

DESEMPENHO DA ELETROFLOTAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO BLUE PELA VARIAÇÃO DA DISTÂNCIA DOS ELETRODOS DE ALUMÍNIO E DA DENSIDADE DE CORRENTE APLICADA

Palavras-Chave: ELETROFLOTAÇÃO; *ÍNDIGO BLUE*; CORANTE TÊXTIL.

Autores(as):

ANDRÉ RODRIGUES LEITE., LabPEA – FEQ

ALBERTH EDISON T. CAYTE, LabPEA – FEQ

Prof. Dr. AMBROSIO FLORENCIO DE ALMEIDA NETO, LabPEA – FEQ

INTRODUÇÃO

Corantes sintéticos têm sido cada vez mais utilizados nas indústrias têxteis e de tingimento devido ao baixo custo de síntese, alta estabilidade à luz e à temperatura, em comparação com corantes naturais (GÖK et al., 2010). Uma das preocupações mais atuais no ramo da indústria têxtil tem sido a recuperação adequada dessas espécies química utilizadas no processo de fabricação de peças de vestuário por dois principais motivos: questões de preservação ambiental e recuperação dos reagentes/questões econômicas.

O *Índigo Blue* ($C_{16}H_{10}N_2O_2$), de cor azul em sua forma sólida e insolúvel na água, com grande afinidade pelas fibras de algodão que compõem o tecido das peças de vestuário de jeans (HIZAL et al., 2022; PASCHOAL E TREMILIOSI-FILHO, 2005), é um corante de difícil biodegradação dado sua estrutura molecular aromática complexa e uma sua alta estabilidade (ZHANG, 2023), o que atribui sua alta toxicidade para a vida dos organismos, reduzindo o crescimento de bactérias e impedindo a fotossíntese na flora aquosa (HAMEED, 2008; VIMONSES et al., 2009).

A construção deste projeto objetiva a simulação do tratamento de banhos de tingimento da indústria têxtil por um método ecologicamente amigável e com alta eficiência, se utilizando de eletrodos de alumínio metálico puro como agente coagulante para este sistema de eletroflotação do corante Índigo. Além disso, permite a reciclagem e reutilização consciente deste e demais reagentes similares.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação dos Eletrodos

O corte e preparação dos eletrodos, de alumínio metálico puro, utilizados como cátodos e ânodos de sacrifício, foi o procedimento experimental de entrada para a construção do sistema de eletroflotação. De modo a garantir condições adequadas de funcionamento e reatividade dos eletrodos, no decorrer do experimento cátodos e ânodos foram submetidos a um polimento com lixas de granulometria 200#, 400#

e 600#, respectivamente, retirando, assim, uma parcela significativa da camada superficial de óxido de alumínio. Em seguida os eletrodos passaram por um tratamento químico, o qual consistiu na imersão de todos os eletrodos em álcool isopropílico P.A. por 10 minutos para ação esterilizante. Os ânodos passaram, ainda, pela imersão em ácido clorídrico (HCl 10% v/v) que impediu o processo de anodização do material, durante a passagem da corrente elétrica

Preparação e funcionalidade das soluções

Em conjunto com a preparação dos eletrodos, múltiplas soluções se fizeram necessárias durante a aquisição de dados. Uma primeira etapa foi a preparação de solução padrão de *Índigo Blue* de forma a transformar o corante, inicialmente insolúvel em água, na sua forma leuco-solúvel (PASCHOAL, 2005). Antes de cada experimento o eletrólito foi preparado com a adição de 250 mL de solução padrão de *Índigo Blue*, 2,5g/L de NaCl, 26 mL de solução tampão HAc/NaAc, que conferiu o pH inicial característico de 5, e, por fim, 0,1g/L de 1-Dodecilsulfato de Sódio, responsável pela formação de uma espuma sobrenadante contendo as espécies de corante resgatadas do meio aquoso e íons Al^{3+} . A formação dessa espuma evitou a deposição do corante no fundo do reator.

