

DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTIL COMPOSTO (ÍNDIGO + SULFUROSO) UTILIZANDO PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Antônio Hermeson de Sousa CASTRO (1); Ivan Barros de OLIVEIRA JÚNIOR (2); Bruno César B. SALGADO (3); Mabel Calina de França Paz (4); Rinaldo dos Santos ARAÚJO (5)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: hermeson_20@yahoo.com.br

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: ivanbojr1@yahoo.com.br

(3) Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (PGTGA/CEFETCE), e-mail: brunocefetce@yahoo.com.br

(4) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: mabel@cefetce.br

(5) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, 60411-220, Fortaleza-CE Brasil. Fone: (85) 33073611, Fax: (85) 33073711, e-mail: rinaldo@cefetce.br.

RESUMO

Este trabalho objetiva avaliar a remoção de cor de um efluente têxtil composto contendo uma mistura de corantes (índigo e sulfuroso) utilizando processos oxidativos avançados (POAs). Experimentalmente, a degradação via reação Fenton foi processada numa faixa de concentração de catalisador (Fe^{2+}) entre 0,1 e 1 mM e teor de oxidante (H_2O_2) de 10 a 20 mM. Nos processos fotoassistidos dois mecanismos foram aplicados: no primeiro, fotolítico, usou-se somente a radiação ultravioleta (UV) proveniente de uma lâmpada de vapor de mercúrio, e no segundo, fotoquímico ($\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$), combinou-se as atividades oxidantes do H_2O_2 (10 a 20 mM) e da luz (640 W/m^2). Os resultados obtidos mostraram que o tratamento primário (acidificação seguida de sedimentação após 24 horas) descoloriu cerca de 98% do efluente inicial. As quantidades residuais de cor quando submetidas à oxidação apresentaram reduções de 75,6%, via reação Fenton. O sistema oxidativo com $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ removeu cerca de 58,5% da cor remanescente empregando-se a menor concentração do agente oxidante, já para o processo de fotólise direta a descoloração foi de 63% em condições de máxima radiação. Em todos os casos, os processos empregados não apresentaram eficiência significativa na degradação de matéria orgânica, o que se atribui a uma produção quantitativa de co-produtos.

Palavras-chave: descoloração, efluente têxtil, Processos Oxidativos Avançados.

INTRODUÇÃO

A poluição do meio ambiente por efluentes industriais tem se tornado um problema gradativamente preocupante nas últimas décadas. Os resíduos produzidos, em geral, de composição diversificada, freqüentemente contêm poluentes que são tóxicos e resistentes aos tratamentos convencionais, como por exemplo, coagulação/floculação, adsorção com carvão ativado e membranas, biodegradação (MURUGANANDHAM e SWAMINATHAN, 2004, AL-MOMANI et al., 2002).

A indústria têxtil utiliza uma demanda elevada de água em seus processos, gerando consequentemente uma grande quantidade de águas residuárias, as quais contêm altas cargas de matéria orgânica, provenientes principalmente de moléculas complexas corantes (NEAMTU et al., 2002). As substâncias corantes contribuem significativamente na poluição de ecossistemas hídricos devido à dificuldade imposta de penetração dos raios solares prejudicando o metabolismo fotossintético, além de serem substâncias recalcitrantes e potencialmente cancerígenas (JIRARATANANON et al., 2000). Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias eficientes e baratas de tratamento constitui uma necessidade, e consideráveis esforços de pesquisa estão sendo dedicados nesse campo (ZAZO et al., 2006).

Entre as várias maneiras de purificação da água, os Processos de Oxidação Avançada (POA's) se destacam por poderem efetivamente ser usados na eliminação de componentes tóxicos, uma vez que destroem as moléculas orgânicas poluentes, ao invés de simplesmente removê-las para outra fase (LIU et al, 2007, PANIZZA e CERISOLA, 2001).

