



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS E OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

Bruno Matheus Favero – bmfavero@gmail.com
Universidade La Salle
Av. Victor Barreto, 2288
CEP: 92010-000 – Canoas/RS

Ana Carolina Favero – anacfav@hotmail.com
Universidade La Salle

Silvio Roberto Taffarel – silvio.taffarel@unilasalle.edu.br
Universidade La Salle

Resumo: Este estudo investigou a eficiência dos processos físico-químicos (coagulação/floculação) e processo oxidativo avançado Fenton no tratamento de um efluente de indústria têxtil. No processo físico-químico, foram removidos 72,60% de DQO, 36,25% de cor e 98,59% de turbidez, utilizando-se o coagulante Policloreto de Alumínio e o floculante AN 905. No processo Fenton, obtiveram-se 170,78 mg/L de DQO, 22,19 mg/L de cor e 0,8 mg/L de turbidez, o que mostra a eficiência desse processo na redução dos parâmetros analisados.

Palavras-chave: Coagulação/floculação, Efluente, Fenton.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF PHYSICAL-CHEMICAL AND ADVANCED OXIDATIVE PROCESSES IN THE TREATMENT OF EFFLUENTS FROM A TEXTILE INDUSTRY

Abstract: This study investigated the efficiency of physical-chemical processes (coagulation/flocculation) and Fenton advanced oxidation process in the treatment of a textile industry effluent. In the physical-chemical process, 72.60% of COD, 36.25% of color and 98.59% of turbidity were removed, using the coagulant Aluminum Polychloride and the flocculant AN 905. In the Fenton process were obtained 170.78 mg/L of COD, 22.19 mg/L of color and 0.8 mg/L of turbidity, which shows the efficiency of this process in reducing the parameters analyzed.

Keywords: Coagulation/flocculation, Effluent, Fenton.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil caracteriza-se por utilizar uma grande variedade de produtos químicos e elevados volumes de água durante os processos de beneficiamento de tecidos. Durante esses processos, que envolvem as etapas de pré-tratamento de tecidos, tinturaria, estampa e acabamento final, são gerados os efluentes têxteis (BELTRAME, 2000).

Os efluentes têxteis contêm em sua composição elevada concentração de corantes, que são adicionados ao processo de tingimento em excesso, com o objetivo de garantir a aderência homogênea do corante ao tecido que está sendo produzido. Os corantes têxteis são compostos orgânicos, cuja finalidade é conferir à fibra ou substrato, uma determinada cor sob condições de processo pré-estabelecidas (COSTA, 2008). De acordo com Beltrame (2000), os corantes apresentam dois componentes principais: o grupo cromóforo (responsável pela cor) e o grupo funcional (que fixa o corante à fibra do tecido). Em razão das características e peculiaridades desses corantes, o efluente têxtil gerado após o processo de beneficiamento é altamente colorido e apresenta grande carga orgânica.

Além dos corantes, os efluentes têxteis apresentam elevado teor de sais inorgânicos, sólidos suspensos, pH variável, altos valores de DQO, considerável quantidade de metais pesados e presença de surfactantes (SILVA, 2015; COSTA, 2008).

É fundamental, portanto, o tratamento adequado dos efluentes têxteis, com o intuito de diminuir sua toxicidade e atender aos parâmetros estabelecidos na legislação brasileira e do estado do Rio Grande do Sul para lançamento de efluentes em corpos hídricos (Resoluções CONAMA 357/05 e 430/11 e Resolução CONSEMA 355/17). Deve-se assegurar também que estes tratamentos sejam viáveis economicamente, e que na medida do possível, promovam o reúso dos efluentes tratados.

Uma alternativa para o tratamento de efluentes têxteis envolve os processos físico-químicos de coagulação e floculação. Esses ensaios são também denominados de "Jar-Test" e objetivam simular em escala de bancada um processo físico-químico existente ou a ser implementado (CAVALCANTI, 2009).

A coagulação é o processo de aglomeração de partículas em suspensão finamente divididas ou em estado coloidal, pela adição de um coagulante adequado (CAVALCANTI, 2009). A mistura do coagulante com o efluente produz, em solução, íons positivos por hidrólise e polimerização em meio alcalino. Esses íons desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, permitindo a aglomeração de partículas e a formação de coágulos (COSTA, 2008).

A floculação permite que partículas desestabilizadas (coágulos) transformem-se em flocos e sejam sedimentados por ação da gravidade. Segundo Beltrame (2000), a floculação ocorre por adsorção de polieletrólitos (macromoléculas sintéticas com alto peso molecular) na superfície das partículas desestabilizadas, formando pontes através de outras partículas e juntando-as como um grande floco.

