

# DESEMPENHO DA ELETROFLOTAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO BLUE PELA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ELETRÓLITO E DO pH.

Palavras-Chave: Eletroflotação, *Índigo Blue*, Corante

Autores(as):

FELIPE FERREIRA DE CARVALHO, FEQ - UNICAMP

ALBERTH EDISON TICONA CAYTE (MESTRANDO), FEQ - UNICAMP

Prof. Dr. AMBRÓSIO FLORÊNCIO DE ALMEIDA NETO (ORIENTADOR), FEQ - UNICAMP

---

## 1. Introdução

É notável que o consumo mundial no meio têxtil tem aumentado com o tempo e por consequência, a indústria deste setor tem crescido, dada a demanda (Toniollo, 2015). A indústria têxtil é uma das maiores do mundo e é conhecida por sua alta demanda de água e corantes, dos quais são misturados na etapa de tingimento de fibras e depois despejados, gerando problemas ambientais devido à alta carga orgânica, cor acentuada e componentes químicos tóxicos ao meio ambiente (Silva, 2011). Estima-se que são consumidos 100 m<sup>3</sup> d'água por tonelada de tecido e deste consumo, 100 Kg de DQO (Demanda Química de Oxigênio) são emitidos (Silva, 2011).

Um produto sustentável é definido pela sua produção que leva em conta tanto aspectos sociais, como aspectos ambientais, buscando minimizar os impactos ecológicos. Isso envolve, por exemplo, a utilização eficiente de recursos naturais, como água e energia, bem como a implementação de práticas de recuperação de materiais, como a reciclagem e o tratamento d'água (Parisi, 2015).

O corante *Índigo Blue* é conhecido pelo tingimento das calças jeans. Para a produção de uma calça utiliza-se 3781 L de água. A produção têxtil representa cerca de 20% da poluição industrial às águas, modificando o ecossistema global pela turbidez da água, dificultando a realização de fotossíntese por meio da penetração de raios solares, além de causar efeitos colaterais em seres humanos (Torres, 2019).

Atualmente, há diversos métodos para as águas residuais proveniente das indústrias. Estes processos visam a transformação dos compostos orgânicos em inertes, se possível, ou em componentes mais benéficos ao meio ambiente. (Aquino Neto, 2011).

O método de eletrofloculação, também conhecido como eletrocoagulação ou eletroflotação, consiste em um processo eletrolítico utilizado para tratar águas residuais e outras soluções aquosas contaminadas. Essa técnica é desenvolvida para lidar com poluentes presentes em formas emulsificadas ou suspensas no líquido. A eletrofloculação é um

procedimento altamente especializado que utiliza princípios eletrolíticos para desestabilizar e remover contaminantes da água, com o objetivo de melhorar a qualidade da água e a eficiência do tratamento (Aquino Neto, 2011).

O processo é realizado por meio da eletrólise da água, onde produz-se um coagulante pela oxidação do ânodo metálico. Ao formar íons positivos no estágio anódico, os mesmos reagem com a água, emitindo hidróxidos (Aquino Neto, 2011). Simultaneamente, a eletrólise gera bolhas que transportam as partículas coaguladas para a superfície, eliminando a necessidade de aditivos floculantes para remover os resíduos poluentes do sistema (Camboim, 2010).

Sabendo disso, a pesquisa tem como objetivo estudar um dos meios de remoção do corante *Índigo Blue* mediante ao processo de eletroflotação, visando o tratamento adequado da água e a reutilização de ambos na produção.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Preparo dos Eletrodos**

Foram utilizadas placas retangulares de alumínio puro como cátodos e ânodos de sacrifício, com o objetivo de produzir íons  $Al^{3+}$  por meio do processo de oxidação. Ambos os eletrodos foram polidos com lixas de granulometria 200, 400 e 1000, respectivamente, para evitar a passivação que ocorre no alumínio quando exposto ao ar. Além disso, os eletrodos foram mergulhados em álcool isopropílico por 10 minutos para eliminar qualquer resíduo orgânico das superfícies. No caso dos ânodos, foi realizada uma imersão adicional em uma solução de ácido clorídrico a 10% para ativar o eletrodo e remover os óxidos de alumínio existentes. Esses procedimentos foram adotados com o intuito de assegurar as condições adequadas para o desempenho e a reatividade dos eletrodos durante as experiências.

