oxigênio (O), hidrogênio (H) e fósforo (P), além de cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e potássio (K). Como micronutrientes, geralmente requerem ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e cobalto (Co), enquanto algumas microalgas também necessitam baixas concentrações de vitaminas no meio de cultura (Guillard, 1975). Os principais elementos limitantes do crescimento são o carbono, nitrogênio, o fósforo e o ferro (Richmond, 2004; De Oliveira Lourenço, 2006; Soares, 2010).

A utilização das microalgas vai além das diversas formas de contribuição para a mitigação da poluição da água e do ar, a produção de microalgas também deve ser realizada de forma limpa. A etapa que mais inspira cuidados na produção da biomassa é a sua separação que geralmente requer uma ou mais etapas, sendo este um desafio no processo de produção de biomassa de microalgas. Muitos métodos podem ser utilizados para isso, sendo o mais usual a adição de floculantes e a eletroflotação que tem sido utilizada com maior frequência.

A seleção da tecnologia de recuperação da biomassa é fundamental para a viabilidade econômica da produção. E inclui os processos de floculação, filtração, flotação e centrifugação. A escolha da técnica de colheita depende de características da microalga como tamanho, densidade e valor do produto alvo. Geralmente a colheita envolve dois estágios (Brennan e Owende, 2010):

(1) Colheita em massa: destina-se a separação da biomassa em suspensão. Depende da concentração inicial da biomassa e as tecnologias empregadas são floculação, flotação e sedimentação gravitacional;

(2) Espessamento – objetiva-se concentrar a biomassa por meio de técnicas como centrifugação, filtração e agregação ultrassônica. Geralmente é um passo com maior consumo de energia que a colheita em massa.

A floculação faz parte do primeiro estágio da colheita em massa e se destina a agregar as células microalgais. É uma etapa preparatória antes de outros métodos como filtração, flotação ou sedimentação gravitacional. Uma vez que as células de microalgas carregam uma carga negativa que previne a agregação natural de células em suspensão, a adição de floculantes, como cátions multivalentes ou polímeros catiônicos, reduz ou neutraliza a carga negativa (Brennan e Owende, 2010).

Com relação ao uso de agentes floculantes, são reagentes que possuem impacto ambiental associado. O uso de NaOH por exemplo, é um método barato e rápido (Wu *et al.*, 2015). No entanto, o meio deve ser neutralizado para o descarte. Dependendo do agente floculante pode haver modificações no perfil dos ácidos graxos da biomassa. Por outro lado, na eletroflotação os efeitos da separação sobre a biomassa e o efluente a ser descartado não são conhecidos (Gressler *et al.*, 2014).

É possível utilizar a flotação com o objetivo de melhorar a separação da biomassa. Esta técnica consiste na separação de células de algas utilizando microbolhas de ar disperso na água e, ao contrário da floculação, não necessita de adição de produtos químicos. Apesar da flotação



ser mencionada como método potencial de separação de biomassa, há poucas evidências de sua viabilidade técnica ou econômica (Brennan e Owende, 2010).

Outro método de recuperação de biomassa é a eletroflotação. Nesse processo utilizam-se eletrodos de ferro e alumínio; os mesmos sofrem eletrólise da água, onde as microalgas suspensas são desestabilizadas por íons, resultantes da dissolução do ânodo e são flotas por microbolhas de hidrogênio $H_2(g)$ gerados no cátodo que capturam em partículas suspensas. A remoção da biomassa eletroflotada pode ser realizada com peneira, nessa etapa pode haver perdas, mas é rápida e eficaz. Este método, entretanto, gera resíduos de íons metálicos a partir dos eletrodos e também consumo de energia (Baierle *et al.*, 2015).

Recentemente pesquisas demonstraram que a tecnologia de eletrocoagulação-flotação oferece uma atrativa alternativa para os métodos tradicionais de tratamento de águas com presença de microalgas, com consumo de energia relativamente baixo (Poelman *et al.*, 1997; Ghernaout *et al.*, 2008; Gao, Du, *et al.*, 2010; Gao, Yang, *et al.*, 2010).

Outros estudos também demonstraram que eletrodos de alumínio podem alcançar melhor remoção de microalgas comparado com eletrodos de ferro, obtendo diferenças de remoção de 78,9% para 100% em 45min. Isso se deve provavelmente a maior corrente gerada por eletrodos de alumínio (Gao, Du, *et al.*, 2010).