Tanto o processo de coagulação quanto o de floculação demandam o controle da velocidade na qual é efetuada a mistura dos coagulantes e floculantes. Existem duas etapas - uma rápida (coagulação) e uma lenta (floculação). Na etapa rápida, é necessária uma velocidade de rotação elevada para que o coagulante possa interagir com as partículas em suspensão presentes no efluente, formando coágulos. Em contrapartida, na etapa lenta, deve-se garantir uma velocidade de rotação lenta, de modo que o crescimento dos flocos seja favorecido.

Apesar dos processos físico-químicos de coagulação e floculação serem apropriados para a remoção de cor dos efluentes, muitas vezes é necessária a aplicação de um processo oxidativo avançado (POA), caracterizado por ser capaz de produzir mudanças nas estruturas químicas dos contaminantes. Envolve a geração e uso de espécies transitórias, principalmente o radical hidroxil HO• (MARTINS, 2012; SANTOS et al., 2017). De acordo com Cavalcanti (2009), os POAs são caracterizados pela versatilidade, uma vez que a obtenção dos radicais •OH pode ser realizada por

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

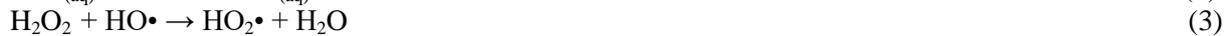
02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

vários meios e combinações entre os oxidantes, obtendo-se a associação mais apropriada para cada caso específico.

Um dos POAs utilizado na remoção de cor dos efluentes têxteis é o processo Fenton, que apresenta grande poder oxidante, atribuído aos radicais hidroxila provenientes da decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio em meio ácido (ALBUQUERQUE, 2005), conforme visualiza-se na equação (1). A partir da equação (2) até a equação (5), as reações ocorrem em cadeia, permitindo oxidar compostos orgânicos complexos, formando moléculas simples, facilmente biodegradáveis e até mesmo conduzindo a total mineralização da matéria orgânica (MAGALHÃES, 2008; TEDDER & POHLAND, 1993).



O processo Fenton apresenta como vantagem o fato de trabalhar com espécies químicas degradáveis, que não apresentam toxicidade. Além disso, para Santos et al. (2017) e El-Gohary et al. (2009), o Fe^{2+} empregado no processo Fenton é abundante, não apresenta toxicidade e é facilmente removido em água.

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de processos físico-químicos (coagulação/floculação) e processos oxidativos avançados (Fenton) no tratamento de um efluente colorido proveniente de uma indústria têxtil. Analisou-se a eficiência de quatro coagulantes e cinco floculantes, em diferentes dosagens e avaliou-se a eficiência do processo Fenton na remoção de cor e DQO deste tipo de efluente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Efluente

O efluente empregado nas análises é proveniente de uma indústria têxtil localizada na região metropolitana de Porto Alegre/RS e foi disponibilizado para análise no Centro de Estudos Ambientais da Universidade La Salle, localizado na cidade de Nova Santa Rita/RS. Manteve-se o efluente à temperatura ambiente, acondicionado em um galão plástico.

2.2 Reagentes

Durante a coagulação foram utilizados os coagulantes Policloreto de Alumínio (Polifloc 18), Cloreto férrico (Acquafloc FC40), Sulfato de alumínio e Sulfato de alumínio combinado com coagulante orgânico (Acquafloc AST). Nos ensaios de floculação, utilizaram-se os floculantes FX NS2 (não iônico), FX CS6 e FX CS7 (catiônicos), FX AS6 e AN905 (aniônicos). Os coagulantes e floculantes utilizados nos ensaios são da marca Faxon Química.

O ajuste de pH do efluente bruto foi efetuado com soluções de H_2SO_4 1M (Synth) e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M (Neon). No processo Fenton, foram utilizados H_2O_2 50% (Brenntag) e $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Synth). Os reagentes empregados nas análises possuem grau analítico (P.A.) e as soluções utilizadas nos ensaios foram preparadas com água deionizada (Milli-Q).

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

2.3 Equipamentos

Os ensaios de coagulação/floculação e o processo Fenton foram efetuados em um equipamento Jar-Test Alfakit, modelo 403. A agitação do sistema durante a etapa inicial do processo Fenton foi realizada com um agitador magnético Fisatom, modelo 752. Para as medições de pH, cor e turbidez, utilizou-se, respectivamente, o pHmetro HANNA HI 8424, turbidímetro HACH 2100P e medidor de cor Alfakit. A digestão das amostras para determinação da DQO foi realizada em um bloco digestor Cienlab Novus N1040T.

2.4 Procedimento analítico

Os procedimentos analíticos efetuados para a análise do efluente bruto e tratado seguiram rigorosamente a metodologia apresentada no livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition*.