### **2.2. Ensaio de Eletroflotação**

A concentração do eletrólito foi configurada entre 2,5 e 12,5 g/L, e o pH inicial das soluções variou entre 5 e 9. Foram realizados um total de 7 experimentos, dos quais três foram repetições do ponto central, para verificar a consistência dos resultados obtidos. Além disso, realizou-se outros 4 experimentos, determinando os pontos axiais

Os experimentos são conduzidos em um reator de bancada de 2 litros, operando com uma corrente elétrica de 1,25 A e uma agitação magnética de 250 rpm, mantendo uma distância de 1 cm entre cada eletrodo. Cada ensaio teve a duração de 60 minutos.

Ao término de cada experimento, foram realizadas medições da concentração do corante *Índigo Blue*, da turbidez e do DQO. Essas medidas foram obtidas por meio da análise da absorvância no UV-Vis, variando entre 400 e 700 nm.

Os ensaios são conduzidos utilizando soluções semelhantes, onde a concentração do corante foi mantida constante em todos os ensaios. Dessa forma, foi possível comparar ensaios idênticos, variando apenas o pH e a concentração do eletrólito. As soluções também possuíam concentrações semelhantes de matéria orgânica, permitindo uma comparação justa entre os diferentes cenários de remoção do corante com base nos dados coletados.

### 2.3. Preparo das Soluções

As soluções foram preparadas de maneira uniforme, variando a quantidade de sal (NaCl) adicionado e a adição da solução tampão (Acetato de Sódio 1M/Ácido Acético) para ajustar o pH. Em todas as soluções, foram adicionados 50 mg/L de dodecilsulfato de Sódio, 250 mL da solução do corante *Índigo Blue* e, por último, o balão de 2 litros foi completado com água deionizada.

A solução de *Índigo Blue* foi preparada separadamente antes do experimento. Para preparar 500 mL, inicialmente adiciona-se 400 mL de água deionizada em um Erlenmeyer, que era colocado em um agitador magnético com aquecimento até atingir 60°C. Após alcançar a temperatura desejada, foram adicionados 7,9 mL de NaOH 2 mol/L, 0,5 g do corante *Índigo Blue* puro e 0,75 g de Ditionito de Sódio. Em seguida, a água foi adicionada até completar os 500 mL. Após a adição de todos os componentes, a solução foi deixada por aproximadamente 1 hora, sob alta temperatura, para intensificar o processo de redução do corante à sua forma leuco-solúvel [12].

Além disso, foi realizada uma preparação específica para as ampolas de DQO. Durante os testes de DQO, a solução em tratamento foi adicionada, de forma diluída, em ampolas de DQO, que continham 3,5 mL de solução catalítica e 1,5 mL de solução digestiva, para cada intervalo de tempo determinado.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Ensaio de Eletroflotação

Na Tabela 1 estão listados os resultados de porcentagem de remoção da concentração de corante, da turbidez e da DQO, em função das variações do pH e da concentração de eletrólito inicial. Sua porcentagem de remoção da concentração foi calculada seguindo a Equação 1. Para Turbidez e DQO seguiu-se o mesmo raciocínio, alterando os dados para as respectivas incógnitas.