O termo POA é usado para descrever o mecanismo de oxidação que consiste na produção de muitas espécies ativas como radicais hidroxilos (POULOPOULOS et al., 2006, KUSIC et al., 2007). O peróxido de hidrogênio é a fonte mais comum desses radicais por sua decomposição catalítica, na presença de íons metálicos ou semicondutores, ou depois de ser irradiado com luz (UV). Os radicais OH^\bullet são extremamente reativos e fortes agentes oxidantes capazes de mineralizar contaminantes orgânicos por reações sucessivas de oxidação (GOGATE e PANDIT, 2004).

Entre os diferentes processos oxidativos avançados podemos citar os que envolvem a reação Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}), o processo de fotólise direta e o sistema oxidativo UV/ H_2O_2 , os quais, em geral, são de menores custos, de mais fácil aplicação e com boa eficiência em condições mais brandas de reação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma grande porcentagem de toda a água utilizada pela indústria têxtil e a maior parte da carga poluidora presente nas mesmas após o final de todo o processo produtivo deriva de contaminantes que vem da matéria-prima têxtil, das espécies corantes e dos produtos adicionados no processo de fiação e tingimento dos tecidos.

A grande dificuldade em se tratar as águas residuárias têxteis provém do fato destas possuírem grandes quantidades de compostos orgânicos de baixa biodegradabilidade, em geral, na forma de compostos orgânicos de estrutura complexa: corantes, surfactantes e aditivos (SCHRANK, 2000).

Quando presentes em altas concentrações, os corantes podem impedir a penetração da luz, prejudicando ou inibindo os processos biológicos. Além dos corantes; auxiliares químicos, tais como sais e surfactantes contribuem para a toxicidade aquática (JIRARATANANON et al., 2000) levando a degeneração do meio.

A característica fundamental do efluente têxtil é a presença de altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes, sólidos suspensos e matéria orgânica, principalmente na forma de moléculas corantes complexas (ROTT e MINKE, 1999).

A degradação de compostos recalcitrantes é difícil de ser realizada através de processos biológicos; sendo assim, nas últimas décadas muito estudado o uso de Processos de Oxidação Avançada (POAs) para tratamento desses compostos presentes em águas, solos e efluentes industriais (RODRIGUEZ et al., 2002; OTURAN et al., 2001). Assim, os POAs apresentam-se como tecnologias promissoras no que diz respeito à solução dos problemas de efluentes industriais com alto teor de matéria orgânica (FORGACS, NANSHEG, HELIN, 2004).

Na presença dos radicais livres altamente oxidantes de radical hidroxil, OH^\bullet , podem ser obtidas taxas de reação de 1 milhão a 1 bilhão de vezes mais rápidas do que as encontradas com os oxidantes químicos mais comuns (DEZOTTI, 1998).

A geração de radicais hidroxilos na presença de um substrato orgânico pode ocorrer por três vias distintas: 1- abstração de hidrogênio; 2- adição eletrofílica e 3- transferência de elétron (DANESHVAR et al., 2006). A degradação de compostos poluentes por meio do caminho (1) ocorre geralmente com hidrocarbonetos alifáticos. O mecanismo de adição eletrofílica, por sua vez, se faz presente na maior parte dos casos em hidrocarbonetos insaturados ou aromáticos. O radical OH^\bullet se adiciona à dupla ligação formando um radical intermediário orgânico. Finalmente, o mecanismo de transferência de elétrons, se dá quando a adição eletrofílica e abstração de hidrogênio são desfavorecidas, como no caso de hidrocarbonetos clorados.

2.1. Fotólise Direta (Processo Fotolítico)

Nos anos 70, a oxidação com radiação UV foi utilizada com sucesso para tratar águas subterrâneas contaminadas com complexos clorados. Esse sucesso tecnológico impulsionou várias empresas a entrarem no mercado, particularmente, no tratamento de águas contaminadas com cianeto provenientes da indústria galvânica. No entanto, muitos problemas surgiram em função da inexperience em relação à tecnologia do reator, principalmente, deposição nas lâmpadas, reações incompletas e corrosão nos sistemas.

