

II-047 – OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE TRATAMENTOS DE EFLUENTES COM CORANTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL POR PROCESSOS ELETROQUÍMICOS

Germana de Paiva Pessoa⁽¹⁾

Química Industrial pela Universidade Federal do Ceará. Mestranda em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental pela Universidade de Federal do Ceará.

Antônio Idivan Vieira Nunes⁽²⁾

Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Endereço⁽¹⁾: Campus do Pici – Bloco: 713 - Fortaleza – CE – Brasil – Tel.: +55 (85) 33669623 - Fax: +55 (85) 33669627 - e-mail: germanapaiva@hotmail.com

RESUMO

A eletrocoagulação (EC) é uma das técnicas mais eficazes para remoção de cor e poluentes orgânicos provenientes de águas residuárias, reduzindo também a quantidade de lodo formado. Neste trabalho, estudou-se utilização da eletrocoagulação como técnica de tratamento de efluente têxtil com o objetivo de remover a cor visando reutilizar a água tratada. O método utilizado nesse experimento foi o de batelada utilizando o alumínio como material dos eletrodos. O corante utilizado nesse experimento foi o Remazol Blue RR, pertencente à da classe dos reativos, utilizado para tingir algodão e outras fibras celulósicas. O efeito dos parâmetros operacionais, tais como: a densidade de corrente, o pH inicial da solução, o tempo de eletrólise, a concentração inicial do corante e a condutividade da solução foram estudados com o objetivo de se alcançar o máximo de remoção de cor do efluente. Além dos parâmetros citados, avaliou-se também a demanda química de oxigênio (DQO), o consumo de energia e o consumo dos eletrodos.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrocoagulação, efluente têxtil, reúso de água, remoção de cor.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil consome uma quantidade considerável de água durante os processos de fabricação e beneficiamento de tecidos. Durante os processos usuais de tingimento e acabamento são utilizados aproximadamente 100 litros de água por tonelada de tecido. [1] A água utilizada nos processos realizados pela indústria necessita de um pré-tratamento para poder ser descartada na rede coletora ou em corpos receptores devido às características do efluente gerado, como a forte cor e alta turbidez. [2]

Um dos maiores problemas do efluente têxtil está relacionado à cor, devido às grandes estruturas poliméricas que os corantes apresentam e são muito difíceis de decompor biologicamente. [3]. A principal causa da geração desse efluente caracterizado pela forte cor seria a lavagem em banhos correntes para a retirada do excesso do corante original ou do corante hidrolisado que não foi fixado à fibra. [4]

Devido à problemática envolvendo os efluentes têxteis várias técnicas, como, coagulação química seguida de sedimentação e adsorção, processo anaeróbio com mediador redox, processos oxidativos avançados, vêm sendo aplicadas para o tratamento desse tipo de efluente visando além da adequação perante a legislação, a reciclagem da água para processos na própria indústria.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

O corante utilizado neste trabalho é o corante reativo Remazol Blue RR da indústria DyStar, utilizado em tingimento de fibras de algodão e celulósicas. As soluções foram preparadas dissolvendo-se os corantes em água deionizada e ajustando-se o pH com H_2SO_4 0,1N e NaOH 0,1N e condutividade com NaCl.

Aparato Experimental

O aparato experimental foi montado de acordo como ilustrado na Figura 1. A célula foi construída com material acrílico com dimensões 100 x 150 x 180 mm, sendo utilizado o volume de 1500 cm³. Foram utilizados oito eletrodos, sendo 4 cátodos e 4 ânodos, em forma de placas de alumínio apresentando as dimensões iguais de 50 x 110 x 3 mm, com área de superfície total de 0,04784 m² e a distância entre os eletrodos na célula de EC é de 11

mm em todos os experimentos. Os eletrodos foram conectados de forma monopolar a uma fonte de tensão (DAWER FCC-3020 D 30 V e 20 A). A agitação foi realizada através de um agitador mecânico com velocidade 350 rpm.