Em adição ao material do eletrodo, outro parâmetro importante na eficiência do método de eletroflotação é o tamanho dos eletrodos e sua superfície de contato com o meio. Resultados mostram que a quantidade de produção de micro bolhas é proporcional ao tamanho da superfície do eletrodo (Rahmani *et al.*, 2013). Além destes fatores, a densidade de corrente é uma das variáveis mais importantes, quanto maior a densidade de corrente, mais microbolhas são geradas, resultando em uma melhor separação e remoção das partículas (Rahmani *et al.*, 2013).

Em sequência às etapas de sedimentação, flotação ou floculação da biomassa no meio de cultivo, há a necessidade de filtração ou centrifugação. O processo de filtração convencional é mais apropriado para separação de microalgas relativamente grandes ($> 70 \mu m$) como *Coelastrum* spp. e *Spirulina* spp.. Esse método não é recomendado para microalgas que apresentam dimensões aproximadas de bactérias ($< 30 \mu m$) como *Scenedesmus* spp., *Dunaliella* spp. e *Chlorella* spp. Para recuperar essas biomassas se apresenta como tecnicamente viável o uso de membrana de microfiltração e ultrafiltração (uma forma de filtração por membrana que utiliza pressão hidrostática). Esses métodos são adequados para células mais frágeis que necessitam de baixa pressão transmembranar e condições de baixa velocidade. Entretanto devido aos custos de substituição de membranas e bombeamento em grandes escalas de produção, a centrifugação pode ser um métodos mais econômico de recuperação de biomassa (Brennan e Owende, 2010).

A recuperação por centrifugação é indicada para obtenção de metabólitos de alto valor. O processo é rápido e requer uso intenso de energia. A recuperação da biomassa depende de características de sedimentação das células, do tempo de suspensão, de residência na centrífuga e volume da mesma. As desvantagens desse método estão nos altos custos energéticos e manutenção. A eficiência fica acima de 95% (Brennan e Owende, 2010; Dassey e Theegala, 2013; Weschler *et al.*, 2014).

O emprego de um ultrassonicador para a separação da biomassa também já foi testado. Ele pode ligar fisicamente uma ou mais partículas por meio de um processo chamado de ponte, facilitando a agregação. A agregação suave induzida acusticamente seguida por sedimentação pode melhorar a colheita de biomassa. A principal vantagem da colheita por ultrassom é que ela pode ser operada continuamente sem provocar tensão de cisalhamento na biomassa, o que poderia destruir metabólitos potencialmente valiosos (Brennan e Owende, 2010).

Após a colheita da biomassa, é necessário empregar uma técnica de desidratação ou secagem. Como a biomassa é perecível, deve ser rapidamente processada após a separação. Os métodos que tem sido utilizados são: secagem ao sol ou em estufa, secagem por pulverização (*spray dryer*) e liofilização (Brennan e Owende, 2010).

A secagem ao sol é o método mais econômico, mas as principais desvantagens incluem longo tempo de secagem, necessidade de grande área e o risco de perda de material (Brennan e Owende, 2010). Já a secagem em estufa acelera o processo e reduz o espaço necessário, no entanto necessita de energia, sendo mais oneroso.

A liofilização é um processo igualmente caro, especialmente para operações em grande escala, mas facilita a extração de óleos. Elementos intracelulares, como os óleos, são difíceis de serem extraídos de biomassa úmida com solventes sem a quebra celular, mas são mais facilmente extraídos por liofilização a partir da biomassa seca (Brennan e Owende, 2010).

A secagem por pulverização (*spray dryer*) geralmente é usada para extração de produtos de alto valor, mas é relativamente caro e pode causar uma deterioração significativa de alguns pigmentos de microalgas porque usa aquecimento para a pulverização (Brennan e Owende, 2010).

Com base na diversidade de produção de microalgas, bem como de procedimentos adequados a esta produção, realizou-se a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV), considerando o Inventário de ciclo de vida realizado para diferentes configurações de produção de microalgas em efluente urbano.

2. METODOLOGIA

Com o foco na AICV da produção de microalgas cultivadas em estação de tratamento de efluentes, proposto neste trabalho, realizou-se um levantamento de dados por meio de revisão de literatura e produção de informações complementares obtidas em testes de escala laboratorial. O escopo da análise compreendeu as etapas de produção de microalgas, separação da biomassa e secagem da mesma conforme fluxograma apresentado na Figura 1. A AICV foi realizada com o software *SimaPro* versão 7.3.2.

