

APLICAÇÃO DE PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E ELETROCOAGULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE TEXTIL

P. C. SOUZA^{1,2*}, N. C. PEREIRA¹, C. KREUTZ², G. J. SCHIAVON²

¹Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Campo Mourão

*e-mail: paulacsouza@uol.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi à aplicação dos processos de tratamentos por coagulação/floculação, utilizando três diferentes coagulante/floculante: tanino, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio, e o processo de eletrocoagulação, para o tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil. Para o processo de coagulação/floculação, foi realizado inicialmente um estudo para determinar a melhor dosagem dos coagulantes em relação ao efluente, em seguida o melhor pH inicial para cada dosagem estabelecida, nestas condições foram verificadas as percentagens de remoções de DQO, cor aparente e turbidez para cada coagulante. Para o tratamento de eletrocoagulação, foi utilizando um reator de escala laboratorial, do tipo batelada, com eletrodos de alumínio, capacidade de 4 litros e densidade de corrente de $1,51\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$. O efluente têxtil apresentou, após os processos de tratamentos avaliados, características físico-químicas dentro dos limites de despejo em corpos hídricos receptores impostos pelo CONAMA.

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial vem se conscientizando quanto ao consumo de água, demonstrado interesse em reduzir a poluição causada pelos seus processos.

O efluente da indústria têxtil apresenta uma ampla variação na sua composição devido às características de suas fibras e dos produtos químicos usados em diferentes processos, caracterizando portanto os despejos gerados neste setor como sendo fortemente coloridos, devido à presença dos corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento (V. Khandegar *et al.* 2013). A poluição de corpos d'água com estes compostos provocam, além da poluição

visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. Além deste fato, estudos tem mostrado que algumas classes de corantes, podem ser cancerígenos e/ou mutagênicos. (Kunz, et al 2002).

O estudo de novas alternativas capazes de minimizar o volume empregado de água nos processos industriais e também a redução da sua toxicidade é um dos principais obstáculos ao combate à contaminação ambiental. Dentre as várias técnicas investigadas podem-se citar os processos de eletrocoagulação e a utilização de polímeros naturais.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de parâmetros

físico-químicas, os processos de tratamento com coagulante/floculante natural (tanino) e de coagulante químico (Sulfato de Alumínio e Policloreto de Alumínio) em relação processo de eletrocoagulação e eletroflotação para o tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Efluente Têxtil

As amostras utilizadas neste trabalho provêm de uma lavanderia industrial localizada no município de Campo Mourão.

A determinação dos parâmetros: DQO, cor, turbidez, foi feita em duplicata aplicando os métodos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Análises de DQO foram realizadas em um reator de COD da MARCONI MA4004, a determinação de cor e turbidez foi realizada através de um espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, sendo a leitura da turbidez de forma direta e os resultados expressos em FTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e a cor com os resultados expressos em mg PtCo/L. A evolução do pH foi determinada por meio de pHmetro e a condutividade elétrica foi determinada em um condutivímetro da marca METTLER TOLEDO.

2.2 Experimentos de coagulação/ floculação

Para o estudo de coagulação/floculação foram utilizados três coagulantes diferentes: Sulfato de Alumínio na forma sólida, fornecido pela empresa Cinetica®, o tanino vegetal (Tanfloc®) da forma sólida, fornecido pela empresa TANAC S/A, e o policloreto de alumínio (PAC), da forma líquida.

Os experimentos de coagulação/floculação foram realizados em equipamento *jar-test* para seis amostras, marca Milan – Modelo JT 101/6, com regulador de rotação das hastes misturadoras,

em temperatura ambiente (19 a 33°C). Consistiram na adição de diferentes dosagens de coagulantes em béqueres de prova contendo 500 ml do efluente têxtil.

Foram empregados para o processo de CC, o tempo de mistura rápida (TMR) de 5 minutos a 95 rpm, para desestabilizar a suspensão. Seguiu-se uma agitação lenta (TML) durante 30 min a 35rpm, para facilitar a floculação. Para ocorrer a sedimentação (SED) foi definido um tempo de 30 min, após esse tempo foram retiradas amostras do sobrenadante abaixo da superfície sendo os ensaios realizados em duplicata. Foram determinadas a DQO, cor aparente, turbidez. As amostras foram filtradas utilizando filtro de membrana de 0,45µm e determinada a cor real. As porcentagens de remoções (Y) foram definidas conforme Equação 1.