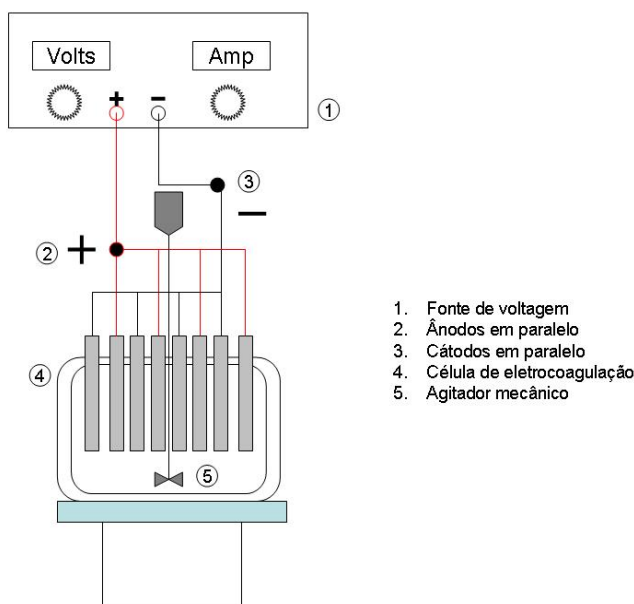


Figura 1 – Fluxograma do Processo de Eletrocoagulação

Procedimento Experimental

Todo o experimento foi realizado com solução do corante com concentração de 50 mg/L, sendo monitorados os parâmetros de corrente, tensão, tempo, temperatura, pH e condutividade. Ao final do tempo estabelecido foi coletada uma amostra da solução para análises de cor e DQO, antes da realização das análises a amostra foi centrifugada e filtrada para que não houvesse interferências.

Ao final de cada período os eletrodos eram lavados com solução 2:1 de hexametileno tetramina $C_6H_{12}N_4$ (2,80%) e HCl (35%) para remoção de qualquer resíduo sólido na superfície dos mesmos e depois lavados com água e sabão, secos e pesados.

As concentrações do corante foram determinadas a partir de suas características de absorbância na escala do UV/Visível ($\lambda = 600\text{nm}$) pelo método da curva de calibração utilizando um Espectrofotômetro UV/Vis.

O cálculo da eficiência de remoção da cor (ER), após o tratamento por EC, será feito usando-se a seguinte fórmula:

$$ER = 100 \times \frac{C_o - C}{C_o} (\%) \quad (1)$$

Onde C_o e C são respectivamente as concentrações inicial e final da eletrocoagulação do corante em mg/L.

A determinação da demanda química de oxigênio (DQO) foi realizada de acordo com o método titulométrico (5220 C) de acordo com o “Standard Methods for Water and Wastewater” [5]. O método titulométrico foi escolhido devido à restrição ao método colorimétrico, pois amostras que contenham turbidez ou cor com absorção máxima próximo de $\lambda = 600\text{nm}$ são persistentes após a digestão da amostra [6].

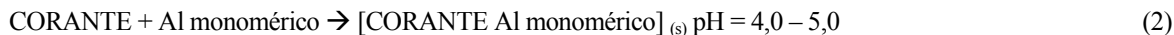
RESULTADOS

Efeito do pH inicial

O efeito do pH inicial na remoção da cor foi analisado entre os valores de pH de 3 a 11 utilizando os seguintes parâmetros operacionais:

- Concentração inicial do corante (C_o): 50 mg L⁻¹;
- Condutividade do efluente (κ): 1 mS cm⁻¹;
- Tempo de tratamento de eletrocoagulação (t_{EC}): 20 minutos;
- Densidade de corrente (d. c.): 48 A m⁻².

Como mostra a Figura 2, a maior eficiência obtida foi de 91% , encontrada no pH inicial 4. Esta eficiência é resultado de uma precipitação eficiente das moléculas de corante, de acordo com o mecanismo da equação (2):



A Figura 2 mostra que durante a faixa de pH 5-9 há uma taxa de remoção constante apresentando um grande decaimento no pH 10 e 11. Este fato pode ser explicado devido à formação em excesso dos íons OH^- fazendo com que não se formassem compostos monoméricos e sim compostos que não se adsorvem nas partículas do corante.

Um baixo pH inicial retarda a formação de flocos de $\text{Al}(\text{OH})_3$ e estimula a formação de espécies hidróxido poliméricas. Em valores de pH elevados, acima de 9, a quantidade de flocos diminui de acordo com a equação:



Pois o equilíbrio da equação se desloca para a direita aumentando a quantidade de $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, diminuindo assim a eficiência de remoção.