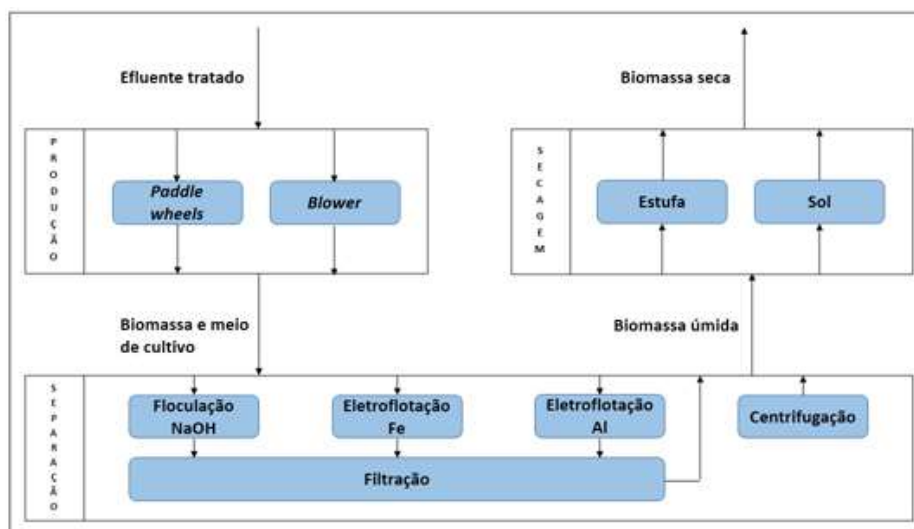


Figura 1 - Fluxograma das etapas do Processo.

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) baseou as informações na configuração dos equipamentos necessários para a obtenção da biomassa de microalgas. Foi realizada pesquisa de equipamentos para obter dados de consumo de energia, rendimento, dimensões e outros. A Unidade Funcional estabelecida para este estudo foi de 6.400 L de efluente líquido.



Após a formulação do ICV foram alimentados os dados de entradas e saídas de cada processo no *SimaPro* utilizando a base de dados *EcoInvent*. O método escolhido foi o *EcoIndicator 99* onde foram avaliadas as seguintes categorias de danos: Danos à Saúde Humana; Danos à Qualidade do Ecossistema e Danos aos Recursos Naturais.

Danos à Saúde Humana: essa categoria expressa o número de anos perdidos mais o número de anos vividos com incapacidade. Unidade: *DALYs – Disability Adjusted Life Years* (Anos de vida perdidos ou vividos com incapacidade).

Danos à Qualidade do Ecossistema: expressa a perda de espécies vegetais em uma determinada área num certo período de tempo. Unidade: $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ – *Potentially Disappeared Fraction* (Fração Potencialmente Desaparecida - $\text{m}^2/\text{ano}/\text{kg}$ emissão).

Danos aos Recursos Naturais: expressa a energia necessária para a extração de minerais e combustíveis fósseis consumidos no processo. Unidade: *MJ Surplus* (Megajoule excedente).

Essas 3 categorias citadas são representativas das categorias gerais do método *EcoIndicator-99*, que avalia os impactos ambientais através de onze categorias de impacto apresentadas em De Azevedo *et al.* (2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a avaliação dos impactos de cada etapa de produção de biomassa de microalgas em meio efluente foi possível definir mais de um cenário, que apresentam configurações de processo onde principalmente o método de separação provoca diferenças no total de pontos de impactos ambientais. O total de pontos da AICV de cada configuração está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Pontuação única obtida no software Simapro versão 7.3.2 para os cenários simulados de produção de microalgas em efluente urbano empregando o método *EcoIndicator 99* e a base de dados *EcoInvent*.

