



Avaliação da aplicação da taxa de corrente elétrica em reatores eletroquímicos em batelada e fluxo contínuo destinados ao tratamento de efluente têxtil

Maurício De Oliveira Vaz ¹, Bruna Mayer ², Eduardo Eyng ³, Laercio Mantovani Frare ⁴

¹ Discente do Curso de Engenharia Ambiental/ UTFPR (mauricio.o.vaz@gmail.com)

² Discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais/ UTFPR (brunamayyer@gmail.com)

³ Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais/ UTFPR (eduardoe yng@utfpr.edu.br)

⁴ Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais/ UTFPR (laercio@utfpr.edu.br)

Resumo

A eletrocoagulação vem se mostrando uma técnica potencial para o tratamento de efluentes têxteis. Esta consiste na aplicação de corrente elétrica em eletrodos de sacrifício para a geração de hidróxidos metálicos, que removem os contaminantes presentes. No entanto, ainda existe uma carência de equações para embasar o projeto dos reatores eletroquímicos e de se correlacionar as condições empregadas para um sistema em batelada e em fluxo contínuo, fazendo com que esta seja pouco empregada. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi gerar uma correlação empírica entre a eficiência de tratamento por eletrocoagulação em sistema de batelada e o reator eletroquímico de simples canal, com o intuito de auxiliar no projeto de reatores eletroquímicos. Foram testadas diferentes condições de Tempo de Retenção Hidráulico (TRH), densidade de corrente (J) e Taxa de Aplicação (TA) para o tratamento dos efluentes em sistema de batelada e em módulo de fluxo contínuo, analisando suas eficiências de remoção de corante. A partir disso, foi feita a correlação linear para estimar a eficiência de remoção do módulo de fluxo contínuo com base nos resultados do tratamento em batelada, obtendo-se uma correlação considerada moderada, com $R^2 = 0,8088$.

Palavras-chave: Eletrocoagulação. Projeto de reatores eletroquímicos. Corante azul 5G.

Área Temática: Águas residuárias

Evaluation of the application of the electric current rate in electrochemical reactors in batch and continuous flow for the treatment of textile effluent

Abstract

Electrocoagulation has been shown to be a potential technique for the treatment of textile effluents. This consists of the application of electric current in sacrificial electrodes for the generation of metal hydroxides, which remove the contaminants present. However, there is still a lack of equations to support the design of electrochemical reactors and to correlate the conditions used for a batch and continuous flow system, making it little used. In this sense, the objective of this study was to generate an empirical correlation between the efficiency of



treatment by electrocoagulation in batch system and the simple channel electrochemical reactor, in order to assist in the design of electrochemical reactors. Different conditions of Hydraulic Retention Time (TRH) and current density (J) were tested for effluent treatment in a batch system and in a continuous flow module, analyzing its efficiency of dye removal. From this, a linear correlation was performed to estimate the removal efficiency of the continuous flow modulus based on the results of the batch treatment, obtaining a correlation considered moderate, with $R^2 = 0.8088$.

Key words: Electrocoagulation. Design of electrochemical reactors. 5G blue dye.

Theme Area: Wastewater

1 Introdução

O aumento do crescimento populacional aliado ao desenvolvimento industrial vem fazendo com que os problemas ambientais se tornem cada vez mais críticos e frequentes. Nesse contexto, a contaminação das águas tem sido um dos grandes problemas da sociedade atual. A indústria têxtil merece destaque especial neste tema, pois seu grande parque industrial instalado gera grandes volumes de efluentes (KUNZ et al., 2002), caracterizados pela cor intensa, alta demanda química de oxigênio (DQO), grande quantidade de sólidos dissolvidos e variação de pH (CERQUEIRA et al., 2009). Estas características fazem com que seja necessário um eficiente sistema de tratamento, caso contrário, estes efluentes podem causar sérios problemas de contaminação ambiental, alterando os ciclos biológicos aquáticos e afetando principalmente os processos de fotossíntese (KUNZ et al., 2002).

Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias de tratamento têm sido pesquisadas para a degradação destes compostos (KUNZ et al., 2002). Existem várias técnicas físico-químicas, químicas e biológicas para o tratamento de efluentes têxteis, no entanto, é necessário avaliar as limitações e requisitos de cada processo para atestar sua viabilidade (VERMA, 2017).