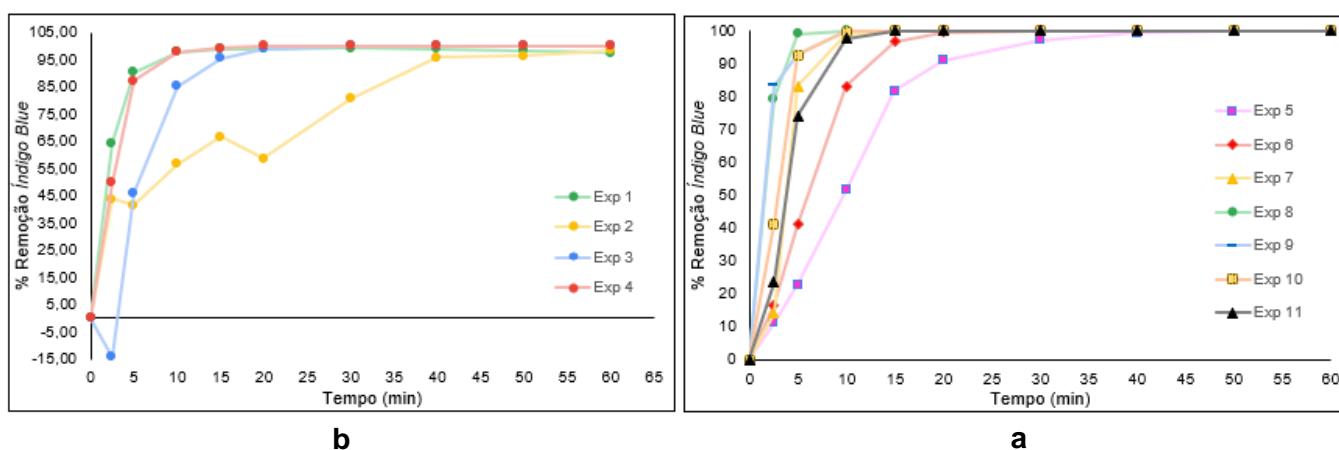
$$Re(\%) = \frac{C_i - C_t}{C_i} \cdot 100$$

Na qual  $C_i$  e  $C_t$  são as concentrações de corante no tempo inicial e no tempo "t", respectivamente.

**Tabela 1.** Matriz do planejamento fatorial 2<sup>3</sup>

| Exp      | Conc. Eletrólito (g/L) | pH inicial | % Remoção final <i>Índigo</i> | % Remoção final Turbidez | % Remoção final DQO |
|----------|------------------------|------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1        | 2,5                    | 5          | 97,49                         | 89,46                    | 74,54               |
| 2        | 2,5                    | 9          | 98,51                         | 92,32                    | 20,14               |
| 3        | 12,5                   | 5          | 100                           | 99,19                    | 38,58               |
| 4        | 12,5                   | 9          | 100                           | 98,58                    | 74,54               |
| 5 (P.A)  | 7,5                    | 4          | 100                           | 98,73                    | -                   |
| 6 (P.A)  | 7,5                    | 10         | 100                           | 98,29                    | -                   |
| 7 (P.A)  | 1                      | 7          | 100                           | 99,48                    | -                   |
| 8 (P.A)  | 14,5                   | 7          | 100                           | 98,53                    | -                   |
| 9 (P.C)  | 7,5                    | 7          | 100                           | 99,29                    | -                   |
| 10 (P.C) | 7,5                    | 7          | 100                           | 99,07                    | 20,88               |
| 11 (P.C) | 7,5                    | 7          | 100                           | 99,18                    | -                   |

Com estes dados, foi possível comparar os ensaios de eletroflotação dos experimentos realizados até agora. Sendo assim, os experimentos a serem comparados são: 1 e 3 devido as suas concentrações de eletrólito serem diferentes e os seus pHs serem iguais, por outro lado, é possível estudar o impacto da diferença de pH na eletroflotação de uma solução a uma concentração de eletrólito baixa, ou seja, ensaios 1 e 2, devido aos seus pH iniciais serem diferentes e sua concentração de eletrólito serem iguais. No primeiro caso, o aumento da concentração de eletrólito fez com que a porcentagem de remoção da DQO fosse a segunda menor obtida por esse trabalho. Esse comportamento também foi observado quando o pH estava elevado (Exp 2). Isso mostra que o incremento de substâncias como eletrólito ou solução alcalina para elevar o pH tiveram um impacto negativo na porcentagem de remoção da DQO. O perfil de remoção de *Índigo Blue* para os 4 pontos discutidos pode ser visto no gráfico da Figura 1a, enquanto os pontos axiais e centrais são expressados graficamente na Figura 1b.