Os íons OH^- acumulados na fase aquosa durante o processo e a sua concentração é imposta não apenas pelo pH inicial, mas também pela cinética e equilíbrio da reação neste complicado sistema aquoso.[6]

Durante todos os ensaios realizados o pH final do efluente se manteve constante na faixa de 8,3 - 8,8, mostrando assim a capacidade tampão do sistema $\text{Al}(\text{OH})_3/\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

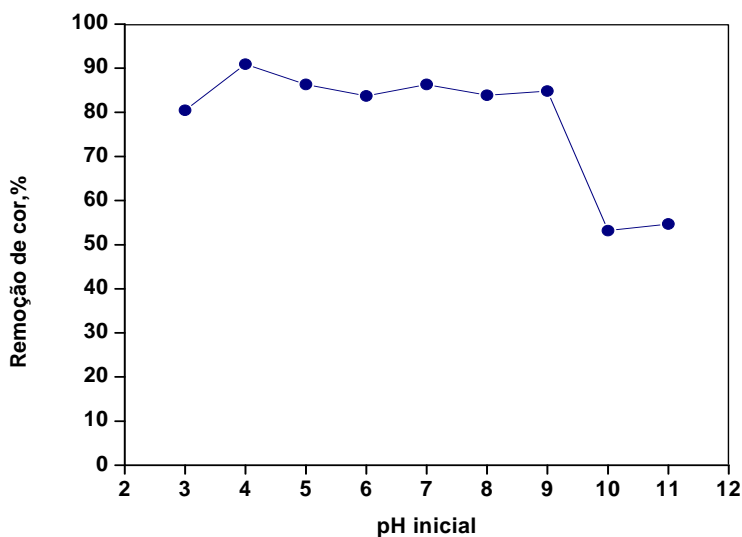


Figura 2 - Efeito do pH inicial na eficiência da remoção de cor.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$; d. c. = 48 A m^{-2})

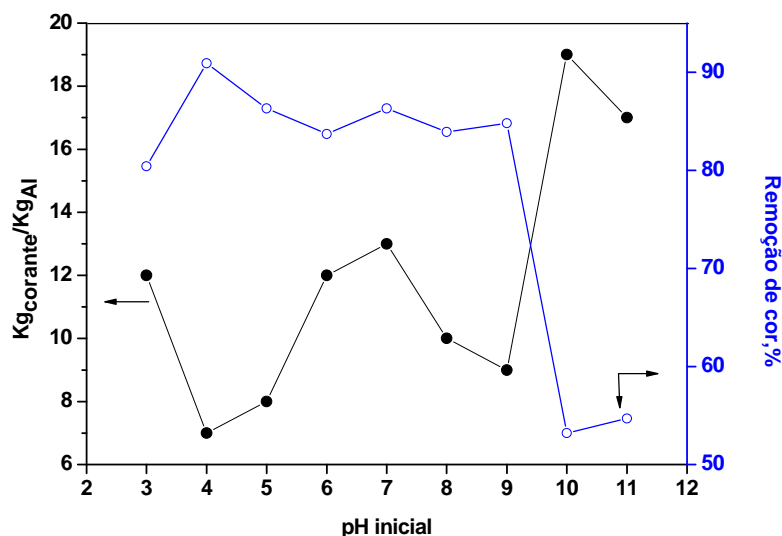


Figura 3 - Efeito do pH inicial no consumo dos eletrodos.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$; $d.c. = 48 \text{ A m}^{-2}$)

A Figura 3 mostra que o melhor resultado de remoção de cor obteve um menor consumo dos eletrodos de Al por kg de corante removido e para a menor remoção (53%) obteve um maior consumo de eletrodos. Este fato indica que em condições ótimas, no caso o pH inicial, não há uma necessidade excessiva do desgaste dos eletrodos, o Al para de ser consumido, uma vez que a quantidade necessária para formar os precipitados com o corante foi atingida.