A fotólise pode promover reações de oxidação/redução se a energia eletromagnética fornecida for equivalente à energia necessária para promover os elétrons do estado fundamental para o estado excitado. As reações fotolíticas podem ser induzidas diretamente se os compostos absorventes forem as espécies a serem degradadas ou indiretamente se os compostos absorventes estiverem disponíveis para transferir a energia de um fóton para as espécies a serem remediadas (YOUNG e JORDAN, 1995). A transmissividade ótica da maioria dos efluentes é baixa, principalmente se sólidos estiverem presentes. Outro problema está associado com a tecnologia das lâmpadas. Lâmpadas de alta eficiência que fornecem fótons de alta energia e taxas rápidas ainda não estão disponíveis. Em termos, a oxidação de compostos poluentes ocorre somente na presença da luz UV (via fotolítica ou fotólise direta), decompondo as moléculas orgânicas pela quebra de ligações e produzindo uma variedade de radicais livres. É típico deste processo que a cinética reacional se desenvolva em taxas mais lentas de degradação.

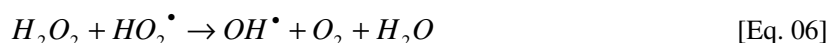
2.2. Sistema Oxidativo H_2O_2 /UV (Processo Fotoquímico)

Neste sistema oxidante o peróxido de hidrogênio pode reagir diretamente com compostos orgânicos ou então se decompor formando dois radicais hidroxil OH^\bullet conforme as Equações 01 e 02:



Onde: R^* é o composto orgânico oxidado.

Particularmente, a combinação de luz UV com um agente oxidante é sempre mais eficiente do que os processos que se utiliza apenas a radiação UV ou o oxidante sozinho. A combinação de H_2O_2 com radiação UV é um dos métodos mais simples de se produzir radicais hidroxilos. As principais reações de dissociação de peróxido de hidrogênio que ocorrem na presença de radiação UV são representadas a seguir, nas Equações 03 a 07 (ANDREOZZI et al., 2003):

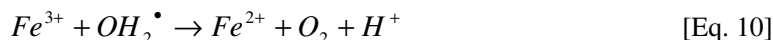
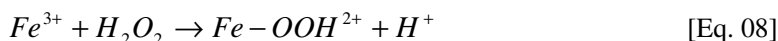


Vários pesquisadores relatam a direta proporcionalidade entre a eficiência do processo e a concentração de H_2O_2 no meio (GOI e TRAPIDO, 2002, BENITEZ et al, 2002).

2.3. Reagente Fenton

Na oxidação da matéria orgânica por meio da reação Fenton, radicais hidroxilos são gerados a partir da decomposição de H_2O_2 catalisada por íons ferrosos (Fe^{2+}).

Os íons ferrosos podem ser regenerados pela reação entre os íons férricos (Fe^{3+}) e o H_2O_2 , o que dá suporte a reação Fenton prosseguir continuamente (PÉREZ et al., 2002a) (Equações 08 a 10):



Devido ao caráter coagulante do íon ferro, o processo Fenton pode ter função dupla de oxidação e de coagulação. O processo de oxidação avançada Fenton é composto de quatro etapas: ajuste de pH, reação de oxidação, neutralização e precipitação. Assim, compostos orgânicos são removidos em dois estágios: oxidação e coagulação (KANG e HWANG, 2000).

No caso do reagente Fenton, a oxidação pode não levar à completa mineralização dos poluentes, porque a matéria orgânica pode ser inicialmente transformada em alguns intermediários que são resistentes às reações posteriores de oxidação. Isto ocorre devido à complexação dos intermediários com os íons Fe^{3+} e às diversas combinações que podem ocorrer durante a competição por radicais hidroxilos (CRUZ, 2000).

O processo de oxidação Fenton tem sido aplicado com sucesso ao tratamento de efluente têxtil (KANG e HWANG, 2000; PÉREZ et al., 2002a; KANG et al., 2002), efluente de papel e celulose (PÉREZ et al., 2002b) e contaminantes em solução aquosas (MALETZKY e BAUER, 1998; OTURAN et al. 2001).

O aspecto principal do processo Fenton é creditado às concentrações dos reagentes, ou mais especificamente as relações entre $[Fe^{2+}]$, $[Fe^{3+}]$ e $[H_2O_2]$ e às características da reação (pH, temperatura e quantidade de constituintes orgânicos e inorgânicos). A combinação destes parâmetros determina a eficiência da reação global, sendo importante compreender a relação mútua entre eles em termos da produção e consumo de radicais hidroxilos.

