

## **II-406 - ELETROFLOCULAÇÃO ALIMENTADA VIA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAÍCA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS**

**Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFPB. Doutora em Engenharia Mecânica pela UFPB. Professora da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Carlos Antônio Pereira de Lima**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFPB. Doutor em Engenharia Mecânica pela UFPB. Professor da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Raquel Bezerra Costa**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Keila Machado de Medeiros**

Engenheira de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG. Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG. Professora da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.

**Fernando Fernandes Vieira**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFPB. Doutor em Engenharia Mecânica pela UFPB. Professor da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Baraúnas, 351 – Bairro Universitário – Campina Grande – PB - CEP: 58429-500 - Brasil - Tel: (83) 3315-3333 - e-mail: [gilvania@uepb.edu.br](mailto:gilvania@uepb.edu.br)

### **RESUMO**

A água é, sem dúvida, um recurso natural indispensável para a manutenção de todo tipo de vida existente em nosso planeta. O ser humano necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender suas necessidades, para proteção de sua saúde e propiciar o desenvolvimento econômico. Um dos problemas que diminuem a qualidade da água para o tratamento é a eutrofização, resultado do enriquecimento com nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio). Esses são despejados, dissolvidos ou particulados, em lagos, represas e rios, são transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas. A eletrofloculação desempenha um papel importante no tratamento de águas e efluentes, pois combina a oxidação eletrolítica parcial com precipitação físico-química ou eletroquímica. Além disso, esta técnica é fácil de operar e pode ser empregado para diferentes matrizes poluentes sem produzir poluentes de lodo residual por reagentes. Este trabalho teve como objetivo a aplicação do processo de eletrofloculação alimentada por energia solar fotovoltaica no tratamento de águas eutrofizadas. Para verificar as melhores condições de tratamento, nas condições experimentais, foram consideradas as seguintes variáveis: pH inicial do efluente, condutividade elétrica e a distância entre os eletrodos. Pode-se concluir que, os níveis de pH dos experimentos, apresentou alta eficiência na redução dos parâmetros turbidez em 89,58%, remoção da DQO 31,15%, dureza total 45,69%. O efluente resultante do processo de eletrofloculação apresentou após o tratamento três fases distintas no interior do reator: sobrenadante (resultante da flotação dos sólidos), efluente clarificado (localizado entre o sobrenadante e o sedimento) e sedimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar, Eletrofloculação, Águas eutrofizadas.

### **INTRODUÇÃO**

A água é, sem dúvida, um recurso natural indispensável para a manutenção de todo tipo de vida existente em nosso planeta. O ser humano necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender suas necessidades, para proteção de sua saúde e propiciar o desenvolvimento econômico (BRASIL, 2006).

Para atender a crescente demanda de todos os setores (domésticos, industriais e agricultura), a água tem sido intensamente explorada, todo indivíduo precisa de água doce para saciar a sua sede e para ter uma vida digna. Atualmente, cerca de 250 milhões de pessoas, distribuídos em 26 países, já enfrentam a dificuldade da escassez de água. Em 2050 estima-se que mais de 3 bilhões de pessoas estarão vivendo em países com carência crônica de água. Nesse período, a quantidade de água disponível por pessoa nos países do Oriente

Médio e do norte da África estará reduzida em 80%. Ong et. al. (2012) estimam que nesse período, 8 bilhões de pessoas habitarão a Terra, em sua maioria, concentradas nas grandes cidades. Assim será necessário aumentar a produção de comidas e energia, aumentando o consumo doméstico e industrial de água.

O volume de água do Planeta Terra nunca muda. Estima-se que o Brasil possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição natural desse recurso não é equilibrada. Regiões com baixa densidade populacional, concentram maiores quantidade de água disponíveis, como por exemplo a região Norte, que concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, mas representa apenas 5% da população brasileira. Enquanto que regiões com maior percentual demográfico, como as regiões próximas ao Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, possui menos de 3% dos recursos hídricos do país.

Nas últimas décadas, a expansão das áreas urbanas e industriais ocasiona a contaminação do meio ambiente. No Brasil, diversos municípios lançam esgotos não tratados em rios, lagos ou lagoas (30,5% do total dos municípios) e utilizam estes corpos receptores para vários usos a jusante, como abastecimento de água, irrigação e a agricultura (IBGE, 2011).

