



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO DE CÉLULAS DE *Chlorella vulgaris* UTILIZANDO SEMENTE INTEGRAL DE *Moringa oleifera* Lam

*Livia de Oliveira Ruiz Moreti*¹; *Franciele Pereira Camacho*²; *Priscila Ferri*³; *Karina Cardoso Valverde*⁴; *Flávia Sayuri Arakawa*⁵; *Rosangela Bergamasco*⁶

RESUMO: Os processos de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (C/F/FAD), utilizando como coagulante natural *Moringa oleifera*, apresentam-se como uma alternativa viável para a separação da biomassa das microalgas, já que as técnicas tradicionais, tal como a centrifugação, apresenta alta demanda de energia e alto custo. Assim, este estudo propõe avaliar a eficiência do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam na remoção de cor, turbidez e clorofila-a, em função da alteração das velocidades e tempos de mistura, afim de se obter as condições de operações ideais para a separação da biomassa de cultivos de *Chlorella vulgaris* na ordem de 10^6 céls/mL. Para os ensaios de C/F/FAD foi utilizado como coagulante natural 500 mg/L de sementes trituradas de *Moringa oleifera* Lam. Após os ensaios, amostras de água tratada foram coletadas para avaliar a eficiência do processo. Utilizou-se delineamento fatorial, sendo dezoito variações quanto à velocidade de mistura rápida e lenta (VMR e VML) e tempos de mistura lenta (TML), em duplicata. Os parâmetros de mistura rápida e lenta, incluindo o tempo e intensidades da mistura afetaram a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade no processo de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido. Por meio do teste Tukey, observou-se que as melhores condições de operação foram: 600 rpm (VMR), 20 s (TMR), 40 rpm (VML), 20 min (TML), com eficiência de remoção de 71,7%, 62,3% e 93,3% para cor aparente, turbidez e clorofila-a, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação/floculação, *Moringa*, *Chlorella*, otimização.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a demanda mundial de energia elétrica e combustível está crescendo, sendo necessário investir em alternativas renováveis e promissoras técnica-economicamente. Neste sentido, destaca-se energia a partir de biomassa, especialmente de microalgas, mas apesar do seu grande potencial ainda existem vários desafios para torná-las economicamente viáveis.

¹ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá – UEM – Maringá, PR. Bolsista do CNPQ. Li.moreti@hotmail.com

² Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CAPES. Franciele_Camacho@hotmail.com

³ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CAPES. priscila.ferri@bol.com.br

⁴ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CAPES. karinacordeirocardoso@hotmail.com

⁵ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CAPES. Flaviasayuri@gmail.com

⁶ Docente do Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq. rosangela@deq.uem.br

A colheita e secagem são etapas cruciais já que as microalgas são produzidas em meio aquoso e o tamanho na ordem de micrômetros dificulta essa tarefa, assim, alternativas tradicionais como centrifugação e filtração encarecem demais o processo como um todo (Benemann and Oswald 1996). Por isso é preciso desenvolver alternativas mais viáveis economicamente, como coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (C/F/FAD).

A *Moringa* aparece como uma possibilidade interessante para a floculação de microalgas, visto que já demonstrou o seu poder floculante até com microorganismos, é um material barato e apresenta baixa toxicidade (Ferreira et al. 2009).

Desta forma o objetivo deste trabalho é otimizar o processo de separação da biomassa da microalga *Chlorella vulgaris* (coagulação/floculação/flotação), utilizando como coagulante natural sementes trituradas de *Moringa oleifera* Lam.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRA

A parte experimental foi realizada no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química – DEQ, da Universidade Estadual de Maringá – UEM.

2.2 CULTIVO

As culturas foram realizadas a partir de inóculo precursor de uma cultura pura de *Chlorella vulgaris* fornecida pelo laboratório de Cianobactérias, Departamento de Ciências Biológicas, USP – Piracicaba/SP.

O meio de cultivo utilizado foi BG-11(Castrillo et al., 2013). A inoculação das culturas foram realizadas quinzenalmente, seguindo a proporção de inóculo: meio (1:9). Os cultivos foram mantidos em câmaras de cultivo a 22°C sob lâmpadas fluorescentes com foto-período de 24 h. No intuito de aumentar o volume do cultivo, as células passaram a ser cultivadas em tanques com capacidade de 250 L. Devido ao grande volume de cultivo, optou-se por um sistema de bombeamento contínuo, utilizando bombas submersas de aquário (Atman, 4000) (Figura 1).