$$Y(\%) = \frac{C_i - C}{C_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que C_i é a concentração do efluente real, e C do tratado. Para comparação múltipla das médias de cor, turbidez e DQO das amostras de cada ensaio foi aplicado o teste de Tukey HSD ao nível de 5 % de significância. A análise estatística dos resultados foi realizada com apoio do software livre *ACTION* (Licença Pública Geral GNU)

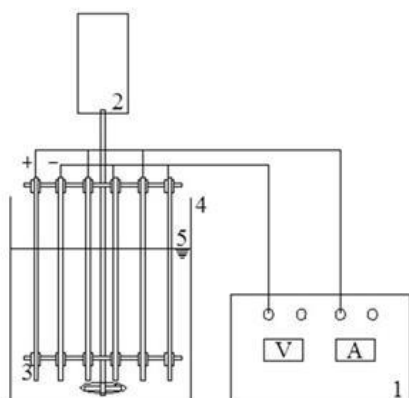
2.3 Experimento de eletrocoagulação

Para o processo de eletrocoagulação-eletroflotação (EF) foi empregado um reator de do tipo batelada, composto por um tanque cilíndrico de acrílico com dimensões de 0,20 metros de diâmetro e 0,20 metros de altura, tendo um volume útil de 4 litros. O conjunto de eletrodos é constituído por seis placas (10 cm de altura x 19,5 cm de largura x 0,3 cm de espessura) de íon alumínio, inserido verticalmente no reator, a uma distância de 10mm entre as placas, apoiado por uma base

de sustentação, parcialmente imersa na solução, com área efetiva de 660 cm^2 , interligado a uma fonte de energia de corrente contínua, fornecendo tensão não faixa de 0 a 50V e intensidade de corrente na faixa de 0 a 10A (Fonte de Alimentação DC - Instrutherm - FA-1030). Foi empregado um agitador mecânico da marca FISATON, modelo 711, cod.450-1, 230V. A densidade de corrente (i) foi fixada em $7,58 \text{ mA.cm}^{-2}$, o que corresponde a valor de corrente (i) de 5A. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente ($19 - 29^\circ\text{C}$).

O tempo de eletrolise foi fixado em 15 minutos, baseado nos estudos de alguns autores que comprovaram que este intervalo de tempo foi suficiente para a redução de parâmetros como cor e turbidez do efluente têxtil (Manenti et al, 2014, Merzouk, 2011, Merzouk, 2009). O desenho esquemático do reator de eletrocoagulação é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Desenho esquemático do reator de eletrocoagulação. (1) Fonte estabilizada de corrente contínua (V= regulador de voltagem; A= regulador de corrente). (2) Agitador mecânico. (3) Eletrodos de EF. (4) Cuba acrílica. (5) Volume Efetivo.



Fonte: Autor (2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume os valores médios das características principais, obtidas após duas análises de cada parâmetro, resultantes

de três diferentes coletas. Os efluente foram coletados durante os períodos de outubro e novembro de 2014, e após a caracterização foram armazenados a 5°C .

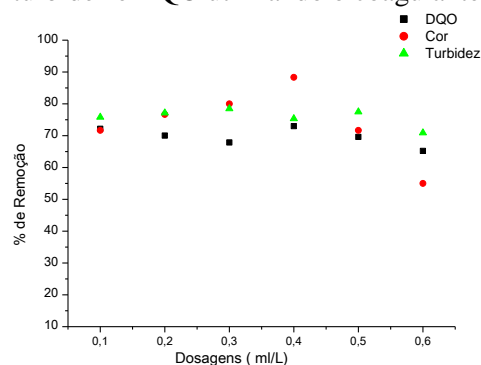
Tabela 1 - Característica do Efluente Têxtil

Parâmetros	Unidade	Valor	Desvio
pH		6,03	$\pm 26\%$
Temperatura	$^\circ\text{C}$	25,02	$\pm 21\%$
Condutividade	mS.cm^{-1}	6,42	$\pm 9\%$
Turbidez	NTU	90,55	$\pm 30\%$
Cor Real	gPt-Co L^{-1}	154,67	$\pm 11\%$
Cor Aparente	gPt-Co L^{-1}	482,80	$\pm 4\%$
DQO	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$	224,03	$\pm 8\%$

3.1 Coagulação química

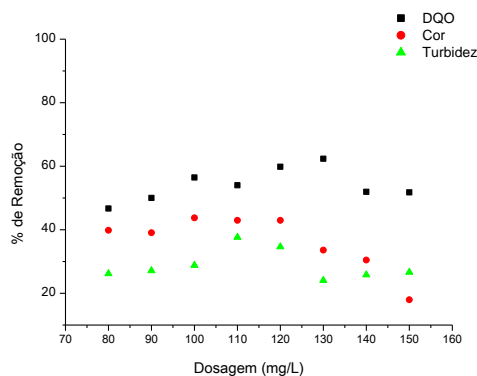
As melhores dosagens dos coagulantes foram determinadas pela variação destas em condições reais. O intervalo de estudo da dosagem de coagulantes foi de 0,2 a 0,6 ml/L para o coagulante policloreto de alumínio (PAC). A Figura 1 apresenta as percentagens de remoção de cor, DQO e turbidez.