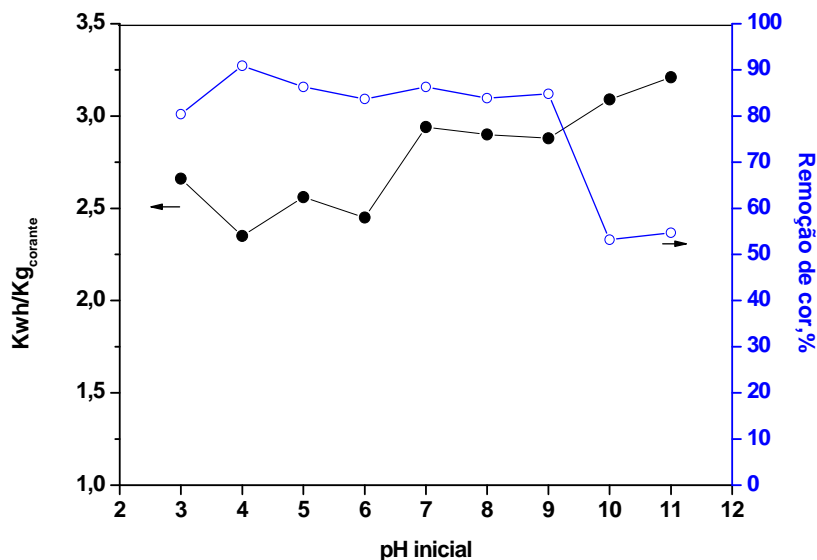


Figura 4 - Efeito do pH inicial no consumo de energia.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$; $d.c. = 48 \text{ A m}^{-2}$)

O consumo de energia elétrica por kg de corante removido em função do pH inicial pode ser representado pela figura 4. Em valores de pH ácido (3 – 6) ocorre o menor consumo de energia, sofrendo um aumento nos valores de pH neutro entre 7 a 9, permanecendo praticamente constante e finalmente um aumento em pH mais elevados (10 e 11).

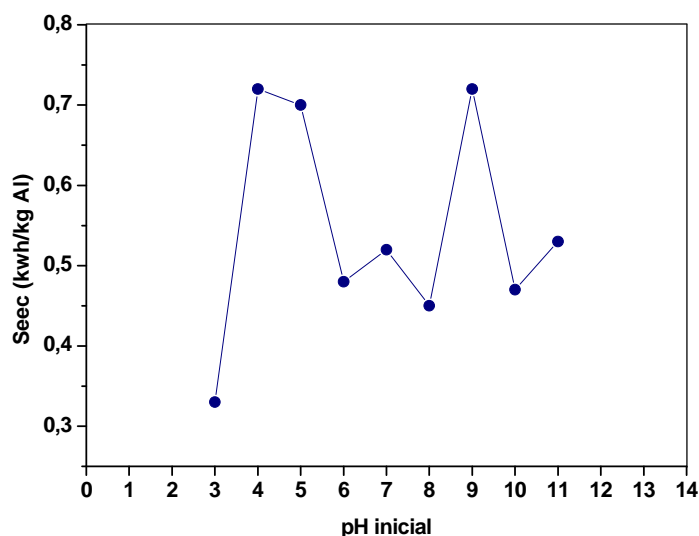


Figura 5 - Efeito do pH inicial no consumo específico de energia SEEC (kwh/kgAl).
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$; $d.c. = 48 \text{ A m}^{-2}$)

Efeito da condutividade

O efeito da condutividade na eficiência de remoção da cor foi estudado entre os valores de 1 e 5 mS cm^{-1} utilizando NaCl como eletrólito. Como pode ser observado na Figura 6 há uma diminuição constante na eficiência com o aumento da condutividade. Este fato pode ser atribuído à mudança da força iônica devido à mudança de condutividade no meio aquoso. A força iônica afeta claramente o equilíbrio e a cinética das reações entre espécies carregadas ocorrendo durante a eletrocoagulação.