Um dos problemas que diminuem a qualidade da água para o tratamento é a eutrofização, resultado do enriquecimento com nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio). Esses são despejados, dissolvidos ou particulados, em lagos, represas e rios, são transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas (MOTA, 2008b). Mota (2008a) ensina que um dos influxos causados por esse fenômeno é a produção excessiva de algas e plantas aquáticas, que causam dificuldades no tratamento de água.

O processo de eletrofloculação tem atraído uma grande atenção no tratamento de efluentes industriais devido a sua versatilidade e compatibilidade ambiental (EMAMJOMEH et al, 2009). A eletrofloculação desempenha um papel importante no tratamento de águas e efluentes, pois combina a oxidação eletrolítica parcial com precipitação físico-química ou eletroquímica (MELCHIONS et. al, 2016). Além disso, esta técnica é fácil de operar e pode ser empregado para diferentes matrizes poluentes sem produzir poluentes de lodo residual por reagentes químicos (FLECK et al., 2013). Os reagentes da floculação e flotação são bolhas de gases (normalmente O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>) geradas após a aplicação de um potencial elétrico entre o ânodo e o cátodo em uma célula de eletrofloculação (FOUAD, 2014).

Também chamado de eletrocoagulação ou eletroflotação, é essencialmente um processo eletrolítico que envolve a desestabilização de poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso. O mesmo ocorre em duas etapas, na primeira etapa, o coagulante é gerado *in situ* pela oxidação de um ânodo de alumínio ou ferro metálico; assim que os respectivos cátions são gerados na fase anódica, estes reagem com moléculas de água para formação dos respectivos hidróxidos e poli-hidróxidos. Paralelamente, tem-se a eletrólise da água e a formação de microbolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo que carregarão, na última etapa, o material floculado para a superfície:

No ânodo:



No cátodo:



Na segunda etapa, os hidróxidos formados adsorvem-se em partículas coloidais originando os flocos e tem-se o transporte dessas espécies que entram em contato com as impurezas. A remoção dos poluentes pode ocorrer tanto por complexação como por atração eletrostática e posterior coagulação.

A presença dos complexos de alumínio em solução aquosa confere uma característica gelatinosa ao meio. Esses complexos adsorvem-se às partículas, originando os flocos. Na última etapa do processo ocorre a

flotação, em decorrência da formação das microbolhas que são geradas da eletrólise da água (CRESPILHO e RESENDE, 2004).

A região Nordeste, apresenta os maiores índices de radiação solar do país, pela sua proximidade com o equador e céu sem nuvens, o que o torna um local de grande potencial para o sistema de energia solar, propiciando um fator preponderante para a instalação de sistemas de tratamento de águas e de efluente industriais por eletrofloculação via energia solar, que venham a diminuir os riscos de contaminação da rede hídrica. Uma integração da energia solar fotovoltaica permite alcançar um balanço energético positivo da produção do tratamento de águas eutrofizadas. A matriz fotovoltaica converte a energia solar absorvida em energia elétrica necessária para o tratamento. Neste trabalho foi descrito os parâmetros que influenciam o processo de eletrofloculação (distância entre os eletrodos, corrente elétrica, pH e condutividade do efluente, redução da massa dos eletrodos).

## OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a aplicação do processo de eletrofloculação alimentada por energia fotovoltaica solar no tratamento de águas eutrofizadas.

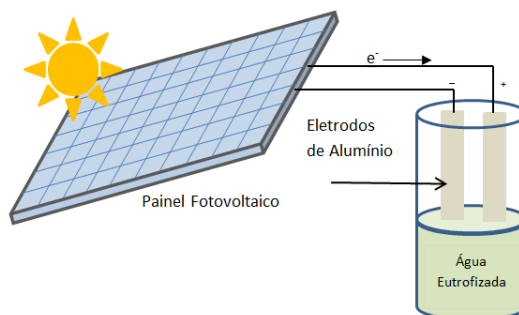
## METODOLOGIA

### Planejamento experimental

As amostras para realização dos experimentos foram coletadas no Açude de Bodocongó situado na cidade de Campina Grande/PB. Com o objetivo de aperfeiçoar o processo da eletrofloculação no tratamento da água eutrofizada do açude, foi realizado um planejamento experimental  $2^3$ , no qual obtém-se 8 experimentos a serem realizados. O planejamento experimental consiste em analisar o efluente frente à influência dos parâmetros: pH, condutividade elétrica e distância entre os eletrodos.