Figura 2 – Porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante PAC.



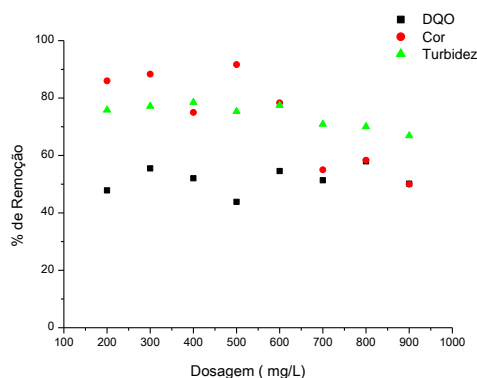
Destaca-se na Figura 2 a dosagem de 0,4ml/L como melhor remoção de cor, mas aplicando o teste de Tukey com um grau de significância de 5% foi obtida a dosagem ótima para o coagulante PAC de 0,2 ml/L, resultando as seguintes remoções: DQO 72%, cor aparente 83%, cor real 73% e turbidez de 77%.

Figura 3 – Porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante PAC.



A Figura 3, apresenta as porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO do coagulante tanino, estudado na faixa de dosagem de 80 a 150 mg/L. A melhor dosagem para este coagulante foi de 80 mg/L, com as seguintes remoções: DQO 55%, cor aparente 27%, cor real 40% e turbidez de 26%. Stroher *et al* (2013) e Couto Jr *et al* (2013) trataram efluente têxtil com o coagulante tanino e obtiveram resultados de remoções de cor aparente e turbidez acima de 90%, obtendo parâmetros menores do que os teores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº430/11.

Figura 4 – Porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante Sulfato de Alumínio.



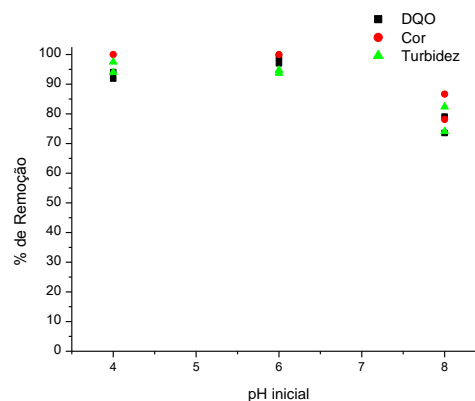
Para o coagulante sulfato de alumínio as dosagens estudadas foram de 200-900 mg/L, a Figura 4 apresenta as porcentagens de

remoção deste coagulante, aplicando o teste de Tukey com grau de significância de 5%, determinou-se a melhor dosagem em 200mg/L, com as seguintes remoções: DQO 48%, cor aparente 88%, cor real 100% e turbidez de 76%.

3.2 Eletrocoagulação

Foram verificadas as reduções de DQO, cor e turbidez do processo EC, a densidade de corrente utilizada no processo foi de $1,51 \text{mA.m}^{-2}$. Para correção do pH foram adicionadas alíquotas de NaCl, afim de aumentar a força iônica do efluente a ser tratado, mantendo a condutividade na faixa de 6 a 9mS.cm^{-1} . O espaçamento entre as placas foi mantido constante em 10mm.

Figura 5 – Eficiência da eletrocoagulação em termos de remoção de cor aparente, turbidez, DQO para três diferentes pH inicial



O tempo de reação fixado em 15 minutos e utilizado um agitador mecânico com rotação de 175rpm. Os resultados experimentais são resumidos na Figura 5 e mostram que o melhor pH inicial para o processo de eletrocoagulação nas condições estabelecidas para o efluente têxtil tratado foi de 6,0, com reduções de DQO de 98%, Cor Aparente de 100% e turbidez de 98%.