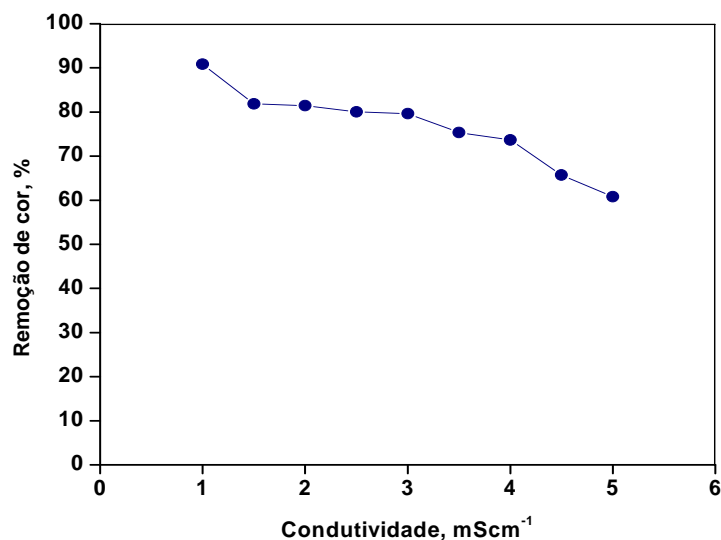


Figura 6 - Efeito da condutividade na eficiência da remoção de cor.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$; $d.c. = 48 \text{ A m}^{-2}$)

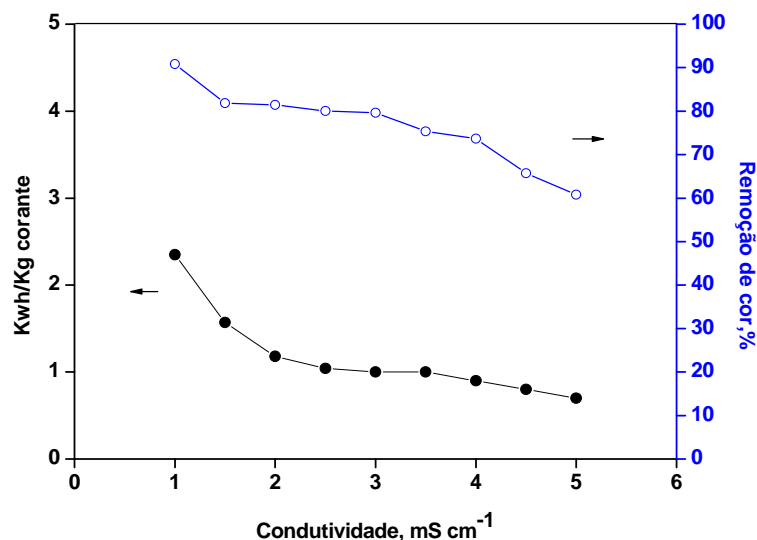


Figura 7 - Efeito da condutividade no consumo de energia.
 $(C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

O aumento da condutividade diminui o consumo de energia, como pode ser visto na Figura 7. No entanto não influencia no desgaste dos eletrodos, uma vez que os resultados apresentados na Figura 8 não mostram nenhuma relação dependente entre os dois fatores. No entanto, a eficiência da corrente apresenta valores elevados, se comparados com valores com condutividade menor, como é apresentado na Figura 9, chegando a um valor de 192% no valor de condutividade 3 mS cm^{-1} .

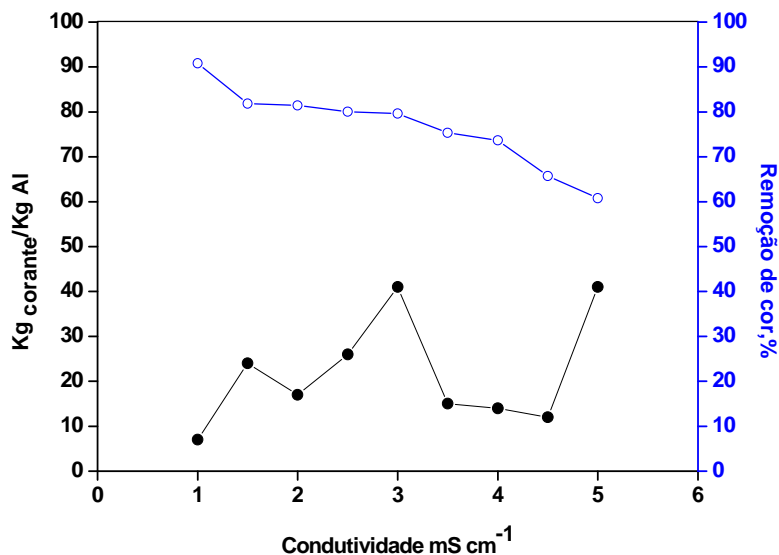


Figura 8 - Efeito da condutividade no consumo dos eletrodos.
 $(C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