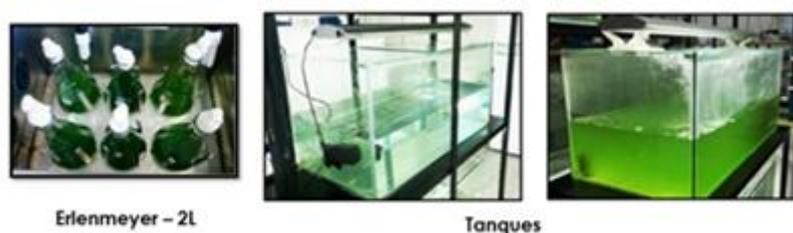


Figura 1 – Cultivo da espécie *Chlorella vulgaris*

2.3 PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO:

As sementes de *Moringa oleifera* foram coletadas de árvores do Estado de Sergipe e foram fornecidas pelo Dr. Gabriel Francisco da Silva da Universidade Federal de Sergipe.

Os ensaios de coagulação/floculação foram conduzidos no equipamento “jartest” Nova Ética (218/LBD 06), este possui regulador de rotação das hastes misturadoras.

As condições experimentais avaliadas foram: velocidade de mistura rápida (VMR) de 310 e 600 rpm, tempo de mistura rápida (TMR) de 20 s, velocidade de mistura lenta (VML) de 20, 30 e 40 rpm, tempo de mistura lenta (TML) de 10, 15 e 20 min, baseados em experimentos de Filho, P. L. C. & Di Bernardo, L. (2002).

Os ensaios de FAD foram realizados no equipamento “flotest” Nova Ética (218 – FLOW) e as condições experimentais fixadas foram: pressão de 400 Kpa, tempo de saturação de 8 minutos, velocidade de flotação de 10 cm/min e taxa de recirculação de 20% de acordo com Filho, P. L. C. & Di Bernardo, L. (2002).

Análises de cor, turbidez e clorofila-a foram realizados antes e depois dos ensaios para avaliar a eficiência do processo através das porcentagens de remoção.

Os ensaios foram realizados em duplicatas e os resultados obtidos nos testes de C/F/FAD foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias, teste Tukey, com 95% de nível de confiança, através do programa Statsoft STATISTICA versão 8.0. Assim, pode-se verificar as diferenças das eficiências de remoção dos parâmetros (turbidez, cor e clorofila-a) e avaliar a condição ótima do processo de C/F.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a caracterização da água sintética.

Tabela 1: Caracterização da água sintética

Parâmetro de qualidade	Cor	Turbidez	Clorofila-a	Contagem
Água sintética	585 uH	30 NTU	390,3µg/L	2,3x 10 ⁶ cel/mL

Avaliando-se os resultados obtidos (tabela 2) em destaque, pode-se observar que não houve diferença estatisticamente significativa para as condições de operação:

Tabela 2: Eficiência de remoção dos parâmetros avaliados na concentração de 500 mg/L de coagulante natural.

ENSAIO	VMR (rpm)	TMR (s)	VML (rpm)	TML (min)	FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO P=400 Kpa T=8 min V=10 cm/s R=20%		
					EFICIENCIA DE REMOÇÃO (%) ¹		
					COR (uH)	TURBIDEZ (NTU)	CLOROFILA-a (ug/L)
1	310	20	20	10	15.70	-18.66	14.88
2	310	20	30	10	18.86	-44.15	26.12
3	310	20	40	10	46.00*	16.45*	93.90*
4	310	20	20	15	5.55	-74.21	44.02
5	310	20	30	15	20.58	-50.33	27.50
6	310	20	40	15	12.69	-62.21	43.50
7	310	20	20	20	7.79	-33.11	46.67
8	310	20	30	20	5.53	-49.66	36.96
9	310	20	40	20	6.61	-24.91	48.18
10	600	20	20	10	11.49	-37.42	20.09
11	600	20	30	10	12.99	-30.91	37.94
12	600	20	40	10	58.58*	39.70*	90.07*
13	600	20	20	15	10.17	-29.75	74.36

14	600	20	30	15	12.05	-25.08	36.97
15	600	20	40	15	60.51*	47.66*	92.96*
16	600	20	20	20	13.61	-33.70	40.60
17	600	20	30	20	5.78	-60.97	33.83
18	600	20	40	20	71.70*	62.38*	93.37*

(1) Resultados expressos em valores médios. Dentro de uma mesma coluna as médias seguidas por * não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey à 5% de nível de significância.