3.3 Comparação dos parâmetros físico-químicos

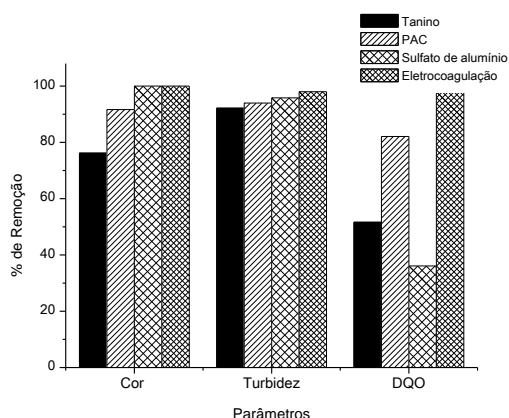
Na Tabela 2 são apresentados os valores absolutos obtidos nas condições ótimas para os três coagulantes e para o processo de EC.

Tabela 2 - Valores absolutos dos parâmetros obtidos no estudo incluindo EC.

Parâmetros	Tanino	Sulfato de Alumínio	PAC	EC
Cor (gPt-Co L-1)	25,00	0,00	17,50	0,0-
Turbidez (NTU)	6,20	4,16	4,65	4,20
DQO (mg O ₂ L-1)	60,95	56,45	22,58	2,80
pH final	3,47	4,60	3,36	7,78

A Figura 6 apresenta as eficiências de remoção dos coagulantes estudados nas melhores condições de dosagem, para o efluente tratado.

Figura 6 – Eficiência dos três coagulantes e da EC em termos de remoção de cor real, turbidez e DQO.



A Resolução CONAMA n.º 357 (Brasil, 2005) estabelece padrões de lançamento de efluentes industriais nos corpos hídricos, fixando valores de até 100 unidades nefelométricas de turbidez, pH entre 6,0 e 9,0 e cor inferior a 75mg Pt-Co L⁻¹, apesar de não especificar os valores para os parâmetro de DQO, sugere que este parâmetro seja inferior a 300 mg O₂ L⁻¹. Pode ser observado que os quatro tratamentos

propostos atendem a Resolução citada, ou seja permitem o lançamento após o tratamento nos corpos hídricos brasileiros.

4. CONCLUSÃO

Os estudos com o coagulante tanino levaram a uma redução de 76% da cor real, 92% da turbidez e 52% de redução de DQO. O tratamento que atingiu a maior redução de DQO foi com o coagulante PAC, atingindo 82% de redução. As melhores reduções de cor real e turbidez foram obtidas pelo coagulante sulfato de alumínio, que no estudo atingiu valores próximos a 100% da remoção de cor real e 96% de redução de turbidez.

O efluente têxtil apresentou para os quatro processos de tratamento, as características físico-químicas dentro dos limites de despejo em corpos hídricos receptores impostos pelo CONAMA, sendo o tratamento pelo processo de eletrocoagulação o que apresentou a melhor eficiência de remoção dos parâmetros analisados.

NOMENCLATURA

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

Condutividade: mScm⁻¹

Cor: gPt-CoL⁻¹

DQO (mgO₂/L): Demanda Química de oxigênio.

EC: coagulação/floculação

EF: eletrocoagulação

PAC: Policloreto de alumínio

pH: Potencial Hidrogeniônico

SED (mim): Tempo de sedimentação

Temperatura: °C

TML (mim): Tempo de mistura lenta

TMR (mim): Tempo de mistura rápida

Turbidez: NTU

REFERÊNCIAS

APHA/WEF/AWWA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. In: CLESCERI, L.S, GREENBREG, E.; EATON, A.D. (Ed). American public health association. 20 th ed. Washington, 2012

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005.

COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. **Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry**. Acta Scientiarum - Technology, 2013, Vol.35(1), pp.83-88

KHANDEGAR, V., SAROHA, A.K. **Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent –review**. Journal of Environmental Management. . p. 949 -963, 2013.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. & DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Quim. Nova, Vol. 25, No. 1, 78-82. 2002.

MANENTI, D. R.; BORBA, F. H.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; PALÁCIO, S. M.; VILAR, .V. J. P.& BERGAMASCO, R. **Avaliação do desempenho de um sistema de tratamento utilizando os processos eletrocoagulação e foto-fenton integrados no tratamento de um efluente têxtil**. ENGEVISTA, V. 16, n. 3, p.420-431. 2014.

MERZOUK B., GOURICH B., SEKKI A., MADANI K., CH. VIAL, BARKAOUI M. **Studies on the decolorization of textile dye**

wastewater by continuous electrocoagulation process. Chem. Eng. J. 149 . 2009.

MERZOUK, B.; GOURICH, B. ; MADANI, K. ; VIAL, C. & SEKKI, A. **Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study**. Desalination. Volume 272, Issues 1–3. 2011.

STROHER, A. P. ; MENEZES, M. L; PEREIRA, N.C.& BERGAMASCO, R. **Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans**. ENGEVISTA, V. 15, n. 3. p. 255-260. 2013.