



## UTILIZAÇÃO DO MÉTODO ELETROFLOCULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Diéury de Lima Carvalho<sup>1</sup>

Marco Antonio Cardoso de Souza<sup>2</sup>

Denise Aparecida Zempulski<sup>3</sup>

### RESUMO

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de atividades industriais tem provocado inúmeros impactos aos recursos naturais. O presente artigo tem como objetivo apresentar uma alternativa para tratamento de efluente, utilizando a técnica de eletrofloculação, com enfoque ao efluente industrial de indústria produtora de papel e celulose. Os parâmetros utilizados para avaliar a eficiência do tratamento do efluente foram: pH, condutividade, DQO (demanda Química de Oxigênio e cor. O parâmetro que obteve uma maior alteração foi a cor, com redução de aproximadamente 9,5 vezes. Pelos resultados alcançados é possível inferir que a eletrofloculação é um método viável para a redução de cor e DQO de efluentes industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletrofloculação, DQO, Efluente Industriais.

## **USE OF METHOD ELECTROFLOCCULATION TO TREATMENT EFFLUENT INDUSTRIAL**

### ABSTRACT

*In recent decades, the development of industrial activities has caused a very numerous impacts to natural resources. This artic present an alternative for wastewater treatment, using the technique of electroflocculation,*

---

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia dos Materiais pela UEPG - e-mail: <dieury\_tb@hotmail.com>.

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia dos Materiais pela UEPG. e - mail: <marko.cardoso@hotmail.com>.

<sup>3</sup> Doutoranda de engenharia química pela UEM. e-mail: <denise.zempulski@gmail.com>



*focusing in the Industrial effluent of the producing pulp and paper industry. The parameters used to evaluate the efficiency of wastewater treatment were: pH, conductivity and color. The parameter that had the highest change is the color with reduction of approximately 9.5 times. By the results it can be inferred that the electroflocculation it is a viable method to reduction the color and DQO for industrial effluent.*

**KEY-WORDS:** *Electroflocculation, DQO, Industrial Effluent.*

## **MODO DE EMPLEO ELETROFLOCULAÇÃO INDUSTRIAL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **RESUMEN**

*En las últimas décadas, el desarrollo de actividades industriales ha provocado numerosos impactos a los recursos naturales. Este artículo tiene como objetivo presentar una alternativa para el tratamiento de aguas residuales mediante la técnica eletrofloculação, centrándose en productor de efluentes industriales de la industria de celulosa y papel. Los ornamentos utilizados para evaluar la eficiencia de tratamiento de efluentes eran .. PH, conductividad, DQO (Demanda Química de Oxígeno y color El parámetro que ganó un cambio importante fue el color, una disminución de aproximadamente 9.5 veces mayores logros es eletrofloculação posible inferir que es un método viable para la reducción de color y la DQO de los efluentes industriales.*

**PALABRAS CLAVE:** *Eletrofloculação, COD, Efluentes Industriales.*

### **1. INTRODUÇÃO**

As fontes de água são constantemente poluídas pelo homem, sendo que são descarregas grande quantidade de efluentes industriais, resíduos líquidos e lixo sem nenhum tratamento prévio em rios, canais e outros corpos de água. Desta forma, busca-se uma técnica de custo baixo e de fácil aplicação para o tratamento de efluentes industriais geralmente para a redução da DQO (Demanda Química de Oxigênio), onde a técnica de eletrofloculação tem sido utilizada. Há mais de 100 anos tem sido estudada, sendo classificada como uma das técnicas mais

interessantes para tratamentos. Para alguns casos sem nenhuma solução, esta técnica tem sido utilizada, e tendo resultados surpreendentes pelo seu baixo custo, baixo tempo de tratamento e pela elevada eficiência.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 FLOCULAÇÃO**

Consistem em aglomerar as partículas utilizando as forças de Van Der Waals (força de atração entre as moléculas), dando origem a flocos de granulometria maiores em comparação as partículas isoladas. Dois fatores de suma importância estão ligados com o grau de floculação de uma suspensão, são eles: A probabilidade de haver choque entre as várias partículas que vão formar o floco, dependendo diretamente da energia disponível das partículas em suspensão, sendo que uma agitação leve favorece os choques e assim o grau de floculação, mas a agitação não pode ser intensa devido a probabilidade de ocorrer a desagregação dos aglomerados formados. E por segundo tem-se a possibilidade de que após a colisão, não haja a separação dos aglomerados.