Processos físico-químicos de coagulação e floculação

Os processos de coagulação/floculação foram realizados em quatro ensaios distintos, onde foram avaliadas a eficiência dos coagulantes e floculantes utilizados e a dosagem ideal para o tratamento do efluente. A Tabela 1 apresenta a metodologia adotada durante os ensaios.

Tabela 1 - Metodologia adotada nos ensaios de coagulação/floculação.

| | |
|---|---|
| Ensaio 1 (Eficiência dos coagulantes) | Utilizou-se 0,5 mL dos coagulantes Policloreto de alumínio, Cloreto férrico, Sulfato de alumínio, Sulfato de alumínio combinado com coagulante orgânico e 0,5 mL do floculante FX AS6. |
| Ensaio 2 (Dosagem ótima de coagulante) | Utilizou-se o coagulante que apresentou maior percentual de remoção de DQO no ensaio 1, nas dosagens de 0,25 mL, 0,75 mL, 1,0 mL, 1,5 mL e 0,5 mL do floculante FX AS6. |
| Ensaio 3 (Eficiência dos floculantes) | Utilizou-se 0,5 mL dos floculantes FX NS2, FX CS6, FX CS7, AN905 e o coagulante escolhido no ensaio 1, na dosagem escolhida no ensaio 2. |
| Ensaio 4 (Dosagem ótima de floculante) | Utilizou-se o floculante que apresentou maior percentual de remoção de DQO no ensaio 3, nas dosagens 0,25 mL, 1,0 mL, 2,0 mL, 5,0 mL, 10,0 mL e o coagulante escolhido no ensaio 1, na dosagem escolhida no ensaio 2. |

Os ensaios foram realizados em béqueres contendo 250 mL de efluente bruto, mantidos sob agitação de 120 rpm. Adicionou-se a dosagem indicada de coagulante e ajustou-se o pH do efluente com solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M, até pH 7,0. Foi adicionada a dosagem estabelecida de

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

floculante e reduziu-se a agitação do sistema para 80 rpm (30 segundos) e 30 rpm (5 minutos). Manteve-se o sistema em repouso por 15 minutos, para que os flocos formados fossem sedimentados. Ao final de cada ensaio, realizaram-se análises de cor, turbidez e DQO do efluente tratado.

Determinação da cor, turbidez e DQO

As determinações de cor e turbidez das amostras de efluente bruto e tratado foram efetuadas através de leituras diretas no medidor de cor e no turbidímetro, previamente calibrados.

A determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi efetuada em duplicata, com a preparação de um branco, um bruto e amostras contendo efluente tratado nos diferentes ensaios realizados. Em cada preparação foram utilizados 1,5 mL de solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,01667 M e 3,5 mL de solução de Ag_2SO_4 e H_2SO_4 0,000032 M. Adicionou-se 2,0 mL de água deionizada, 2,0 mL de efluente bruto e 2,0 mL de efluente tratado para a preparação do branco, bruto e amostra, respectivamente.

As amostras foram inseridas em um bloco digestor a 150°C, por 2 horas. Posteriormente, foi realizada a titulação com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (FAS) 0,10 M, utilizando o indicador ferroína. O cálculo da DQO ($mg O_2/L$) foi realizado de acordo com a Equação (1):

$$DQO (mg O_2/L) = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{mL \text{ de amostra}} \quad (1)$$

onde A e B são, respectivamente, os volumes (mL) de solução de FAS utilizados na titulação do branco e do bruto, M a molaridade da solução de FAS e 8000 corresponde ao miliequivalente da massa de oxigênio x 1000 mL/L.

Processo oxidativo avançado Fenton

Avaliaram-se diferentes razões molares de $[H_2O_2]:[DQO]$ na determinação dos volumes de H_2O_2 e das massas de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ a ser utilizadas durante o processo Fenton. O valor de DQO empregado nos cálculos foi o menor obtido após os quatro ensaios de coagulação/floculação. A Tabela 2 apresenta as razões molares e as quantidades de reagentes empregadas no processo.