A eletrocoagulação vem se mostrando uma técnica potencial para o tratamento de efluentes têxteis devido a sua versatilidade e compatibilidade ambiental. A técnica consiste na aplicação de corrente contínua em eletrodos metálicos imersos no efluente, favorecendo a dissolução dos eletrodos e a geração de hidróxidos metálicos que desestabilizam e agregam partículas, ou ainda, precipitam e adsorvem contaminantes (KHANDEGAR & SAROHA, 2013).

Apesar de haverem muitos estudos sobre a eficiência dos reatores eletroquímicos no tratamento de efluentes têxteis, poucos apresentam informações sobre o dimensionamento e o projeto do reator eletroquímico. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi gerar uma correlação empírica entre a eficiência de tratamento por eletrocoagulação em sistema de batelada e o reator eletroquímico de simples canal, com o intuito de auxiliar no projeto de reatores eletroquímicos.

2 Metodologia

Para a realização dos ensaios de eletrocoagulação, tanto no sistema batelada, quanto no sistema contínuo, foram preparadas soluções com concentração de 50 mg.L⁻¹ de corante reativo Azul 5G e 2 g.L⁻¹ de NaCl (Cloreto de Sódio).

No tratamento em sistema de batelada, um volume de 2L da solução de corante foi transferida para um béquer com capacidade de 2L, alocado sobre um agitador magnético. Uma fonte de corrente contínua (Instrutherm - FA3050) foi ligada a um par de eletrodos de



ferro com área útil de $37,5 \text{ cm}^2$ (Figura 1). Após decorrido TRH correspondente a cada ensaio, foram coletadas as amostras do efluente tratado em duplicata. Estas foram dispostas em tubos tipo Falcon para decantação do ferro residual. Decorridas 96h das amostragens, foram realizadas as leituras de absorbância em espectrofotômetro de absorção molecular (Hach - DR 2800).

Figura 1 - Procedimento experimental da eletrocoagulação em sistema de batelada



A densidade de corrente (J) e o TRH foram previamente definidos a partir de uma matriz de ensaio (Tabela 1).

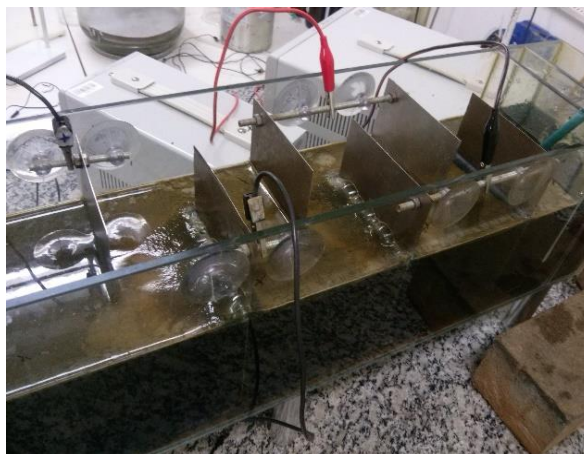
Tabela 1 - TRH, J e Taxa de Aplicação (TA) do sistema em batelada

Ensaio	J (mA.cm^{-2})	TRH (min)	TA ($\text{mA} \cdot (\text{cm} \cdot \text{min})^{-1}$)
B1	13,333	5	1,8750
B2	26,667	5	3,7500
B3	40,000	5	5,6250
B4	53,333	5	7,5000
B5	66,667	5	9,3750
B6	13,333	8	1,1719
B7	26,667	8	2,3438
B8	40,000	8	3,5156
B9	53,333	8	4,6875
B10	66,667	8	5,8594

O módulo de tratamento em sistema de fluxo contínuo consistiu em uma cuba de vidro retangular com volume útil de 8,5 L, equipada com 3 pares de eletrodos de ferro com área útil de 99 cm^2 (Figura 2). As soluções foram armazenadas em barriletes de 20 L que alimentavam o módulo continuamente com o auxílio de uma bomba hidráulica e a corrente elétrica era provida aos eletrodos por duas fontes (Instrutherm - FA3005 e FA3050).