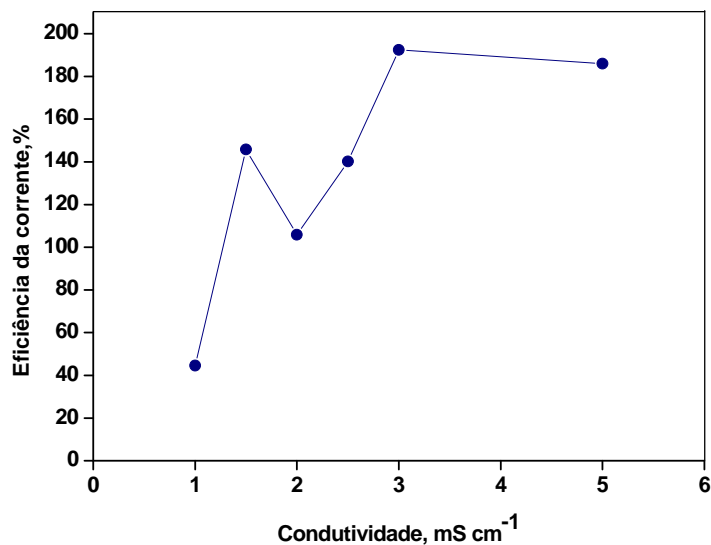


Figura 9 - Efeito da condutividade na eficiência da corrente.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$; $d.c. = 48 \text{ A m}^{-2}$)

Efeito da densidade de corrente

O efeito da densidade de corrente foi analisado entre os valores de 21 e 86 A m^{-2} , o melhor resultado encontrado foi na densidade de corrente de 63 A m^{-2} com uma eficiência de 98%. Pode-se observar que após esse valor há um pequeno decréscimo na eficiência da remoção se mantendo estável em 91% em valores mais elevados de corrente, ou seja, houve uma perda de potência nestes valores devido à dissipação da energia elétrica como energia térmica, fazendo com que a eficiência de remoção fosse reduzida.

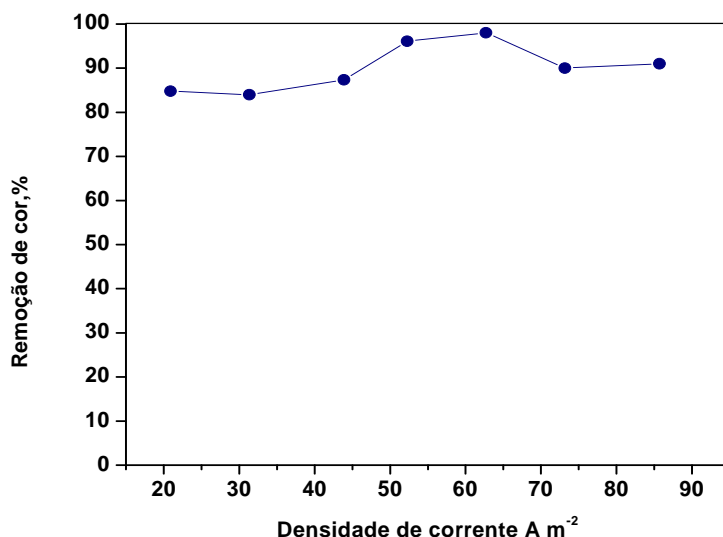


Figura 10 - Efeito da densidade de corrente na eficiência da remoção de cor.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$)

A Figura 11 apresenta resultados da remoção de DQO de acordo com o aumento da densidade de corrente. O maior valor encontrado chega a 97% de eficiência no valor de 63 A m^{-2} . Pode-se dizer que existe uma relação entre a

remoção de cor e DQO, quanto maior for a remoção de cor maior será a eficiência de remoção de DQO neste caso apresentado, uma vez que o efluente estudado é composto apenas de corante e água deionizada, ou seja, o único responsável pela DQO é o corante.