Um último preparo essencial para o curamento dos dados foi a produção de ampolas capazes de medir a demanda química de oxigênio da solução, ou seja, quanta matéria orgânica oxidável que a solução, em cada período de tempo, apresentou, dado as medidas absorvâncias no comprimento de onda de 600nm que indicaram a quantidade de íons cromatos reduzidos de Cr^{7+} à Cr^{3+} . Para isso, foi necessário a produção de uma solução catalítica e uma segunda solução denominada digestiva. As ampolas foram completadas com 3,5 mL e 1,5 mL, respectivamente, além de 2 mL de água deionizada e 0,5 mL das amostras retiradas experimentalmente, numa diluição de 1:5, antes de serem submetidas ao aquecimento em 150°C por 2h e tendo suas absorvâncias medidas.

Ensaio de Eletroflotação

Os ensaios de eletroflotação permitiram o entendimento de como cada variável de estudo afetaram em nossa taxa de remoção final de *Índigo Blue* em solução, avaliando o processo quanto à distância ideal dos eletrodos e à densidade de corrente elétrica aplicada, além do tempo ótimo de duração do ensaio.

A variação dos parâmetros de distância foi feita entre 1,5 cm a 2,5 cm e referente à corrente elétrica o intervalo foi entre 0,25A a 1,25A. Esse arranjo experimental seguiu um planejamento fatorial 2^2 , conforme delineado na Tabela 1. No total, foram conduzidos 7 experimentos, incluindo três repetições do ponto central, para avaliar a consistência dos resultados obtidos.

Os experimentos foram conduzidos num reator com capacidade volumétrica de 2 L de solução. Esta cuba foi submetida à agitação constante de 450 rpm, com a utilização de um agitador magnético pela duração de 60 minutos. Cada experimento contou com a medição de temperatura, pH,

condutividade e voltagem. Além disso, mediu-se a absorvância em relação à concentração em um comprimento de onda (λ) de 670nm, turbidez em $\lambda = 580\text{nm}$ e DQO em $\lambda = 600\text{nm}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Foi efetuado um planejamento fatorial 2^3 da seguinte maneira:

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial 2^3

Experimento	Corrente (A)	Distância Eletrodos (cm)	% Max. Re. Índigo	% Média Re. Turbidez	% Média Re. DQO
1	0,25 (-1)	1,5 (-1)	94,85	66,90	6,80
2	1,25 (1)	1,5 (-1)	96,29	84,26	20,74
3	0,25 (-1)	2,5 (1)	93,24	64,45	34,29
4	1,25 (1)	2,5 (1)	98,31	84,98	9,15
5	0,75 (0)	2 (0)	96,77	87,98	15,80
6	0,75 (0)	2 (0)	96,87	91,14	22,38
7	0,75 (0)	2 (0)	98,94	89,77	23,98

Os experimentos 5, 6 e 7 são utilizados para averiguar a reprodutibilidade dada sua realização em triplicata e níveis intermediários de distância dos eletrodos e corrente elétrica aplicada. Podemos, portanto, integrá-los em uma única apresentação de dados médios, vide Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios referente aos experimentos centrais 5, 6 e 7

Tempo (minutos)	Conc. (mg/L)	Turbidez (IU)	DQO (mg/L)	% Re. Índigo	% Re. Turb.	% Re. DQO
0	106,75	3384,10	2810,12	0	0	0
2,5	54,83	2219,10	2425,85	46,79	32,73	13,08
5	30,33	1316,05	2280,75	70,66	60,48	18,62
10	6,69	395,52	2256,28	93,37	88,12	19,40
15	4,68	261,50	2333,45	95,58	92,31	16,67
20	3,71	144,29	2444,88	96,56	92,88	24,24
30	3,34	265,28	2262,80	96,89	92,18	28,56
40	2,84	267,52	2555,22	97,37	92,16	15,38
50	2,64	280,07	2120,95	97,54	91,70	24,19
60	2,87	304,69	2059,53	97,34	90,97	26,27
pH	Temperatura (°C)	Condutividade (mS.cm)	Voltagem (V)	Massa perdida (g)		
5,09	15,03	6,63	1,75	0,5579		

Estes dados nos proporcionam a possibilidade da construção de uma curva média de boa aproximação aos valores empíricos obtidos nos ensaios centrais, tal qual se faz visível nas Figuras 1, 2 e 3, na curva de coloração azul escuro. É observado, portanto, a eficiência do ensaio central de eletroflotação em contraste aos demais níveis que os parâmetros assumem.