O processo Fenton tem sua eficiência dependente do pH e vários autores têm observado que este fator é bastante importante no tratamento (BARBENI et al., 1987; SEDLAK e ANDREN, 1991; LIN e PENG, 1995). Hickwey et al. (1995) mostraram que um pH ácido em torno de 3 (três) é usualmente o mais indicado para a oxidação Fenton.

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Coleta do efluente industrial e tratamento primário (coagulação férrica)

O efluente proveniente de uma indústria têxtil de grande porte situada na região metropolitana de Fortaleza-Ce (pH = 12 no ponto de coleta, DQO bruta de 2320 mg/Kg e cor = 0,585, após diluição de 10 vezes) foi acidificado a um pH ácido (± 3) com H_2SO_4 6 N para fins de conservação durante o transporte. Inicialmente realizou-se um tratamento físico por meio de coagulação férrica a fim de se remover todo o material em suspensão que havia no efluente, adicionando-se isoladamente duas concentrações diferentes de ferro: 0,1 e 1,0 mM. Posteriormente adicionou-se 50 mL de uma solução alcalina composta por NaOH 0,1 M, KI 0,1 M e Na_2SO_3 0,1 M (coagulação férrica a pH =10). Após 2 horas em repouso a fração sobrenadante foi então coletada e submetida à centrifugação por 10 minutos a 3000 rpm para avaliação da cor residual.

3.2. Processos Oxidativos Avançados

3.2.1. Reação Fenton

Todos os experimentos para degradação do efluente foram conduzidos à temperatura ambiente (27°C). No processo oxidativo do tipo Fenton utilizou-se erlenmeyers de 125 mL. O volume reacional foi de 100 mL, e foi mantido sob agitação magnética constante durante o curso da reação. O pH foi ajustado para $3 \pm 0,5$ com uma solução de ácido sulfúrico 6 N. Sequencialmente, adicionou-se a solução catalisadora de Fe^{2+} e em

seguida os meios ferrosos (concentrações de 0,1 e 1 mM), posteriormente adicionou-se a solução oxidante de H_2O_2 em duas concentrações distintas (10 e 20 mM). Alíquotas foram coletadas em tempos pré-estabelecidos, e adicionou-se uma solução alcalina inibidora de para neutralização do meio e precipitação do ferro oxidado (Fe^{3+}). Finalmente, as amostras foram filtradas em membranas de 0,45 μm e então analisadas segundo sua cor real em espectrofotômetro de absorção molecular (Thermo Corp.) usando comprimento de onda de 350 nm.

3.2.2. Processos Foto-oxidativos

3.2.2.1. Fotólise Direta

No processo fotolítico os experimentos de descoloração do efluente aquoso composto foram executados em um reator cilíndrico horizontal de PVC com um volume reacional de 70 mL, o qual possui uma lâmpada de vapor de mercúrio (8W, λ entre 200 e 280 nm) acoplada de uma extremidade a outra do seu comprimento gerando uma intensidade luminosa de aproximadamente 0,064 W/cm². A fonte de luz UV permanece durante todo o tempo reacional imersa na solução aquosa a ser degradada.

A descoloração do efluente foi executada somente com o emprego da luz UV, havendo coletas de alíquotas em tempos pré-determinados. As amostras foram previamente filtradas para posterior análise de cor.

3.2.2.2. H_2O_2 /UV (Processo Fotoquímico)

O processo fotoquímico para descoloração/degradação do efluente em estudo foi realizado no mesmo reator do processo fotolítico, com adição do agente oxidante peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em duas concentrações, 10 e 20 mM, a fim de se avaliar a eficiência de remoção de cor do efluente na presença do agente químico no meio sob constante irradiação. A retirada das alíquotas e as análises subseqüentes foram executadas segundo os mesmos procedimentos usados nos processos anteriores.