Figura 2 - Procedimento experimental da eletrocoagulação em módulo de fluxo contínuo



Para os ensaios em fluxo contínuo, a J foi calculada de modo a manter uma Taxa de Aplicação (TA) constante entre o sistema em batelada e fluxo contínuo. Como haviam duas variáveis independentes (J e TRH) e apenas uma equação, determinou-se um critério para o TRH, sendo o valor desta variável no reator de fluxo contínuo o equivalente a quatro vezes o valor para o sistema em batelada (Tabela 2).

Para o cálculo de TA foi considerada a razão (R) entre o volume de solução inserido no béquer (cm^3) e a área útil dos eletrodos (cm^2). Respalhando-se desta razão, foi obtida a taxa de aplicação TA (Equação 1).

$$TA = \frac{i}{R \cdot TRH} \quad (1)$$

Onde i é a corrente elétrica utilizada no ensaio em batelada (A) e TRH é o tempo previamente definido para o tratamento (minutos).

Tabela 2 - TRH, J e TA aplicadas no sistema de fluxo contínuo

Ensaio	Densidade de corrente ($\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$)	TRH (min)	TA ($\text{mA} \cdot (\text{cm} \cdot \text{min})^{-1}$)
C1	3,614	20	1,8750
C2	7,227	20	3,7500
C3	10,841	20	5,6250
C4	14,454	20	7,5000
C5	18,068	20	9,3750
C6	3,614	32	1,1719
C7	7,227	32	2,3438
C8	10,841	32	3,5156
C9	14,454	32	4,6875
C10	18,068	32	5,8594

Para assegurar que as amostragens realizadas no reator em fluxo contínuo fossem realizadas com o processo em estado estacionário, estas foram feitas depois de decorrido o tempo de ensaio equivalente ao dobro do TRH adotado. As amostragens foram realizadas em duplicata e as leituras de absorbância foram feitas em espectrofotômetro de absorção molecular (Hach - DR 2800).

Para avaliar a efetividade da correlação entre as eficiências de tratamento dos sistemas em batelada e fluxo contínuo realizou-se um ensaio de validação sob condições intermediárias as apresentadas na matriz de ensaios (Tabela 3).



Tabela 3 - TRH, J e TA aplicados no ensaio de validação

Ensaio	Amostragem	J (mA.cm ⁻²)	TRH (min)	TA (mA.(cm.min) ⁻¹)
Batelada	1	33,333	6,5	3,6058
Fluxo Contínuo	2	9,034	26,0	3,6058

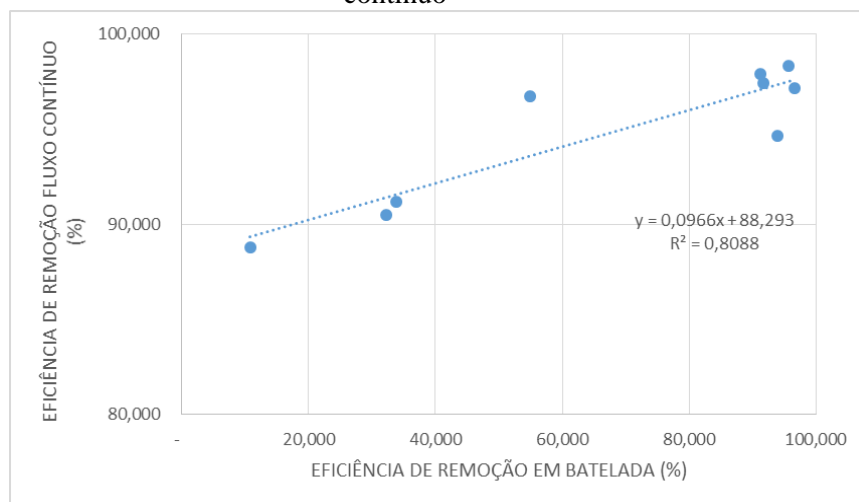
3 Resultados e discussão

A partir das eficiências médias de remoção do corante Azul 5G nos tratamentos em fluxo contínuo e batelada (Tabela 4) foi possível fazer a relação entre os ensaios e a estabelecer a respectiva correlação (Figura 3).