### Sistema experimental

O sistema de tratamento foi instalado nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB. Para realização dos experimentos foi utilizado um reator em batelada com volume de 14 L, confeccionado em vidro transparente o que garante uma melhor visibilidade do processo (figura 01). O pH das amostras foi ajustado às condições estipuladas para realização dos experimentos (5 e 9), utilizando NaOH em concentração de 6 M e  $H_2SO_4$  concentrado. A condutividade elétrica das amostras foi ajustada, quando necessário, com NaCl.



**Figura 1: Sistema de eletrofloculação de tratamento de água eutrofizada por energia fotovoltaica solar**

### Fonte de energia e eletrodos

A energia elétrica necessária para alimentar o sistema de eletrofloculação foi suprida por painel fotovoltaico, que fornecem energia em corrente contínua, com cargas variáveis e intensidade da corrente de 1,96 A e 3,08 A, para uma voltagem obtida de 13,12 V. Os experimentos foram realizados em temperatura ambiente utilizando-se eletrodos de alumínio, os mesmos constituem-se de quatro placas (altura de 24 cm, largura de 7 cm e espessura de 1 mm), com espaçamento entre de 1 e 2 cm.

## Parâmetros Físicos Químicos

Os testes de desempenho do sistema foram realizados usando águas eutrofizadas com diferentes graus de eutrofização, possibilitando acompanhar o controle de qualidade, por meio das caracterizações físico-químicas da água bruta e da água tratada obtida, através dos parâmetros mostrados na tabela 01.

Todas as metodologias utilizadas para a realização das análises físico e químicas foram baseados nos procedimentos descritos no Standard Methods for Examination of Water & Wastewater (ALPHA, 2005). As caracterizações físico-químicas das amostras foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba.

**Tabela 1 - Parâmetros físico-químico e métodos empregado.**

Parâmetros	Unidade	Métodos
pH	Adimensional	Potenciométrico
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Condutivimétrico
Alcalinidade	mg/L	Titulométrico – $\text{H}_2\text{SO}_4$
Cloretos	mg/L	Titulométrico – Mohr
Dureza Total	mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	Titulométrico – EDTA
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Sódio	mg Na/L	Fotometria de chama
Potássio	mg K/L	Fotometria de chama
DQO	mg $\text{O}_2/\text{L}$	Titulométrico

Fonte: LOPES, 2013.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Parâmetros físico-químicos

A Tabela 2 mostra a média de resultados preliminares para alguns parâmetros monitorados de cada análise, antes e após o tratamento e a eficiência do processo através do % de redução de cada um.

**Tabela 2 – Análise descritiva das caracterizações analíticas do efluente pré e pós-tratamento.**

Parâmetros	Afluente	Efluente	% reduzido
Turbidez	25,06	2,61	89,58
Cloretos	444,93	422,78	4,98
Dureza total	320,39	174,01	45,69
Cálcio	132,97	89,78	32,48
Magnésio	187,42	84,22	55,06
$\text{CO}_3^{=}$ (alcalinidade)	57,27	15,24	73,39
$\text{HCO}_3^{-}$ (alcalinidade)	151,49	73,42	51,3
Sódio	191,50	189,13	1,25
Potássio	38,75	38,75	0,00
DQO	146,64	100,96	31,15

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, podemos perceber que a maioria dos parâmetros apresentam uma diminuição em seus valores médios antes e depois do tratamento. Nos experimentos realizados verificou-se que o tratamento por eletrofloculação apresentou alta eficiência na clarificação dos efluentes, pois as reduções obtidas para o parâmetro turbidez foram 89,58%.

Ainda de acordo com a Tabela 2, pode-se observar que o processo se mostrou eficaz para a remoção da matéria orgânica através do monitoramento da DQO em 31.15% do valor médio inicial.