O uso de agentes floculantes aumenta a possibilidade dos aglomerados formados não se desagregarem espontaneamente, são eles: eletrólitos, coagulantes, agentes tensoativos e polieletrólitos.

### **2.2 ELETROFLOCULAÇÃO**

O tratamento eletroquímico tem-se mostrado um processo que oferece uma alta eficiência para remoção de matéria suspensa em efluentes, utilizando equipamentos simples e compactados para o controle e a operação do processo. Os resultados mostram-se positivos na maioria dos casos. Na tecnologia da eletrofloculação não ocorre a adição de floculantes, o que evita a formação de lodo residual. O processo consiste na geração de bolhas de gás (geralmente  $O_2$  ou  $H_2$ ),

substituindo os aditivos flocculantes. Basicamente é dividido em quatro etapas básicas: 1º geração de pequenas bolhas de gás; 2º contato entre as bolhas e as partículas em suspensão; 3º adsorção das pequenas bolhas de gás na superfície das partículas; 4º elevação do conjunto partículas/bolhas. No processo os coagulantes são adicionados à suspensão por meio da dissolução do anodo, que provoca a associação das partículas posteriormente removidas por filtração ou sedimentação.

### **2.3 EFLUENTE**

O efluente utilizado para o experimento foi coletado de uma indústria produtora de papel e celulose, no estado do Paraná. Após, a amostra foi caracterizada em relação aos parâmetros, cor aparente, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH e condutividade.

### **2.4 DQO**

A Demanda Química de Oxigênio, identificada pela sigla DQO, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica, sendo essa biodegradável ou não. A resistência de substâncias aos ataques biológicos levou à necessidade de fazer uso de produtos químicos, sendo a matéria orgânica nesse caso oxidada mediante um oxidante químico. O aumento da concentração de DQO num corpo de água deve-se principalmente a despejos de origem industrial.

### **2.5 COR**

A coloração do efluente esta intimamente ligada com a presença de certas substancias orgânicas (colóides) presentes no mesmo ou de compostos de minerais



como manganês e ferro. Existem dois conceitos de cor que são cor aparente que considera as partículas presentes no efluente e a cor verdadeira que é determinada a partir de uma centrifugação da amostra. A unidade de cor é o uC que compara a cor do mesmo com um padrão de cobalto-platina. Esta é uma medida importante pois controla a qualidade do efluente final. Os principais métodos de remoção de cor de efluentes são a floculação e a coagulação.

## 2.6 PH

O termo pH foi proposta para expressar concentrações muito pequenas de íons hidrogênio em soluções aquosas. A definição baseada na atividade dos íons hidrogênio foi introduzida mais tarde como um complemento e detalhamento do mesmo. Esta ferramenta permite-nos descrever o carácter ácido (0 a 7) ou alcalino (7 a 14) que predomina em meio aquoso, tendo em conta o seu valor determinado numa escala de 0 a 14, será neutro para pH igual a 7. O mesmo deve ser controlado para descarte de efluentes industriais, pois influi na capacidade de dissolução de determinadas substâncias em meio aquoso.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

- 2 tubos cilíndricos;
- Efluente industrial;
- Água destilada;
- Sal (cloreto de sódio);
- Solução catalítica;
- Solução digestora;
- Bloco digestor;
- Tubos de ensaio de vidro;
- Cubeta de vidro;

- 1 espátula;
- Garras do tipo “jacaré”;
- 2 fios de cobre de cerca de 20 cm cada um;
- Filtro de papel;
- Funil;
- 2 béqueres de 1000 mL ou 500mL;
- 1 condutivímetro;
- 1 calorímetro;
- 1 pHmetro;
- 1 espectrômetro;
- 1 transformador de energia;

#### 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para iniciar o experimento, foi realizado a montagem do equipamento como mostrado na figura 1, onde utilizou-se de um béquer com capacidade de 1 litro, dois tubos cilíndricos, cabos banana e um transformador de energia.