Tabela 2 - Razões molares de $[H_2O_2]:[DQO]$ e reagentes utilizados no processo Fenton.

| Razão Molar | Volume de H_2O_2 (mL) | Concentração Molar de $[H_2O_2]$ (mol/L) | Massa de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (g) | Concentração Molar de $[Fe^{2+}]$ (mol/L) |
|-------------|-------------------------|--|-----------------------------------|---|
| 0,25 | 0,15 | 0,0025 | 0,0463 | 0,0002 |
| 0,50 | 0,28 | 0,0050 | 0,0927 | 0,0003 |
| 0,75 | 0,43 | 0,0075 | 0,1390 | 0,0005 |
| 1,00 | 0,57 | 0,0101 | 0,1853 | 0,0007 |
| 1,25 | 0,71 | 0,0126 | 0,2317 | 0,0008 |
| 1,50 | 0,85 | 0,0157 | 0,2781 | 0,0010 |

Realizaram-se ensaios com 500 mL de efluente tratado através dos processos de coagulação/floculação. Adicionou-se $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ e ajustou-se o pH do meio para 3,2 com solução de H_2SO_4 1M. Adicionou-se H_2O_2 50% e efetuou-se novo ajuste de pH até 3,0, mantendo-se o sistema sob agitação por 30 minutos. Ao final do processo, o pH do efluente foi ajustado para 6,0 e 7,0 com solução de $Ca(OH)_2$ 1M. Adicionou-se 0,5 mL do flocculante AN 905 e manteve-se a solução sob

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

agitação de 80 rpm (30 segundos), 30 rpm (5 minutos) e em repouso nos 15 minutos subsequentes. O efluente foi filtrado e realizaram-se testes de cor, turbidez e DQO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do efluente

A caracterização do efluente têxtil foi efetuada antes e após os tratamentos de coagulação/floculação e do tratamento oxidativo avançado Fenton. Inicialmente, observou-se que o efluente bruto apresentava coloração avermelhada, odor desagradável e presença de partículas suspensas (devido ao excesso de corantes). A Tabela 3 apresenta os resultados das análises para caracterização do efluente.

Tabela 3 - Caracterização do efluente bruto e tratado.

| Parâmetro | Efluente bruto | Efluente após processos de coagulação e floculação | Efluente após processo oxidativo avançado (Fenton) | |
|--------------|------------------------------|--|--|-----------------------------|
| pH | 10,3 | 6,9 | 6,0 | 7,0 |
| DQO | 2072,97 mg O ₂ /L | 322,06 mg O ₂ /L | 170,78 mg O ₂ /L | 151,80 mg O ₂ /L |
| Cor aparente | 422,28 mg/L | 269,22 mg/L | 22,19 mg/L | 26,73 mg/L |
| Turbidez | 606 NTU | 8,55 NTU | 0,80 NTU | 0,94 NTU |

Os resultados obtidos evidenciam a grande carga orgânica contida no efluente bruto, comprovada pelos valores elevados de DQO (2072,97 mg O₂/L), cor aparente (422,28 mg/L) e turbidez (606 NTU). O efluente bruto apresentava pH igual a 10,3, acima do previsto nas Resoluções CONAMA 430/11 e CONSEMA 355/17, que prevêem valores de pH entre 5,0 a 9,0 e 6,0 a 9,0, respectivamente.

Após o processo de coagulação/floculação, observou-se uma redução significativa nos valores de pH (6,9), DQO (322,06 mg O₂/L) e turbidez (8,55 NTU). Entretanto, a concentração de cor no efluente permaneceu alta, o que é um impeditivo para o despejo de efluentes na natureza, pois a cor do efluente não deve promover alterações na cor verdadeira do corpo hídrico receptor.

Uma alternativa para a remoção de cor de efluentes é a utilização de POAs, capazes de degradar moléculas orgânicas. A aplicação do processo Fenton mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros analisados: o efluente com pH 6,0 apresentou 22,19 mg/L de cor aparente, 0,80 NTU de turbidez e 170,78 mg O₂/L de DQO, enquanto que o efluente com pH 7,0 apresentou 26,73 mg/L de cor, 0,94 NTU de turbidez e 151,80 mg O₂/L de DQO.

3.2 Tratamento físico-químico (coagulação e floculação)

O ensaio 1 testou a eficiência de diferentes coagulantes e de um floculante específico na remoção de DQO, cor e turbidez. Os resultados são apresentados na Figura 1.

Realização



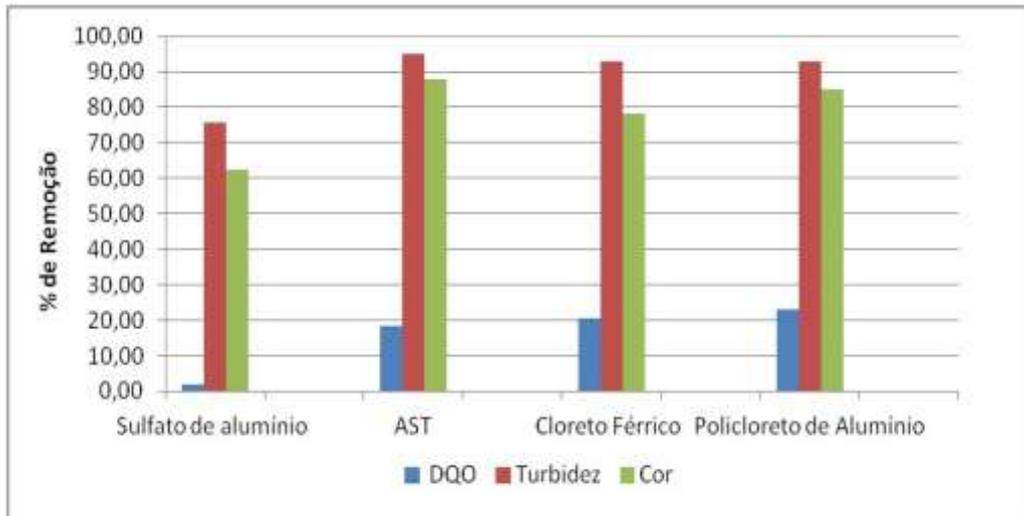
Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