Etapas	Métodos	Cenários (Pt)		
		1	2	3
Cultivo microalgas	Raceway	461	461	461
Separação biomassa	Centrifugação	33	-----	33
	Floculação por NaOH	-----	0,29	0,29
	Filtração	-----	0,02	-----
Secagem biomassa	Secagem em estufa	34	34	34
Pontuação Total (Pt)		528	495,31	528,29

O cenário 1 compreendeu as etapas de produção de microalgas, centrifugação e secagem da biomassa em estufa. Os resultados em pontuação única para ACV desse cenário estão no gráfico da Figura 2. Fica evidente um alto impacto na categoria “cancerígenos”, especialmente na produção, devido ao emprego de energia elétrica. Em menor escala há impacto na centrifugação e na secagem em estufa, pelo mesmo motivo. Assim, na caracterização dos impactos por etapa se destaca a fase de produção.

Na análise individual para a etapa de produção, as duas alternativas metodológicas, uso de *paddle wheels* ou uso de *blower*, apresentaram mesmo consumo energético e, portanto, mesmo impacto. Entretanto, com vistas à implantação do sistema de cultivo de microalgas em estação de tratamento de efluente faz-se uma recomendação pela utilização da alternativa com *blower*, já que é possível realizar uma suplementação no meio de cultivo com CO_2 , visando aumento da produtividade, sem a necessidade de adicionar equipamentos ao *raceway* para este fim, o sistema utilizaria os mesmos difusores de ar.



O cenário 2 buscou avaliar o método de separação da biomassa empregando floculação por adição de hidróxido de sódio seguida de filtração. Complementaram o cenário as etapas de produção e secagem em estufa. A filtração com filtro de algodão objetivou a recuperação da biomassa para posterior secagem.

Os resultados da análise do cenário 2 estão apresentados no gráfico da Figura 2, em pontos. Da mesma forma que no cenário 1, o principal impacto ambiental ocorreu na categoria “cancerígenos” na etapa de produção devido ao uso de energia elétrica.

O cenário 3 foi elaborado visando um maior emprego tecnológico buscando otimização do tempo na obtenção do bioproduto de interesse, a biomassa seca. Dessa forma se conjugou as técnicas de floculação por hidróxido de sódio e centrifugação. A etapa de filtração foi desconsiderada em função da opção pela centrifugação.

Assim exposto, o cenário 3 foi composto pelas etapas de produção, floculação por adição de hidróxido de sódio, centrifugação e secagem em estufa. Pode-se observar que, da mesma forma que nos demais cenários, o principal impacto ambiental ocorreu na categoria “cancerígenos” na etapa de produção devido ao uso de energia elétrica. A etapa de separação da biomassa por floculação com adição de hidróxido de sódio causou mais impacto nas categorias “ecotoxicidade”, “minerais”, “radiação” e “inorgânicos inaláveis”.

Visando otimizar a produtividade de microalgas e a captura de CO₂ recomenda-se a utilização da metodologia com uso de *blower* na etapa de produção, haja visto que pode ser feita suplementação de CO₂ proveniente de outros processos produtivos, utilizando os mesmos difusores de ar, sem necessidade de instalação de novos equipamentos. Entretanto, novas pesquisas visando uma avaliação da produtividade deste sistema comparado ao método de *paddle wheel* com suplementação de CO₂ é interessante para definir o melhor caminho para o cultivo das microalgas com *raceways*.

Ainda, na etapa de cultivo se o sistema for construído em terreno em desnível não seria necessária a utilização de bomba submersa para conduzir o meio de cultivo para o tanque de separação da biomassa; assim o impacto por uso da energia elétrica poderia ser menor. Outra alternativa para a reduzir esse impacto seria avaliar a possibilidade do emprego de energia solar e elaborar novos cenários de avaliação com essa condição. Para a etapa de eletroflotação seria interessante testar a utilização de eletrodos de aço inoxidável e verificar a impacto gerado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos na AICV, baseado nos dados inventariados, a etapa com mais impactos ambientais foi a de produção propriamente dita, onde há o cultivo, apresentando $1,36 \cdot 10^{-2}$ DALYs, equivalente à 461 pontos. A entrada que mais contribuiu nesse resultado foi a energia elétrica, principalmente na categoria “cancerígenos”, agrupada em “Danos à Saúde Humana”, devido ao ciclo de vida de produção de energia elétrica, um processo que reconhecidamente gera impactos ambientais. Na simulação dos cenários propostos o que apresentou os menores valores de impacto ambiental foi o cenário 2, que previa as etapas de produção de biomassa de microalga, separação com floculação por adição de hidróxido de sódio, filtração e secagem em estufa.