**Figura 1 - Estrutura para realizar Eletrofloculação**



Fonte: Elaborado pelos Autores

Posteriormente foi adicionado ao Becker aproximadamente 300 ml de efluente e a pesagem de sal de aproximadamente 15 gramas e outra de 10 gramas para realizar uma comparação. Foi realizada uma homogeneização e adicionado os tubos cilíndricos de metal para assim iniciar a eletrofloculação a aproximadamente 15 Voltz.

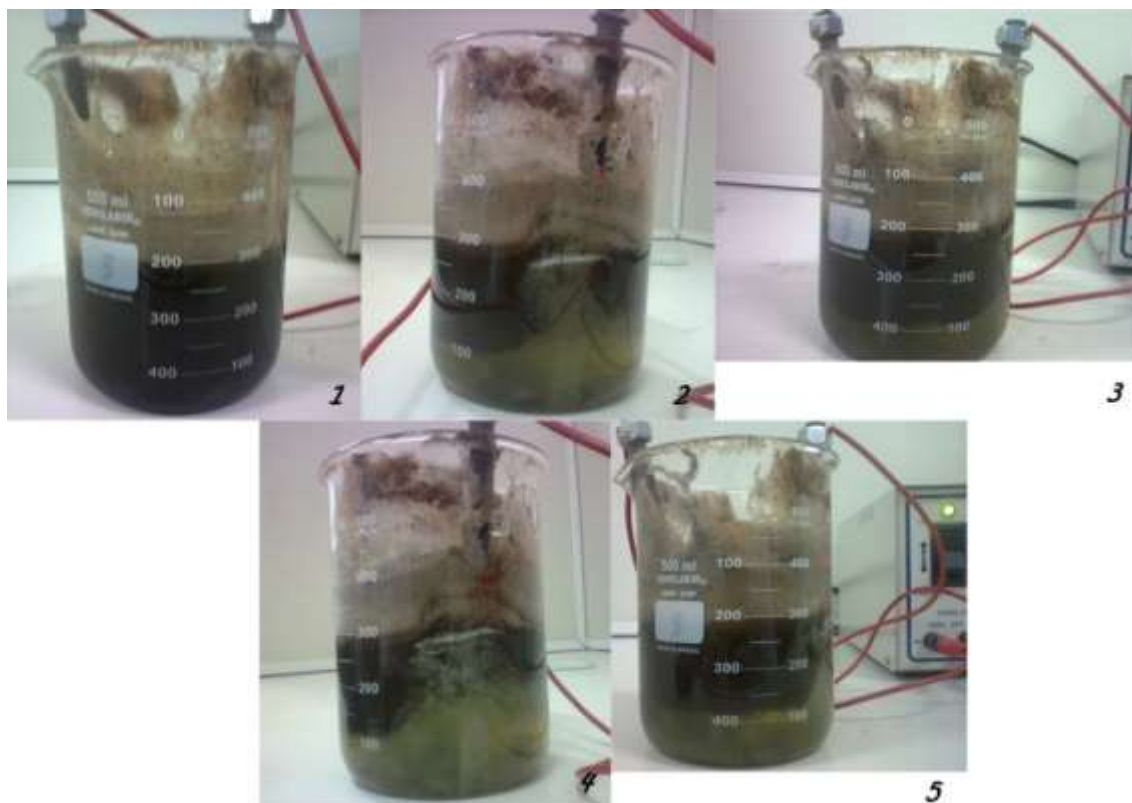
**Figura 2 - Início do tratamento de efluente utilizando Eletrofloculação**



Figura Fonte: Elaborado pelos Autores

Após alguns minutos, notou-se visualmente, uma diferença de cor e uma leve camada sendo formada na superfície. Ao prosseguir pode-se visualizar uma camada escura na superfície e um tom de cor esverdeada no centro do Becker como é mostrado na figura 3.

**Figura 3 - Prática de Eletrofloculação**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A cada 10 (dez) minutos de experimento foram retirado amostras, para realizar a determinação da cor aparente, condutividade e pH, onde a cor aparente foi medida segundo método espectrofotométrico, utilizando um colorímetro HACH DR890, o pH foram acompanhados por leituras através de um pHmetro TECNOPON mPA 210, previamente calibrado com padrões adequados, condutividade em um condutímetro HANNA HI 2300

No processo em seu total foram retirados 4 amostras, sendo uma inicial e três a cada dez minutos. Após o termino do experimento a amostra foi homogeneizada e filtrada em papel filtro como mostrado na figura 4.