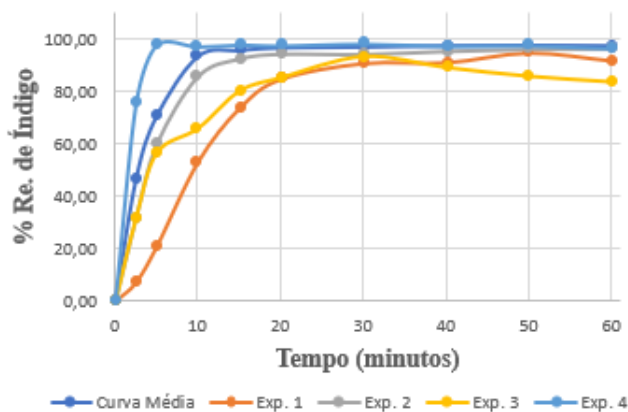


Figura 1: Eficiência de remoção de Índigo Blue em experimentos 1, 2, 3 e 4.

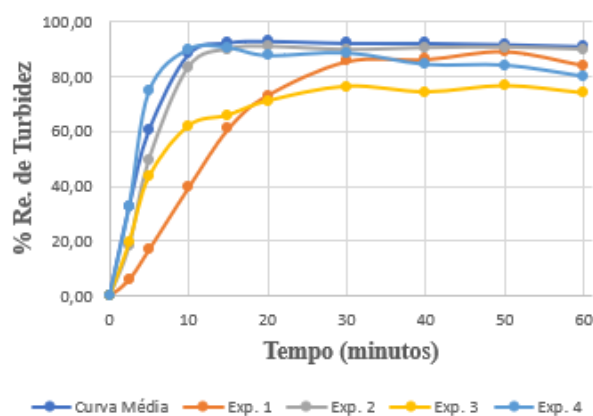


Figura 2: Eficiência de remoção de Turbidez em experimentos 1, 2, 3 e 4.

Já a Figura 3 não apresenta tamanha regularidade em seus valores como visto ao lado. Isso ocorre devido a liberação de outras espécies químicas com tendências redutoras dentro do eletrólito utilizado, como por exemplo os íons Al^{3+} , provindas dos eletrodos metálicos. Visualmente, percebe-se com o passar do tempo um aumento da turbidez, quando o eletrólito passou a apresentar uma coloração mais esbranquecida. Além disso, alienta-se uma possível contaminação nas ampolas de DQO do Exp. 1 dado sua alta irregularidade.

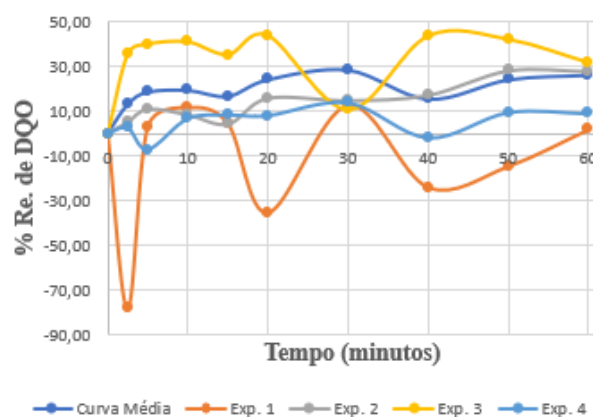


Figura 3: Eficiência de remoção de DQO em experimentos 1, 2, 3 e 4.

Com os dados obtidos a análise comparativa dos ensaios pode ser feita por meio de dois vieses: referente à distância dos eletrodos ou pela corrente elétrica aplicada.

Nos experimentos 3 e 4, ambos com a distância fixa entre eletrodos de 2,5 cm e variação da corrente aplicada de 0,25A e 1,25A, respectivamente, verifica-se que o último apresenta uma crescente mais rápida na porcentagem de remoção tanto de índigo quanto de turbidez. Além disso, tal distinção na carga elétrica apresenta uma diferença de eficiência significativa, já que o ensaio 4 se mantém a altas taxas de remoção em ambos aspectos, enquanto uma corrente de 0,25A não representa tamanha força motriz para elevar os níveis de remoção de índigo para além de 93,24%. Entretanto, por um viés técnico-econômico, a maior densidade de corrente em escala industrial não se mostra plausível diante os resultados satisfatórios e constantes obtidos na curva média.