Tabela 4 – Eficiências médias de remoção nos ensaios de eletrocoagulação em sistema de fluxo contínuo e batelada

Ensaio	Fluxo Contínuo (%)	Ensaio	Batelada (%)
C1	25,569	B1	32,180
C2	90,495	B2	32,180
C3	91,167	B3	33,832
C4	97,460	B4	91,649
C5	94,638	B5	93,971
C6	88,776	B6	10,795
C7	96,762	B7	54,898
C8	97,909	B8	91,271
C9	97,147	B9	96,639
C10	98,344	B10	95,683

Figura 3 - Gráfico de correlação entre os ensaios em sistema de batelada e fluxo contínuo



Para o ajuste da correlação, fez-se necessária a exclusão dos ensaios B1 e C1, pois estes apresentaram uma discrepância mais acentuada em relação aos demais ensaios.

A correlação foi ajustada para estimar a eficiência de remoção do módulo de fluxo contínuo com base nos resultados do tratamento em batelada (Equação 2).

$$y = 0,0966x + 88,293 \quad (2)$$

Onde x representa o percentual de remoção quando o tratamento é realizado pelo sistema em batelada e y se refere a estimativa do percentual de remoção do módulo de fluxo contínuo. O coeficiente de correlação ($R^2 = 0,8088$) indicou uma correlação moderada entre as variáveis.



Para a validação da correlação encontrada, foram realizados ensaios com condições diferentes dos ensaios anteriores, utilizando condições intermediárias de TRH e densidade de corrente aplicada (Tabela 5).

Tabela 5 – Teste de validação da eletrocoagulação em sistema de batelada com TRH de 6,5 min e fluxo contínuo com TRH de 26 min

Ensaio	J^1 (mA.cm ⁻²)	Abs _B ₁ ²	Abs _T ₁ ³	E ₁ ⁴ (%)	Abs _B ₂ ⁵	Abs _T ₂ ⁶	E ₂ ⁷ (%)	E _M ⁸ (%)
Batelada	33,33	1,15	0,269	76,71	1,059	0,186	82,44	79,57
Fluxo contínuo	9,03	1,15	0,162	85,95	1,152	0,110	90,45	88,20

Substituiu-se a eficiência média de remoção do corante do ensaio de validação em sistema de batelada, $x = 79,57\%$, na equação 1, obteve-se um valor de eficiência média de remoção no sistema em fluxo contínuo de $95,98\%$. Porém, este valor foi superior a eficiência média encontrada no ensaio de validação em fluxo contínuo, que foi de $88,20\%$, gerando um erro de correlação de $8,82\%$. Dada a complexidade do processo de eletrocoagulação e a variação dos ensaios em sistema de batelada, este erro pode ser considerado aceitável.

4 Conclusão

Os ensaios realizados permitiram a obtenção das condições operacionais iniciais de tratamento para os sistemas em batelada e fluxo contínuo, além da análise da eficiência de remoção do corante reativo Azul 5G para replicação no reator eletroquímico por meio da correlação proposta. Porém, a alta variabilidade dos sistemas de tratamento, especialmente em batelada, tornou mais difícil esta correlação. Apesar disso, o erro de predição encontrado no ensaio de validação, de $8,82\%$, pode ser considerado satisfatório.

As elevadas eficiências de remoção do corante, superiores a 98% em alguns ensaios, evidenciaram que o tratamento de efluentes por eletrocoagulação apresenta-se como uma importante alternativa à indústria têxtil, podendo ser testado, em ensaios futuros, em escala laboratorial e real.

Recomenda-se o aprimoramento do procedimento de tratamento em batelada em planejamentos experimentais futuros buscando uma menor variação no sistema, além disso, o fator utilizado para o ajuste do TRH em sistema de batelada e fluxo contínuo poderia ser incorporado como variável no estudo.

Referências

- CERQUEIRA, A.; RUSSO, C.; MARQUES, M. R. C. Electroflocculation for textile wastewater treatment. **Braz. J. Chem. Eng.**, São Paulo, v. 26, n. 4, dez. 2009.
- KHANDEGAR & SAROHA. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluente: A Review. **Journal of Environmental Management**, 2013.
- KUNZ, et al. **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Revista Química Nova, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.
- VERMA, A. K. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation employing Fe-Al composite electrode. **Journal of Water Process Engineering**, 2017.