**Figura 4 - Filtragem simples da mistura**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Para a determinação da DQO (Demanda Química de Oxigênio) o efluente foi colocado em um bloco digestor TE-021 DRY BLOCK conforme mostrado na Figura 5 durante duas horas a uma temperatura de 150 °C e então foi medida a absorvância da mesma pelo método espectrofotométrico utilizando um espectrômetro SP 22 conforme mostrado na figura 6 e então encontrada a DQO correspondente.

**Figura 5 - Bloco Digestor**



Figura Fonte: Elaborado pelos Autores.

**Figura 6 - Espectrofotômetro**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a caracterização do efluente bruto. Embora a Resolução do CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), não estabeleça valores da DQO para lançamento de águas residuais, é um importante parâmetro para verificar a qualidade da água (THEBALDI, 2011).

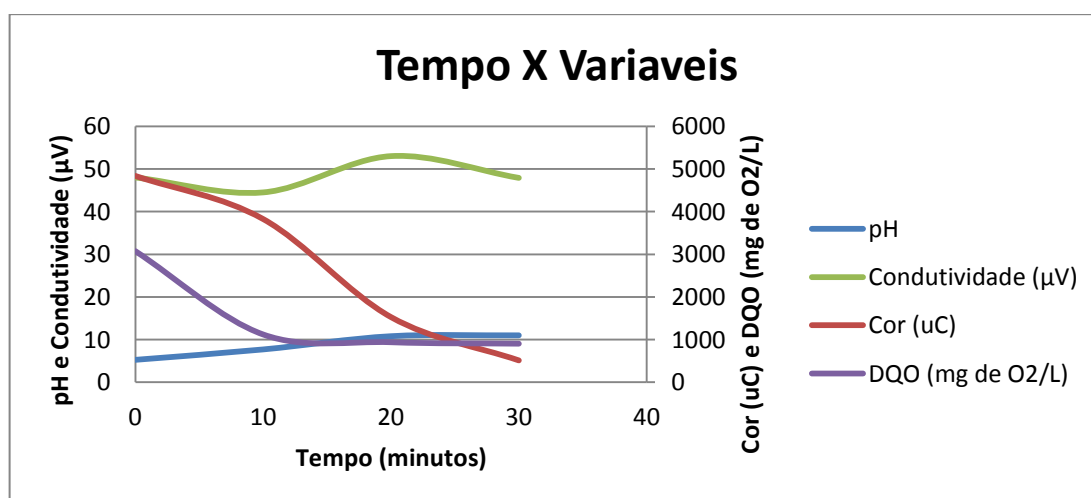
**Tabela 1 - Resultados da caracterização do efluente bruto.**

Parâmetro	Valor
pH	5,26
Condutividade	48 $\mu\text{V}$
Cor	4836 uC
DQO	3073,29 mg de O <sub>2</sub> /L

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os resultados de cor aparente, pH, condutividade e DQO em função do tempo, encontram-se apresentadas na Figura 7.

**Figura 7 - Comparação entre os parâmetros (variáveis) X tempo**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Observa-se que nos primeiros dez (10) minutos de experimento, houve uma redução brusca de cor e DQO, o pH tendeu a aumentar e a condutividade diminuiu. Após vinte minutos de reação a cor ainda continua a diminuir, a DQO começa a estabilizar, o pH continua a aumentar e para a condutividade, temos uma variação, onde começa a ocorrer uma oscilação. Após trinta minutos de reação começa a ocorrer uma estabilidade em todos os resultados, de maneira que o mesmo pode se dar por terminado, por motivo de estabilidade da reação, desta forma não tendo efeito significativo das variáveis. Para comprovação dos dados foram realizados 3 vezes o experimento para constatação dos resultados, conforme a tabela 2,3 e 4.

A Tabela 2 apresenta-se os valores obtidos durante a realização do experimento.