A segunda análise compara os ensaios 2 e 4, esses que mantêm uma corrente aplicada fixa de 1,25A e se diferem pela distância dos eletrodos em 1,5 cm e 2,5 cm, respectivamente. A distância dos eletrodos evidencia uma diferença razoável na taxa de remoção de concentração de índigo, sendo que o ensaio 2 alcança o valor de 96,29% apenas aos 60 minutos e o ensaio 4 de 98,31% já aos 30 minutos, vide Tabela 2. Entretanto, as taxas de remoção da turbidez e demanda química ao fim do ensaio 2 são favoráveis em relação ao ensaio 4, o qual alcança uma porcentagem de remoção de DQO abaixo de

10%. Isso pode nos indicar que o eletrólito no 4º experimento, apesar de favorável na remoção do corante *Índigo Blue*, apresenta alta contaminação da solução com espécies remanescentes do processo, aumentando a turbidez e a quantidade de matéria oxidável, demandando um novo tratamento para além da eletroflotação. Dito isso, a maior distância entre os eletrodos se fez positiva. Uma possível explicação é a criação de campos eletromagnéticos mais fortes com a aproximação dos eletrodos, implicando em maior número de colisões entre os íons, dificultando a eficiência da eletrofloculação.

CONCLUSÃO

Tendo em vista as discussões levantadas e a apresentação dos resultados dos ensaios 1, 2, 3 e 4, torna-se possível certas otimizações dos parâmetros experimentais, sendo eles a distância dos eletrodos e a corrente elétrica aplicada, de forma a adquirir uma maior taxa de remoção/resgate de *Índigo Blue* de nosso eletrólito. A análise feita entre os ensaios 3 e 4 demonstra o efeito de densidade de corrente na taxa de remoção de *Índigo Blue*, turbidez e DQO. Percebe-se, experimentalmente, que o intervalo de densidade de corrente aplicada é ideal e, portanto, a corrente intermediária de 0,75A basta. Além disso, valores muito altos facilitam a formação de íons Al^{3+} , diminuindo as taxas de remoção de turbidez e demanda química (DQO) e aumentam o desgaste dos eletrodos de sacrifício e o consumo energético. A realização de ensaios a diferentes níveis de distanciamento dos eletrodos nos mostrou que um espaçamento maior rende melhor eficiência na remoção percentual de índigo da solução, referente aos experimentos 2 e 4. Entretanto, é essencial a regulação deste espaçamento, pois grandes intervalos resultarão num aumento resistivo, afetando a eletroflotação.

BIBLIOGRAFIA

GÖK O.; ÖZCAN A.S.; ÖZCAN A. **Adsorption behaviour of a textile dye of Reactive Blue 19 from aqueous solutions onto modified bentonite**, Applied Surface Science, v. 256, p. 5439-5443, 2010.

HAMEED B.H. **Equilibrium and Kinetic studies of methyl violet sorption by agricultural waste**, Journal of Hazardous Materials, v. 154, p. 204-212, 2008.

HIZAL, J.; YILMAZOGLU, M.; KANMAZ, N.; ERCAG, E. **Efficient removal of indigo dye by using sulfonated poly (ether ether ketone) (sPEEK), montmorillonite (MMT) and sPEEK-MMT composites as novel adsorbent**. Chemical Physics Letters, v. 794, p. 139482, 1 maio 2022.

PASCHOAL, Fabiana Maria Monteiro; TREMILIOSI-FILHO, Germano. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. Química Nova, v. 28, p. 766-772, 2005.

VERMA, A.K., 2017. **Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation employing Fe-Al composite electrode**. J. Water Process Eng. 20, 168–172.

VIMONSES, V.; LEI S.; JIN B.; CHOW C.W.K.; SAINT C. **Kinetic study and equilibrium isotherm analysis of Congo Red adsorption by clay materials**, Chemical Engineering Journal, v. 148, p. 354-364, 2009.

ZHANG, W., YAO, J., MU, Y., ZHANG, M., 2023. **Electrofloculation of indigo dyeing wastewater from industrial production: Flocs growth and adsorption mechanism**. Arab. J. Chem. 16, 105335.