Figura 1 - Percentual de remoção de DQO, cor e turbidez utilizando-se diferentes coagulantes.



Observa-se que os coagulantes AST, Cloreto férrico e Policloreto de alumínio apresentaram maiores percentuais de remoção da cor e turbidez, sendo o coagulante AST o mais eficiente (remoção de 88,02% da cor e 95,20% de turbidez). Com relação à DQO, a exceção do Sulfato de alumínio, todos os demais coagulantes apresentaram percentuais de remoção próximos, sendo o Policloreto de alumínio o mais eficiente (remoção de 23,15% de DQO).

Pelo fato da DQO ser um parâmetro que mede a concentração de matéria orgânica no efluente industrial, escolheu-se como coagulante mais eficiente aquele que promoveu a maior remoção desse parâmetro. Assim, o Policloreto de alumínio foi submetido ao ensaio 2, utilizando-se diferentes concentrações de coagulante e mantendo-se a concentração de floculante (FX AS6). A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 4 - Valores de DQO, cor, turbidez e percentuais de remoção após o ensaio 2 (com coagulante Policloreto de alumínio em diferentes dosagens).

| Dosagem coagulante (mL) | Concentração de Policloreto de alumínio (mg/L) | DQO (mg O ₂ /L) | % de Remoção DQO | Cor (mg/L) | % de Remoção Cor | Turbidez (NTU) | % de Remoção Turbidez |
|-------------------------|--|----------------------------|------------------|------------|------------------|----------------|-----------------------|
| 0,25 | 1,38 | 1803,54 | 20,00 | 390,16 | 7,61 | 49,2 | 91,88 |
| 0,75 | 4,14 | 1368,76 | 39,29 | 268,02 | 36,53 | 25,2 | 95,84 |
| 1,00 | 5,52 | 1288,25 | 42,86 | 251,58 | 40,42 | 13,8 | 97,72 |
| 1,50 | 8,28 | 1256,04 | 44,29 | 242,09 | 42,67 | 10,3 | 98,30 |

Na Tabela 4 verifica-se que o aumento da concentração do coagulante Policloreto de alumínio proporcionou a elevação dos percentuais de remoção de todos os parâmetros analisados. A concentração de coagulante considerada ótima foi 8,28 mg/L, removendo-se 44,29% de DQO, 42,67% de cor e 98,30% de turbidez. Para analisar a eficiência de diferentes floculantes nos processos de coagulação/floculação realizou-se o ensaio 3, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.



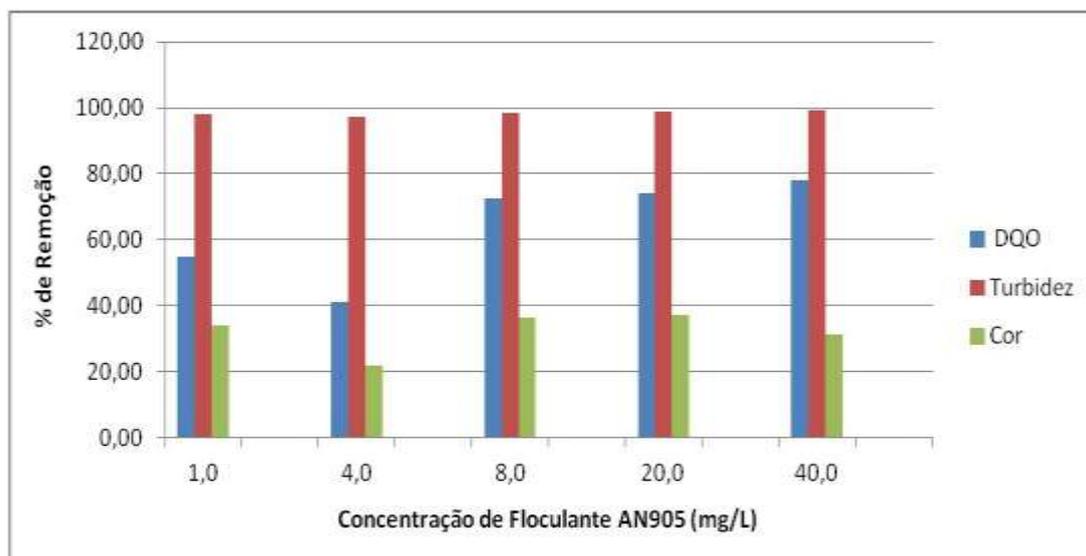
Tabela 5 - Valores de DQO, cor, turbidez e percentuais de remoção após o ensaio 3 (com diferentes flocculantes e com coagulante Policloreto de alumínio na concentração ótima).