3.3. Modelagem Cinética da Descoloração

Os parâmetros cinéticos de descoloração do efluente foram obtidos a partir do modelo não-linear de pseudo-primeira ordem descrito por Chan e Chu (2003), conforme a equação (11).

$$\frac{a_1}{a_0} = 1 - \frac{t}{\rho + \sigma t} \quad [\text{Eq.11}]$$

Onde: a_1 corresponde a absorbância da solução remanescente na análise de cor, a_0 é a cor real inicial, $1/\sigma$ (adimensional) é uma constante relacionada à capacidade oxidativa do sistema e $1/\rho$ é a constante cinética de oxidação (min⁻¹).

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Inicialmente, observou-se que os valores de descoloração por coagulação férrica foram particularmente semelhantes e correspondentes a remoções de 74,4% para o menor nível de ferro (0,1M) e de 75,6% quando se empregou a maior concentração do coagulante (1,0 M). Com base nestes resultados adotou-se a coagulação primária com as menores quantidades de ferro como etapa preliminar a todos os processos oxidativos estudados.

A Figura 1 mostra os resultados de acompanhamento cinético de descoloração do efluente têxtil composto via reação Fenton.

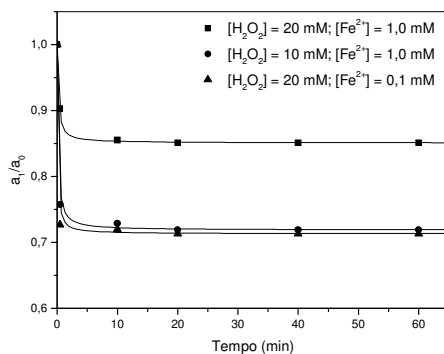


Figura 1 – Cinética de descoloração do efluente têxtil composto (índigo + sulfuroso) via processo Fenton a 27°C.

A partir da Figura 1 claramente observa-se uma forte dependência da taxa de descoloração em relação às dosagens de Fe^{2+} e H_2O_2 , particularmente, os níveis mais altos de cada componente determina uma série de inter e múltiplas reações entre os mesmos que acabam por produzir uma redução da eficiência da remoção de cor no meio. Os dados cinéticos de descoloração obtidos a partir da modelagem não-linear de pseudo-primeira ordem estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros cinéticos de descoloração (modelo não-linear) para o efluente têxtil composto segundo o mecanismo Fenton de descoloração a 27°C.

Condições Fenton: [H_2O_2]; [Fe^{2+}] (mM)	$1/\rho$ (min^{-1})	$1/\sigma$
10 mM (H_2O_2); 1 mM (Fe^{2+})	2,05	0,28
20 mM (H_2O_2); 0,1 mM (Fe^{2+})	3,51	0,29
20 mM (H_2O_2); 1 mM (Fe^{2+})	0,84	0,15

A Tabela 1 confirma o comportamento catalítico apresentado na cinética de oxidação, observando-se apenas uma eficiência de descoloração aproximada de 28% para as condições com maior dosagem de oxidante e menor nível de catalisador homogêneo ferroso (linha 2). Notadamente as constantes experimentais de cinética ($1/\rho$) e reatividade oxidativa ($1/\sigma$) são muito desfavoráveis quando se usam as concentrações máximas dos agentes de conversão. No geral, os resultados acima mostram a elevada atividade recalcitrante do efluente, demonstrada principalmente pela pouca aplicabilidade do processo Fenton na remoção da cor residual, entretanto quando consideramos os processos combinados de coagulação e oxidação Fenton as descolorações atingidas são próximas a 82%, o que já pode ser considerado um resultado bastante satisfatório.

A Figura 2 apresenta a cinética de degradação para os processos foto-assistidos (fotoquímico e fotolítico).

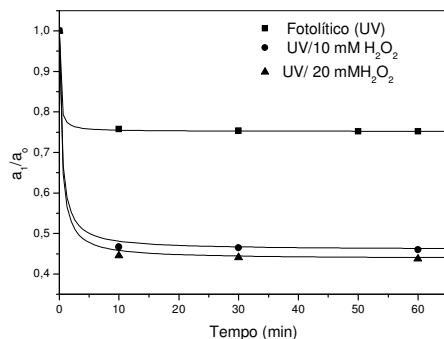


Figura 2 – Cinética de descoloração do efluente têxtil composto via processos fotoassistidos a 27°C.