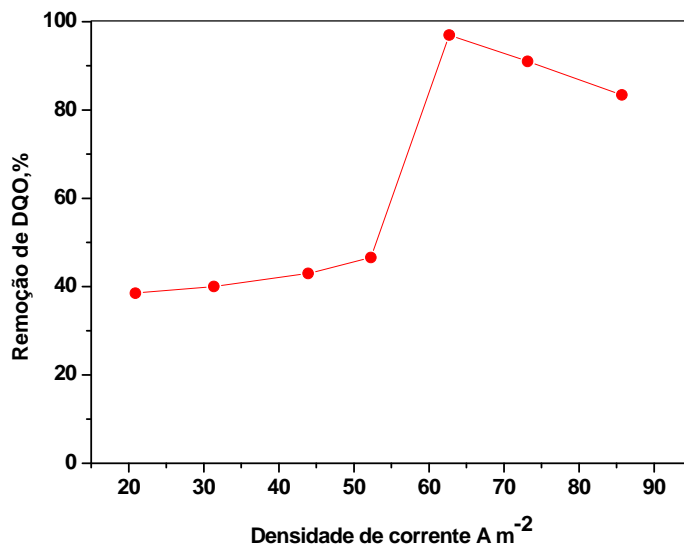


Figura 11 - Efeito da densidade de corrente na remoção de DQO.
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; d.c. = 63 \text{ A m}^{-2})$

Na Figura 12 pode-se observar que há um aumento contínuo no consumo de energia com o aumento da densidade de corrente, o que mostra ser um gasto desnecessário, uma vez que a eficiência não sofre um aumento significativo com o aumento da densidade de corrente.

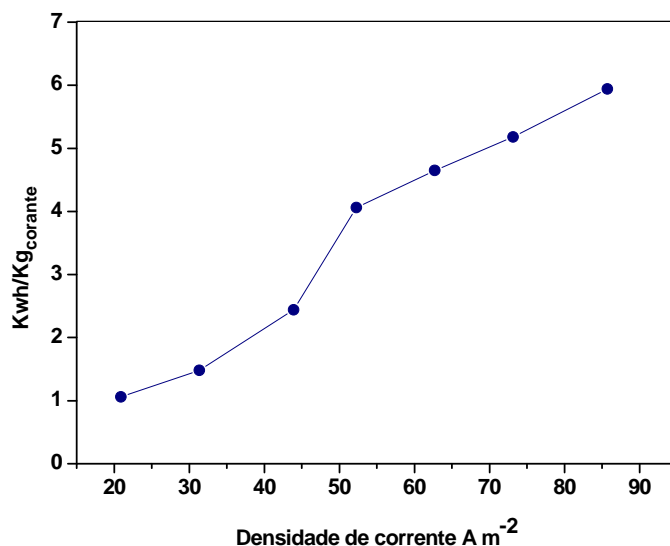


Figura 12 - Efeito da densidade de corrente no consumo de energia.
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; d.c. = 63 \text{ A m}^{-2})$

Efeito do tempo de tratamento

A análise do tempo de tratamento foi realizada entre 5 e 40 minutos, pode-se observar que no tempo de 40 minutos ocorre uma melhor remoção da cor, no entanto o custo operacional seria excessivo, podendo manter o tratamento em 30 minutos, uma vez que já se obtém uma remoção eficiente, chegando a um valor acima de 98%.

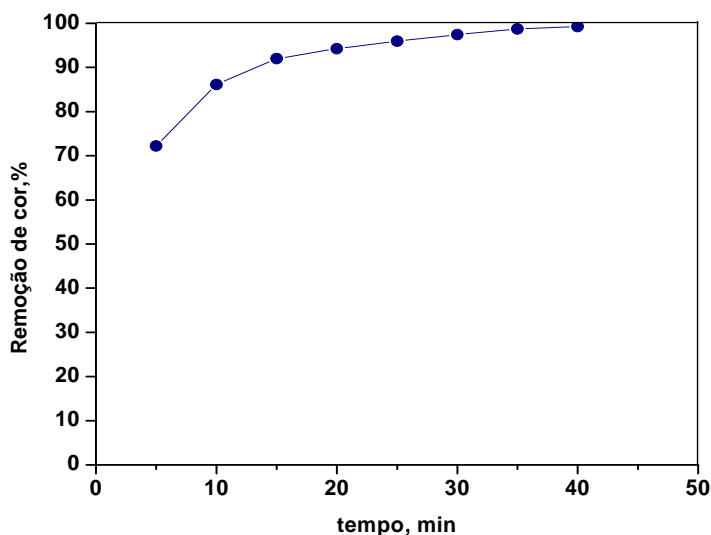


Figura 13 - Efeito do tempo na eficiência da remoção de cor.
($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$; $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$; $d.c. = 63 \text{ A m}^{-2}$)

Efeito da concentração inicial do corante

A eficiência de remoção cai de 98% para 70,5% quando a concentração do corante aumenta de 50 mg L^{-1} para 100 mg L^{-1} , o que significa que a eficiência varia em função da concentração do corante.