| Floculante | DQO (mg O ₂ /L) | % de Remoção de DQO | Cor (mg/L) | % de Remoção de Cor | Turbidez (NTU) | % de Remoção de Turbidez |
|------------|----------------------------|---------------------|------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| FX NS2 | 1223,83 | 45,32 | 309,08 | 26,81 | 5,61 | 99,07 |
| FX CS7 | 1433,17 | 35,97 | 400,94 | 5,05 | 13,6 | 97,76 |
| FX CS6 | 1207,73 | 46,04 | 388,75 | 7,94 | 8,47 | 98,60 |
| AN 905 | 982,29 | 56,12 | 215,47 | 48,97 | 16,4 | 97,29 |

Neste ensaio a concentração dos flocculantes foi mantida constante (2,0 mg/L). Observa-se que os valores relativos à remoção de turbidez foram muitos semelhantes (superiores à 97%). Contudo, à exceção do ensaio que utilizou o flocculante AN 905, onde houve remoção de 48,97% da cor, todos os demais flocculantes apresentaram uma remoção muito reduzida desse parâmetro.

O flocculante AN 905 foi o mais eficiente na remoção da DQO, obtendo-se uma remoção de 56,12% ao final do ensaio (982,29 mg O₂/L). A partir da análise destes resultados, foi realizado o ensaio 4, onde foi determinada a concentração ótima de flocculante AN 905 (flocculante mais eficiente na remoção da DQO do efluente no ensaio anterior). A Figura 2 apresenta os resultados obtidos nesse ensaio.

Figura 2 - Percentual de remoção de DQO, cor e turbidez utilizando-se a dosagem ótima do coagulante Policloreto de alumínio e diferentes concentrações do flocculante AN 905.



Analisando-se a Figura 2, verifica-se que o aumento da concentração do flocculante AN 905 não proporcionou um aumento significativo de remoção da turbidez, variando entre 97,39% (utilizando 1,0 mg/L de AN 905) a 99,23% (empregando 40,0 mg/L deste flocculante). Quanto ao parâmetro DQO, foram observadas remoções consideráveis, obtidas com as concentrações de 8,0 mg/L (72,60%), 20,0 mg/L (73,97%) e 40,0 mg/L (78,08%) de flocculante AN 905.



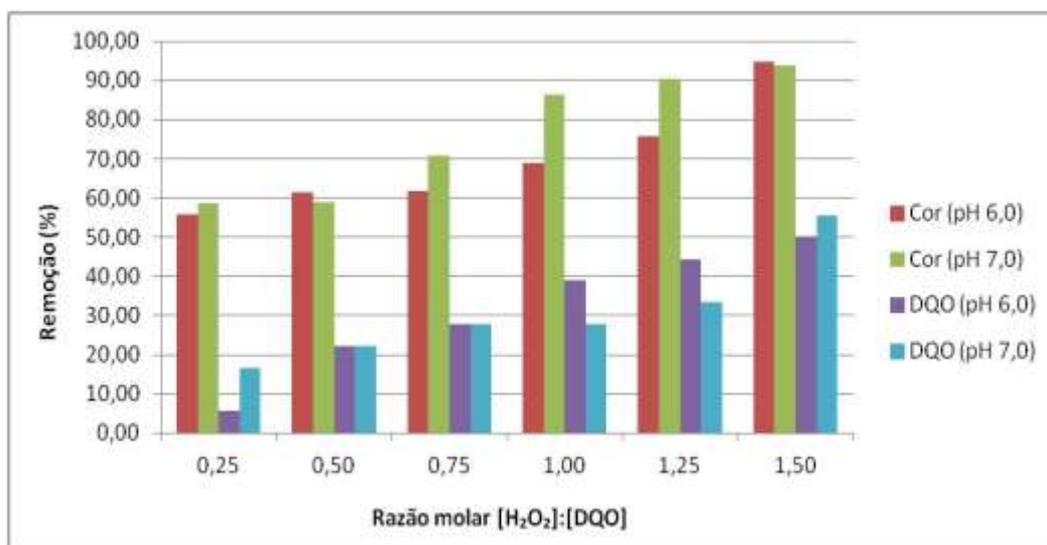
Apesar da maior remoção de DQO ter sido obtida com uma concentração de 40,0 mg/L de floculante (257,65 mg O₂/L), optou-se por utilizar no processo Fenton a concentração de 8,0 mg/L (322,06 mg O₂/L), que também apresentou uma remoção de DQO satisfatória. A escolha dessa concentração baseou-se no critério de menor custo para implementação em escala industrial, pois a diminuição do volume e concentração de floculante a ser empregado no tratamento do efluente torna o processo mais rentável à indústria.