**Figura 1.** Porcentagem de remoção de *Índigo Blue* por tempo em **a)** Ensaios de 1 a 4. **b)** Ensaios dos pontos centrais e axiais (de 5 a 11).

Ao analisar a Figura 1a, observa-se que os experimentos progridem inicialmente em velocidades diferentes, mas ao fim de cada experimento, todos alcançam uma alta porcentagem de remoção. O experimentos 3 e 4 chegaram a atingir remoção completa do corante *Índigo Blue*. Já o Exp 2, realizado com menos eletrólito e pH 9, apresentou dificuldades para uma alta remoção da concentração do corante *Índigo Blue*.

Vale destacar que os pontos axiais e centrais são importantes para obtenção de uma equação a qual se encontra a porcentagem de remoção do corante *Índigo Blue* pelo valor de pH e Concentração de NaCl. Isso se dá pela aplicação de um modelo matemático com termos quadráticos, que ao ser plotado, cria-se uma superfície de resposta a fim de obter uma parábola e encontrar seu ponto máximo, ou ponto ótimo.

### 3.2. Desafios nos ensaios

Para os pontos axiais e dois centrais, não foi possível obter os dados de DQO, pois seus resultados apresentados não eram compatíveis com a realidade, os testes foram repetidos e apresentaram os mesmos resultados chegando a uma conclusão indeterminada sobre o problema apresentado durante os ensaios. Como o foco do projeto é a concentração do corante, deu-se continuidade a fim de não atrapalhar o planejamento dos demais ensaios.

## 4. Conclusão

Com base na Tabela 1 e na Figura 1a, conclui-se que o experimento 4 (pH inicial de 9 e concentração de eletrólito inicial de 12,5 g/L) apresenta a maior taxa de remoção, tanto de turbidez quanto de DQO. Além disso, esse ensaio atinge a remoção completa do corante em um tempo menor, tornando a solução inicial mais adequada para a remoção do Índigo Blue.

Com a coleta dos pontos axiais e centrais por completo, será possível obter, com a ajuda do software Statistica, a equação para remoção do corante e da turbidez.

Por fim, é possível afirmar que há experimentos que a sua concentração ou turbidez pode aumentar. Este aumento pode ser explicado pela formação de lodo ou aumento do pH.

---

## Referências

- AQUINO NETO, Sidney de et al. **Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química**. Química Nova, v. 34, p. 1468-1471, 2011.

- CAMBOIM, Ricardo Augusto. **Técnica de eletroflotação aplicada na remoção de cores de efluentes têxteis**. 2010. Tese de Doutorado. [sn].

- PARISI, Maria Laura et al. **Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles**. Journal of Cleaner Production, v. 108, p. 514-524, 2015.

- SILVA, Simone Custódio da. **Tratamento químico e biológico de efluentes da indústria têxtil como forma de redução do impacto ambiental aos recursos hídricos: estudo de caso: Mar Indústria Têxtil e Tinturaria Ltda**. 2011.

- TONIOLLO, Michele; ZANCAN, Natália Piva; WÜST, Caroline. **Indústria têxtil: sustentabilidade, impactos e minimização**. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2015. p. 23-26.

- TORRES, Larissa Markus; CARVALHO, Wagner Alves. **II-288-ESTUDO COMPARATIVO DE DEGRADAÇÃO DO CORANTE REACTIVE BLUE 222 APLICANDO OS SISTEMAS: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, FENTON, FOTO FENTON E OZÔNIO**. 2019.