Considerando que este estudo levantou dados para a realização de uma batelada de 6400 L para a produção de microalgas em 10 dias é importante destacar que o sistema aqui proposto teria capacidade de atender uma demanda anual de até 288.000 L de efluente, sendo viável para o volume de efluente gerado em uma instituição de ensino superior, por exemplo. Estudos de viabilidade econômica e técnica, com outras alternativas metodológicas são importantes e enriqueceriam esse campo do conhecimento, uma vez que os impactos ambientais são conhecidos e várias modificações na proposta podem ser inseridas para reduzi-los.

Agradecimentos: FAP-UNISC, MCTI (01.0144.00/2010), Capes

INFORMAÇÕES

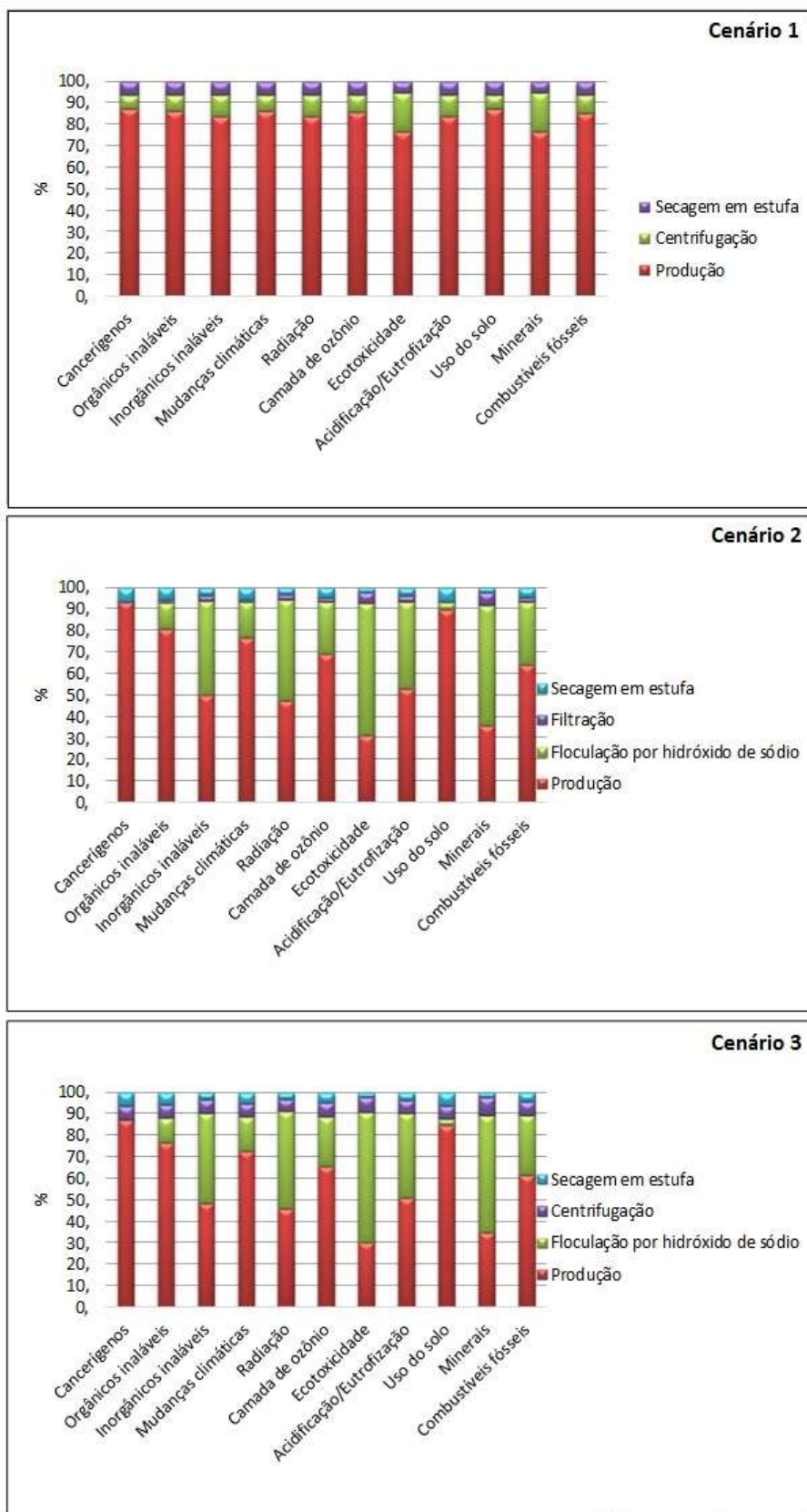


Figura 2 – Caracterização dos impactos em três cenários propostos de produção de microalgas em efluente urbano.