Desta forma os resultados apontam que farinha da semente da moringa adicionada diretamente às suspensões celulares apresenta-se eficiente na remoção de células, cor e turbidez, chegando a atingir remoções de até 93,7, 62,3 e 71,7%, respectivamente. Sendo que as condições ótimas do processo foram de VMR de 600 rpm, TMR de 20 s, VML de 40 rpm e TML de 20 min.

Sementes de *Moringa oleifera* têm demonstrado ser um agente floculante adequado para biomassa de microalgas, atingindo uma atividade floculante comparável ao sulfato de alumínio. Já que experimentos com sulfato de alumínio tiveram uma eficiência de 72% para a floculação *Chlorella vulgaris* em 2mg L⁻¹, com um tempo de repouso de 10 min (Oh et al., 2001), e com *Chlorella* sp., foi de 80% numa concentração de 8 mg L⁻¹ em um tempo de repouso de 30 min (Liu et al. 1999). Entretanto, além da boa eficiência as sementes de Moringa, em comparação com o sulfato de alumínio, apresenta baixa toxicidade, não apresenta problemas de corrosão e produzem menor volume de lodo, e associado à FAD resulta em um menor tempo gasto durante o processo.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que os parâmetros de mistura rápida e lenta, incluindo o tempo e intensidades da mistura afetam a eficiência de remoção dos parâmetros cor, turbidez e clorofila-a, no processo de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido.

Foram obtidos residuais em torno de 154 uH para cor aparente, 12 NTU para turbidez e 25,2 µg/L de clorofila-a, nas condições de operação ótimas: 600 rpm (VMR), 20 s (TMR), 40 rpm (VML) e 20 min (TML).

5. REFERÊNCIAS

Benemann JR, Oswald W. J. Systems and economic analysis of microalgae ponds for conversion of CO₂ to biomass. **Final Report to the Pittsburgh Energy Technology Center, Morgantown**, 1996.

CASTRILLO, M.; LUCAS-SALAS, L. M.; RODRIGUES-GIL, C.; MARTÍNEZ, D. High pH-induced flocculation–sedimentation and effect of supernatant reuse on growth rate and lipid productivity of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology** 128, p. 324–329, 2013.

FERREIRA, P.M.P.; CARVALHO, A.F.U.; FARIAS, D.F.; CARIOLANO, N.G.; MELO, V.M.M.; QUEIROZ, M.G.R.; MARTINS, A.M.C.; MACHADO-NETO, J.G. Larvicidal activity of the water extract of *Moringa oleifera* seeds against *Aedes aegypti* and its toxicity upon laboratory animals. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81 (2), p. 207-216, 2009.

FILHO, P. L. C.; Di Bernardo, L. Procedimento para execução de ensaios de flotação/filtração em equipamento de bancada. **Engenharia sanitária e ambiental**. Vol. 8 - Nº 1 - jan/mar 2003 e Nº 2 - abr/jun 2003, 39-44.

LIU, J. C., CHEN, Y. M., JU, Y-H. Separation of algal cells from water by column flotation. **Separ Sci Technol**, 34: 2259–2272, 1999.

OH, H. M., LEE, S. J., PARK, M. H., KIM, H. S., KIM, H. C., YOON, J. H., KWON, G., YOON, B. D. Arvesting of *Chlorella vulgaris* using a bioflocculant from *Paenibacillus* sp. AM49. **Biotechnol Lett**. 23:1229–1234, 2001.

TEIXEIRA, C. M. L. L., KIRSTEN, F. V., TEIXEIRA, P. C. N. Evaluation of *Moringa oleifera* seed flour as a flocculating agent for potential biodiesel producer microalgae. **J Appl Phycol**. 24 :557–563, 2012.