A figura 2 mostra taxas de remoção da cor residual muito próximas e correspondentes a descolorações médias de 55 a 58%. Esses resultados combinados àqueles alcançados na remoção da cor original (média de 75%) contabilizam remoções globais de cor da ordem de 90 a 92%, valores significativamente promissores como alternativa tecnológica de tratamento do efluente industrial em estudo. Os resultados de descoloração por fotólise direta são pouco atraentes e quanto à descoloração total são muito próximo daqueles encontrados para o tratamento Fenton (próximos a 80%).

A Tabela 2 mostra os dados cinéticos de descoloração segundo o modelo não-linear de pseudo-primeira ordem de Chan e Chu para os processos fotoassistidos.

Tabela 2 – Parâmetros cinéticos de descoloração (modelo não-linear) para o efluente têxtil composto segundo os processos fotoassistidos a 27°C.

Processo/Condições	$1/\rho \text{ (min}^{-1}\text{)}$	$1/\sigma$
Fotoquímico/10 mM (H ₂ O ₂) + UV	1,32	0,54
Fotoquímico/20 mM (H ₂ O ₂) + UV	1,45	0,56
Fotolítico/ UV	1,99	0,25

A análise da Tabela 2 permite observar a maior eficiência descolorativa (grau de conversão) dos processos fotoquímicos frente ao mecanismo unicamente fotolítico. Uma análise mais acurada mostra que o processo de fotólise direta apresenta cinética mais rápida, porém associada provavelmente a formação representativa de co-produto coloridos, o que não é interessante ou conveniente quanto às possibilidades de tratamento ou re-uso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, os tratamentos combinados de coagulação com sal de ferro + processos avançados Fenton e fotoassistidos (UV ou UV/H₂O₂) se mostraram eficientes na descoloração do efluente têxtil industrial composto, o que se traduziu em taxas globais de remoção de cor entre 80 e 92%. Apesar dos resultados positivos quanto à remoção de cor muita atenção deve ser dada aos níveis residuais elevados de matéria orgânica, em princípio, associada à formação de co-produtos orgânicos.

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento das bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-MOMANI, F.; TOURAUD, E.; DEGOURCE-DUMAS, J. R.; ROUSSY, J.; THOMAS, O. Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by UV photolysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 153, p. 191– 197, 2002.

ANDREOZZI, R.; CAPRIO, V; MAROTTA, R.A.; VOGNA, D. Paracetamol oxidation from aqueous solutions by means of ozonation and H₂O₂/Uv system. *Water Research*, 37, 993 -1004, 2003.

BARBENI, M.; MINERO, C; PELLIZZETI, L. Chemical degradation of clorophenols with fenton's reagent. *Chemosphere*, 16, 2225-2232, 1987.

BENETIZ, F.J.; ACERO, J.L; REAL, F.J. Degradation of Carbofuran by using ozone, UV radiation and advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials B*, 89, p. 51-65, 2002.

CHAN, K. H., CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. *Chemosphere*, 51, 305-311, 2003.

CRUZ, R.M. **Reativo de Fenton e Foto-Fenton em Efluente de Alta Salinidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Coppe, UFRJ, 2000.

DANESHVAR, N; BEHNAJADY, M. A.; ASGHAR ZORRIYEH, Y. Photooxidative Degradation of 4-Nitrophenol (4-Np) in Uv/H₂O₂ Process: Influence of Operational Parameters and Reaction Mechanism. *Journal of Hazardous Materials B*, 139, 275-279, 2007.

DEZOTTI, M. Apostila do curso da escola piloto: técnicas de controle ambiental em efluentes líquidos – Processos Oxidativos Avançados. Escola Piloto Virtual, PEQ, COPPE, UFRJ, 2003.

FORGACS, E., NANSHENG, D., HELIN, H. Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review. *Environment International*, 30, 953-971, 2004.

GOGATE, R., PANDIT, B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: Oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 8, 501-551, 2004.