### Consumo dos eletrodos

Na eletrofloculação ou na eletrocoagulação, o agente floculante é introduzido como um resultado de uma reação do eletrodo e, tais processos permitem um controle cuidadoso da quantidade do reagente introduzido no efluente. Assim, como exemplo,  $Al^{3+}$  ou  $Fe^{3+}$  podem ser introduzidos usando alumínio (Al) ou ferro (Fe) como ânodo em uma célula de eletrofloculação (Nascimento, 2011). A Tabela 3 apresenta o quantitativo consumido de alumínio nos experimentos de eletrofloculação.

**Tabela 3 – Quantitativo consumido de alumínio nos experimentos de eletrofloculação.**

Eletrodos	Massa inicial (g)	Massa Final (g)	Consumo (%)
Placa 1	48,72	40,73	16,40
Placa 2	49,74	44,32	10,90
Placa 3	48,01	37,99	20,87
Placa 4	48,80	41,66	14,63
Total	<b>195,27</b>	<b>164,70</b>	Média = <b>15,66</b>

A massa total dos eletrodos de alumínio consumida foi de 2,183 g/L essa massa de eletro de sacrifício passa para o lodo gerado no tratamento

### CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado a viabilidade da aplicação da técnica de eletrofloculação via energia solar fotovoltaica para o tratamento de águas eutrofizadas, utilizando eletrodos de alumínio.

Para verificar as melhores condições de tratamento, nas condições experimentais, foram consideradas as seguintes variáveis: pH inicial do efluente, condutividade e a distância entre os eletrodos. Pode-se concluir que, os níveis de pH dos experimentos, apresentou alta eficiência na redução dos parâmetros turbidez em 89.58%, remoção da DQO 31,15%, dureza total 45.69%.

O efluente resultante do processo de eletrofloculação apresentou após o tratamento três fases distintas no interior do reator: sobrenadante (resultante da flotação dos sólidos), efluente clarificado (localizado entre o sobrenadante e o sedimento) e sedimento.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21<sup>a</sup> Ed. Washington – DC: APHA, 2005.
2. BRASIL. Manual de saneamento. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.
3. ONG, C. L., ESCHER, W., PAREDES, S., KHALIL, A.S.G., MICHEL B., A novel concept of energy reuse from high concentration photovoltaic thermal (HCPVT) system for desalination, Desalination, vol. 295, pp. 70–81, 2012.
4. CRESPILO, F. N., REZENDE, M. O. O., Eletrofloculação: Princípios e Aplicações, Editora Rima, São Carlos, 1<sup>a</sup> Ed., 96 p, 2004.
5. EMAMJOMEH, M. M.; SIVAKUMAR, M., Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. Journal Of Environmental Management, [s.l.], v. 90, n. 5, p.1663-1679, abr. 2009. Elsevier BV.
6. HOSNY, A. Y., Separating oil from oil-water emulsion by electroflotation technique. Separation Technology, n. 6, p. 9-17, 1996.
7. IBGE. Atlas de saneamento 2011. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
8. LOPES, J. T., Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador, Dissertação De Mestrado Profissional, 2004.
9. MOTA, F. S. B. Introdução à Engenharia Ambiental. Fortaleza: ABES, 2008a.
10. MOTA, F. S. B., Gestão Ambiental de Recursos Hídricos. Fortaleza: ABES, 2008b.

11. MELCHIORI, M.S., PIOVESAN, M., BECEGATO, V.R., BECEGATO V.A., TAMBOURGI, E.B. , PAULINO, A. T., Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery, *Journal of Environmental Management* 182 (2016) 574e580
12. FLECK, L., TAVARES, M.H.F., EYNG, F., Using the electroflocculation technique for the textile wastewater treatment: a review. *Rev. Eixo 2*, 27e36. 2013.
13. FOUAD, Y.O., Separation of cottonseed oil from oilwater emulsions using electrocoagulation technique. *Alexandria Engineering Journal*, 53, 199e204. 2014
14. NASCIMENTO, M. R., Revisão: A sinergia das técnicas eletrofloculação e electrocoagulação para a desestabilização de emulsões tipo óleo-água, *Revista Principia*, Nº 19, pp 26-34, 2011.