No que se refere ao parâmetro cor, não foram obtidos percentuais de remoção satisfatórios, sendo as remoções mais relevantes as obtidas nas concentrações 8,0 mg/L (36,25%) e 20,0 mg/L (36,98%). As baixas remoções de cor se devem à grande concentração de corantes presentes na composição do efluente têxtil, que não foram totalmente degradados durante o processo físico-químico.

3.3 Tratamento oxidativo avançado via Fenton

Após o tratamento físico-químico (coagulação/floculação) o efluente ainda apresentava coloração rósea. Para verificar a eficiência dos POAs na remoção de cor e DQO, submeteu-se o efluente tratado ao processo Fenton, desenvolvido à temperatura ambiente e em pH 3,0. A Figura 3 apresenta os percentuais de remoção obtidos nos ensaios.

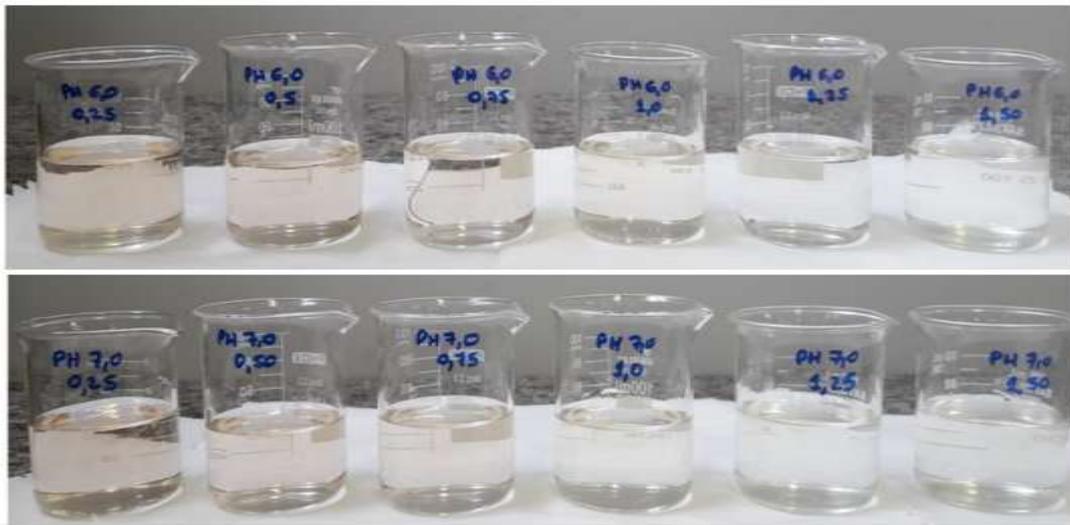
Figura 3 - Percentuais de remoção de DQO e cor do efluente tratado através do processo Fenton, com pH final 6,0 e 7,0.



Conforme pode ser observado na Figura 3, foram analisados percentuais de remoção de DQO e cor do efluente com pH final ajustado para 6,0 e 7,0. Nos dois casos verificou-se a redução dos parâmetros analisados: remoção de 94,75% e 93,67% da cor e de 50,00% e 55,56% de DQO no efluente com pH 6,0 e 7,0, respectivamente.

Com isso, o efluente com pH 6,0 apresentou concentrações de cor e DQO que variaram de 186,95 mg/L para 22,19 mg/L e de 322,58 mg O₂/L para 170,78 mg O₂/L, respectivamente. No caso do efluente com pH final 7,0 as variações foram de 284,63 mg O₂/L para 151,80 mg O₂/L (DQO) e 174,10 mg/L para 26,73 mg/L (cor). A Figura 4 apresenta o comparativo das amostras tratadas através do processo Fenton em diferentes razões molares de [H₂O₂]:[DQO].

Figura 4 - Comparativo das amostras tratadas através do processo Fenton, em diferentes razões molares de $[H_2O_2]:[DQO]$ e diferentes pH.