GOI, A.; TRAPIDO, M. Hydrogen peroxide photolysis, Fenton reagent ah photo-Fenton for degradation of nitrophenols: A comparative study. *Chemosphere*, 46, 913-922, 2002.

HICKWEY, W.J.; ARNOLD, S.M.; HARRIS, R.F. Degradation of atrazine by Fenton's reagent: Condition optimisation and product quantification. *Environmental Science Technology*, 29, 8, 2083-2089, 1995.

JIRARATANANON, R.; SUNGPET, A.; LUANGSOWAN, P. Performance evaluation of nanofiltration membranes for treatment of effluents containing reactive dye and salt. *Desalination*, 130, 177-183, 2000.

KANG, Y.W.; HWANG, K.Y. Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water Research*, 34, 2786-2790, 2000.

KANG, S.F.; LIAO, C.H; CHEN M.C. Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process. *Chemosphere*, 46, 923-928, 2002.

KUSIC, H., KOPRIVANAC, N., SRSAN, L. Azo dye degradation using Fenton type processes assisted by UV irradiation: A kinetic study. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 181, 195–202, 2006.

LIN, S.H.; PENG, C.F. Treatment of textile wastewater by Fenton's reagent. *Journal of Environmental Science Health, A*:30, p. 89-101, 1995.

LIU, R. et al. Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes. *Dyes and Pigments*, 73, 1-6, 2007.

MALETZKY, P.; BAUER, R. The Photo-Fenton method - degradation of nitrogen containing organic compounds. *Chemosphere*, 37, 5, 899-909, 1998.

MURUGANANDHAM, M.; SWAMINATHAN M. Decolorisation of reactive orange 4 by Fenton and photo-Fenton oxidation technology, *Dyes and Pigments*, 63, 315–321, 2004.

NEAMTU, M.; SIMINICEANU, I.; YEDILER, A.; KETTRUP, A. Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation. *Dyes and Pigments*, 53, 93-99, 2002.

NOGUEIRA, R. F. P.; VILLA, R. D.; SILVA, M. R. A. Potencial do processo foto-Fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios. *Química Nova*, 30, 8, 1799-1803, 2007.

PANIZZA, M.; CERISOLA, G. Removal of organic pollutants from industrial wastewater by electrogenerated Fenton's reagents. *Water Research*, v. 35, n. 16, p. 3987-3992, 2001.

OTURAN, M.A.; OTURAN, N.; LAHITTE C.; TREVIN, S. Production of hydroxyl radicals by electrochemically assisted Fenton's reagent: Application to the mineralization of an organic micropollutant, pentachlorophenol. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 507, n.1-2, p. 96-102, 2001.

PÉREZ, M.; TORRADES, F.; DOMÉNECH, X.; PERAL, J. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. *Water Reserach*, 36, 2703-2710, 2002a.

PÉREZ, M.; TORRADES, F.; HORTAL, J.A.G.; DOMÈNECH, X.; PERAL, J. Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under Fenton and photo-Fenton conditions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 36, 63-74, 2002b.

POULOPOULOS, S. G., ARVANITAKIS, F., PHILIPPOPOULOS, C. J. Photochemical treatment of phenol aqueous solutions using ultraviolet radiation and hydrogen peroxide. *Journal of Hazardous Materials B*, 129, 64-68, 2006.

RODRIGUEZ, M.; ESPLUGAS, S.; CONTRERAS, S.; PASCUAL, E. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Research*, 36, 1034-1042, 2002.

ROTT, U., MINKE, R. Overview of wastewater treatment and recycling in the textile processing industry. *Water Science Technology*. 40, 1, 137-144, 1999.

SCHRANK, S. G. **Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias da Indústria Têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2000.

SEDLAK, D. L.; ANDREN, A.W. Oxidation of chlorobenzenes with Fenton's reagent. *Environmental Science*, 25, 777-783, 1991.

YOUNG, C. A.; JORDAN, T. S. Cyanide remediation: Current and past technologies. 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research, 1995.

ZAZO, J. A., et al. Catalytic wet peroxide oxidation of phenol with a Fe/active carbon catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 65, 261-268, 2006.