**Tabela 2 – Resultado da caracterização do efluente.**

Amostra	Tempo (min)	pH	Condutividade ( $\mu\text{V}$ )	Cor ( $\mu\text{C}$ )	DQO (mg de $\text{O}_2/\text{L}$ )
0	0	5,26	48	4836	3073,29
1	10	7,7	44,5	3825	1120,15
2	20	10,8	53	1527	938,19
3	30	11	47,9	512	904,08

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Com os resultados, tem-se que as variáveis se comportaram de maneira não espontânea, onde o pH com o decorrer do experimento, se tornou mais alcalino, o parâmetro condutividade teve uma oscilação, permanecendo-se praticamente constante e ocorreu uma variação brusca na cor.

**Tabela 3 – Resultado do experimento para comprovação de resultado.**

Amostra	Tempo (min)	pH	Condutividade ( $\mu\text{V}$ )	Cor ( $\mu\text{C}$ )	DQO (mg de $\text{O}_2/\text{L}$ )
0	0	5,26	53	4836	3437,20
1	30	10,7	48,6	515	938,19

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**Tabela 4 – Resultado do experimento para comprovação de resultado.**

Amostra	Tempo (min)	pH	Condutividade ( $\mu\text{V}$ )	Cor ( $\mu\text{C}$ )	DQO (mg de $\text{O}_2/\text{L}$ )
0	0	5,3	73,7	4862	3084,66
1	30	10,8	69,8	460	887,02
2	60	10,9	57,1	457	895,55

Fonte: Elaborado pelos Autores.

A partir disso optou-se em alterar a quantidade de sal introduzida no efluente, para analisar a influencia do mesmo na eletrofloculação. Onde em todos os dados anteriores utilizou-se aproximadamente 15 gramas de sal, tendo os resultados a seguir, com uma quantidade de 10 gramas de sal aproximadamente.

**Tabela 5 - Resultado do experimento com menor quantia de sal.**

Amostra	Tempo (min)	pH	Condutividade ( $\mu\text{V}$ )	Cor ( $\mu\text{C}$ )	DQO (mg de $\text{O}_2/\text{L}$ )
0	0	5,28	52,1	4836	2973,79
1	30	10,15	47,8	1002	884,18

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As variáveis pH e condutividade não sofreram efeito, entretanto o parâmetro cor obteve um menor valor comparado ao experimento anterior, desta forma, a quantidade de sal, está associada com a eficiência da eletrofloculação, onde a amostra que utilizou 15 g de sal obteve mais eficiência que a que utilizou-se 10 g.

## 6. CONCLUSÃO

Comparando os resultados obtidos com a literatura, observa-se que os ensaios de eletrofloculação em batelada realizados em escala laboratorial apresentam resultados satisfatórios em eficiência de remoção dos particulados, desta forma apresentam-se como um tratamento de efluente de alta qualidade, baixo custo de montagem e operação, tempo de reação baixo.

A quantidade de sal utilizada, esta interligado com a eficiência da reação no parâmetro cor, onde observou-se que quanto maior a quantidade de sal, menor será a cor final do efluente.

Em conceitos de DQO, pode-se afirmar que ocorre uma diminuição brusca, onde o efluente final teve aproximadamente uma medida 3,4 vezes menor que o efluente bruto ou aproximadamente 70% de redução.

Em poucos minutos de reação, pode-se notar visualmente que ocorre uma flotação de particulado, onde através de uma simples filtração os mesmos podem ser removidos do efluente, após filtrado o fluido pode ser tratado mais facilmente, desta forma um menor custo.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

BORBA, FERNANDO HENRIQUE et al. Avaliação da eficiência da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas. **Estudos Tecnológicos** - Vol. 6, nº 1:36-47, janeiro a abril de 2010.

DALLAGO, R. M. et al. Eletrofloculação aplicada ao tratamento de Efluente de Laticínio. PERSPECTIVA, **Erechim**. v.36, n.135, p.101-111, setembro de 2012.

LEANDRO FLECK et al. Utilização da técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão. **Revista EIXO**, Brasília - DF, v.2 n.2, Julho – Dezembro de 2013.

LIBÂNIO, MARCELO. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água** – Campinas, SP, Editora Átomo, 2008, 2ª Edição.



MACHADO, FELIPE GOMES et al. Eletrofloculação aplicada ao tratamento de água de produção. XI Encontro da SBQ-Rio de Janeiro Universidade Federal Fluminense, 29 a 31 de outubro de 2007.

SANT' ANNA JUNIOR, GERALDO LIPPEL. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações – Rio de Janeiro: Interciência, 2010.