Na Figura 4 verifica-se visualmente o incremento na remoção de cor do efluente têxtil quando são aumentadas as concentrações molares de H_2O_2 e Fe^{2+} utilizados no processo. Isso ocorre pois o H_2O_2 é catalisado por íons Fe^{2+} , decompondo-se em meio ácido e formando, entre outros produtos, o radical hidroxila ($HO\cdot$), com grande poder oxidante. Por apresentar baixa seletividade, o radical hidroxila degrada a matéria orgânica presente no meio em um curto espaço de tempo, reduzindo os valores de DQO. Ocorre também a degradação de grupos cromóforos, responsáveis pela coloração do efluente, diminuindo a concentração de cor do meio.

Através dos resultados obtidos nas análises pode-se afirmar que as concentrações de H_2O_2 e de Fe^{2+} com as quais se obteve maior remoção de cor e redução do percentual de DQO deste efluente têxtil foram 0,0157 mol/L e 0,0010 mol/L, respectivamente. Ainda que não tenha sido possível remover a totalidade da cor do efluente, a concentração final desse parâmetro foi reduzida consideravelmente, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 - Efluente têxtil na forma bruta (à esquerda), após o tratamento físico-químico de coagulação/floculação (no centro) e após o processo Fenton (à direita).





11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

A análise das concentrações de cor e DQO obtidas após o tratamento oxidativo avançado mostrou que o efluente tratado se enquadra nos valores estabelecidos nas Resoluções CONAMA 357/05 e 430/11 e CONSEMA 355/17, indicando que o tratamento via processo Fenton foi eficaz na remoção de todos os parâmetros analisados.

4. CONCLUSÃO

A pesquisa desenvolvida mostrou que os processos físico-químicos de coagulação e floculação foram eficientes na remoção dos parâmetros DQO e turbidez do efluente têxtil, sendo obtidas remoções de 72,60% de DQO e 98,59% de turbidez com a utilização do coagulante Policloreto de alumínio e do floculante AN 905. A redução da concentração de cor através desses processos não foi satisfatória, possibilitando a remoção de somente 36,25% da cor do efluente, em razão da grande concentração de corantes contidos em sua composição.

Após o tratamento via processo Fenton, observou-se um aumento considerável na remoção de cor, sendo obtidas remoções de 94,75% para o efluente com pH 6,0 e 93,67% para o efluente com pH 7,0. Através do processo Fenton também foi possível diminuir os percentuais de DQO, com remoções de 50,00% (efluente com pH 6,0) e 55,56% (efluente com pH 7,0).

Assim, o modelo de tratamento proposto demonstrou ser apropriado para a redução dos parâmetros cor, turbidez e DQO do efluente têxtil, pois através dos processos de coagulação/floculação e do processo oxidativo avançado Fenton foi possível adequar o efluente têxtil aos limites previstos nas legislações nacional e estadual vigentes para lançamento de efluentes no meio aquático.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo benefício CAPES/PROSUC (taxas escolares) concedido.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L. F. **Estudo da oxidação do metabissulfito de sódio contido no efluente da carcinicultura**. Natal, 98 p., 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2012. 724 p.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. Natal, 179 p., 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BRASIL. **Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

BRASIL. **Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

CAVALCANTI, José Eduardo. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009. 453 p.

COSTA, A. F. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. Recife, 100 p., 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco.

EL-GOHARY, F. A.; BADAWY, M. I.; EL-KHATEEB, M. A.; EL-KALLINY, A. S. Integrated treatment of olive mill wastewater (OMW) by the combination of Fenton's reaction and anaerobic treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, n. 2, p. 1536-1541, 2009.

FEAM. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_textil.pdf>. Acesso em: 07 set. 2017.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: Edufscar, 2014. 599 p.

MAGALHÃES, F. **Síntese e caracterização de óxidos de ferro e compósitos para aplicações no tratamento redox de efluentes aquosos**. Belo Horizonte, 215 p., 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais.

MARTINS, J. E. M. **Avaliação hidrodinâmica de um reator UASB tratando esgotos sanitários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Campo Mourão. 100 p., 2012. Monografia (Bacharelado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Porto Alegre: Amgh, 2016. 1980 p.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Aracajú: J. Andrade, 2004. 298 p.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. São Carlos, 233 p., 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Consema nº 355, de 13 de julho de 2017**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/resolucoes>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

SANTOS, E. M. A.; NASCIMENTO, A. T. P.; PAULINO, T. R. S.; BARROSO, B. C. S.; AGUIAR, C. R. Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017.

SILVA, E. C. **Remoção de azo-corantes de efluente aquoso modelo por adsorção em carvão ativado**. Recife, 153 p., 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.

TEDDER, D. William; POHLAND, Frederick. **Emerging Technologies in Hazardous Waste Management III**. Washington DC: American Chemical Society, 1993. 466 p.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375