Referencias

AHMAD, A. L. et al. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 584-593, 2011.

BAIERLE, F. et al. Biomass from microalgae separation by electroflotation with iron and aluminum spiral electrodes. **Chemical Engineering Journal**, v. 267, n. 0, p. 274-281, 2015.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 557-577, 2010.

DASSEY, A. J.; THEEGALA, C. S. Harvesting economics and strategies using centrifugation for cost effective separation of microalgae cells for biodiesel applications. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 241-245, 2013.

DE AZEVEDO, A. et al. Análise do ciclo de vida aplicada à produção de bioetanol a partir de material Lignocelulósico remanescente em dejetos bovinos. **Tecno-Lógica**, v. 20, n. 2, p. 118-128, 2016.

DE OLIVEIRA LOURENÇO, S. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações**. RiMa, 2006. ISBN 9788576561132. Disponível em: <
<https://books.google.com.br/books?id=cFWnNAAACAAJ> >

DE SOUZA SCHNEIDER, R. D. C. et al. Residual fatty and oil production in Arroio do Tigre town, Rio Grande do Sul State, aiming biodiesel production. **Acta Scientiarum-Technology**, v. 33, n. 1, p. 71-79, 2011.

GAO, S. et al. Effects of chloride ions on electro-coagulation-flotation process with aluminum electrodes for algae removal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 182, n. 1-3, p. 827-834, 2010.

GAO, S. et al. Electro-coagulation-flotation process for algae removal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1-3, p. 336-343, 2010.

GHARNAOUT, D. et al. Application of electrocoagulation in *Escherichia coli* culture and two surface waters. **Desalination**, v. 219, n. 1-3, p. 118-125, 2008.

GRESSLER, P. D. et al. Cultivation of *Desmodesmus subspicatus* in a tubular photobioreactor for bioremediation and microalgae oil production. **Environmental Technology**, v. 35, n. 2, p. 209-219, 2014.

GUILLARD, R. R. L. **Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates**. In: SMITH, W. L. e CHANLEY, M. H. (Ed.). *Culture of Marine Invertebrate Animals: Proceedings — 1st Conference on Culture of Marine Invertebrate Animals* Greenport. Boston, MA: Springer US, 1975. p.29-60. ISBN 978-1-4615-8714-9.

HAMMOUDA, O.; GABER, A.; ABDELRAOUF, N. Microalgae and Wastewater Treatment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 31, n. 3, p. 205-210, 1995.

KHAN, S. A. et al. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2361-2372, 2009.



KUMAR, K. et al. Development of suitable photobioreactors for CO₂ sequestration addressing global warming using green algae and cyanobacteria. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 8, p. 4945-4953, 2011.

LI, Y. C. et al. Integration of algae cultivation as biodiesel production feedstock with municipal wastewater treatment: Strains screening and significance evaluation of environmental factors. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 23, p. 10861-10867, 2011.

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.

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.

POELMAN, E.; DE PAUW, N.; JEURISSEN, B. Potential of electrolytic flocculation for recovery of micro-algae. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 19, n. 1, p. 1-10, 1997.

RAHMANI, A. R. et al. Continuous thickening of activated sludge by electro-flotation. **Separation and Purification Technology**, v. 107, n. 0, p. 166-171, 2013.

RICHMOND, A. **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. 1. Oxford: Blackwell Science, 2004. 588 ISBN 978-0-632-05953-9.

SOARES, D. **Avaliação do crescimento celular e da produtividade de lipídeos de microalgas marinhas em diferentes regimes de cultivo**. 2010. 107 (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Ciências: Bioquímica – Mestrado e Doutorado, Universidade Federal do Paraná

WESCHLER, M. K. et al. Process energy comparison for the production and harvesting of algal biomass as a biofuel feedstock. **Bioresource Technology**, v. 153, p. 108-115, 2014.

WU, J. et al. Evaluation of several flocculants for flocculating microalgae. **Bioresource Technology**, v. 197, p. 495-501, 2015.