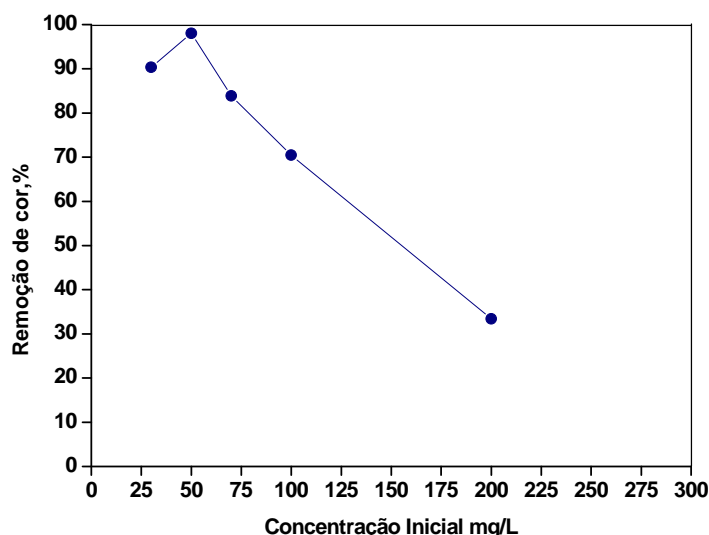


Figura 14 - Efeito da concentração inicial na eficiência da remoção de cor.
($\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$; $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$; $d.c. = 63 \text{ A m}^{-2}$; $t_{EC} = 20 \text{ min}$)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A eletrocoagulação é um processo eficiente para remoção da cor de um efluente têxtil, uma vez que pode-se obter um resultado de 98% em condições otimizadas, podendo chegar a uma taxa de remoção de cor 100% com um tempo de tratamento maior, aumentando de 20 para 40 minutos. Os parâmetros como pH inicial, condutividade e densidade de corrente são variáveis importantes que afetam diretamente a eficiência da remoção.

Na análise dos parâmetros operacionais para o corante específico Remazol Blue RR os valores ótimos encontrados foram:

- pH inicial: 4;
- Condutividade: 1 mS cm^{-1} ;
- Densidade de corrente: 63 A m^{-2} ;
- Tempo de tratamento: 30 minutos;
- Concentração inicial do corante: 50 mg L^{-1} .

Embora não tenham sido apresentados gráficos de remoção da DQO para todos os parâmetros analisados devido a flutuações nos valores provenientes de interferências do método utilizado, pôde-se concluir que a técnica utilizada é eficiente na remoção de DQO chegando a uma remoção de 97% nos valores ótimos já citados.

As condições operacionais do processo necessitam ainda de uma melhor otimização em relação a velocidade de agitação para obtenção de grandes quantidades de espécies poliméricas para que este processo possa ser utilizado em escala real, além da utilização do processo em fluxo contínuo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LIN, S.H.; CHEN, L.M, Treatment of Textile Wastewater by Chemical Methods for Reuse. Water Research, v.31, n.4, p. 868-876,1997.
2. PERALTA-ZAMORA, P. E LIMA, L. Remediação de resíduos têxteis aquosos por processos fotoeletroquímicos. Química Têxtil. Vol.78. p.58-62, 2005.
3. LIN, S.H.; CHEN, L.M., Purification of textile wastewater effluents by a combined Fenton process and ion exchange. Desalination 109. p. 121-130,1997.
4. GUARATINI,C.C.I E ZANONI,M.V.B. Corantes Têxteis. Química Nova. Vol.23. p.71-78, 2000.
5. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19ª Edição. Washington: American Public Health Association, 1995.
6. AQUINO, S.F; SILVA, S.Q.; CHERNICHARO, C.A.L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbicos. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, nº04, p. 295-304, 2006.
7. CAN, O.T.; BAYRAMOGLU, M.; KOBAY, M., Decolorization of Reactive Dyes Solutions by Electrocoagulations using Aluminum Electrodes. Industrial & Engineering Chemistry Research,v.42, p.3391-3396, 2003.