

Investigação do uso do processo integrado Fenton - Coagulação no tratamento terciário de efluente frigorífico

Fernanda Salbego Colombari de Almeida¹, Claudinei de Almeida², Daiane Cristina Lenhard¹, Aziza Kamal Genena¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Medianeira, PR - Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos. CEP 85884-000

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, PR

fernanda_colombari@yahoo.com.br, ea.claudinei@gmail.com, daianelenhard@utfpr.edu.br, azizakg@utfpr.edu.br

Resumo: Os Processos de Oxidação Avançada (POAs), como o Fenton, têm se apresentado como métodos eficientes e promissores na degradação e remoção de compostos orgânicos resistentes aos tratamentos convencionais, podendo ser utilizado para o polimento do efluente tratado biologicamente. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos dos parâmetros operacionais do processo integrado Fenton - Coagulação no tratamento terciário de um efluente frigorífico. Com base em estudos na literatura, as variáveis investigadas foram: pH_{REAÇÃO}, razão [H₂O₂]/[DQO], razão [Fe²⁺]/[H₂O₂] e pH_{COAGULAÇÃO}. Os ensaios foram conduzidos em triplicata de acordo com o planejamento fatorial fracionário 2⁴⁻¹ com três repetições no ponto central, totalizando em 11 ensaios. A eficiência do processo proposto foi determinada em cada ensaio experimental em função da eficiência de remoção da demanda química de oxigênio (DQO). A máxima remoção de DQO, 65,81%, ocorreu nas condições de pH_{REAÇÃO} 4,0, razão [H₂O₂]/[DQO] 1,5, razão [Fe²⁺]/[H₂O₂] 0,5 e pH_{COAGULAÇÃO} 6,0. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência do processo integrado Fenton - Coagulação no tratamento terciário de efluentes agroindustriais.

Palavras-chave: efluente agroindustrial, processo de oxidação avançada, degradação.

Investigation of the use of integrated Fenton-Coagulation process in tertiary treatment of wastewater slaughterhouse

Abstract: The advanced oxidation processes (AOP) such as Fenton, have been seen as effective and promising methods in degradation and removal of persistent organic compounds removal of organic compounds resistant to conventional treatments and can be used for polishing the biologically treated wastewater. This work had as its objective to determine the operation conditions for the Fenton-Coagulation integrated process in tertiary treatment of wastewater slaughterhouse. Based on studies in the literature, investigated parameters were: pH_{REACTION}, [H₂O₂]/[DQO] ratio, [Fe²⁺]/[H₂O₂] ratio and pH_{COAGULATION}. The experiments were conducted in triplicate according to the fractional factorial design 2⁴⁻¹, with three replicates at the center point, totaling 11 experiments. Chemical oxygen demand (COD) removal was the parameter used to evaluate efficiency in each assay. The maximum COD removal, 65.81%, occurred at the following conditions: reaction pH: 4.0; ratio [H₂O₂]/[DQO]: 1.5; ratio [Fe²⁺]/[H₂O₂]: 0.5 and coagulation pH: 6.0. These results have proven the efficiency of the Fenton in the tertiary treatment of agro-industrial wastewater.

Keywords: degradation, advanced oxidation processes, agro-industrial wastewater.

Introdução

A busca por um melhor cenário econômico tem colaborado com aumento da poluição ambiental, causada principalmente pelo descarte e tratamento incorreto dos resíduos industriais, sobretudo os efluentes agroindustriais, que apresentam uma matriz complexa, pela presença de compostos resistentes aos tratamentos convencionais utilizados (tratamentos biológicos), frequentemente detectados, conforme estudos realizados por Pala e Erden (2005); Elmolla e Chaudhuri (2009); Lucas e Peres (2009); Zorpas e Costas (2010) e Mandal et al., (2010).

Dentre os contaminantes gerados pelos resíduos agroindustriais, destacam-se nesta cadeia os frigoríficos, pelo volume de água consumida e efluente gerado. Este efluente apresenta como característica: alta carga orgânica e inorgânica, alto conteúdo de sólidos suspensos, de cor escura e odor desagradável (COUILLARD et al., 1989). Esta composição é influenciada pelos diferentes processos que podem variar de indústria para indústria (RIGO e ELISANDRA, 2004). Considerando ainda, a presença compostos químicos, originados pelo uso de fármacos administrados nos animais, produtos de higiene pessoal utilizados pelos colaboradores das indústrias e dos inseticidas e pesticidas usados no controle de pragas, (AQUINO et al., 2013).

Muitas das substâncias presentes no efluente frigorífico, não são completamente removidas nas estações de tratamento de efluentes (ETEs) (BILA e DEZOTTI, 2003), pelos sistemas convencionais, como a coagulação/floculação, adsorção com carvão ativado, precipitação, degradação biológica, dentre outros (SALGADO et al., 2009). A grande importância no monitoramento desses compostos está no fato de muitas dessas substâncias serem tóxicas/bioacumulativas (BEATI et al., 2009), o que gera um impacto negativo nos organismos aquáticos e terrestres (KEMPER, 2008; REGITANO e LEAL, 2010).

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido utilizados como alternativa para o tratamento de compostos orgânicos resistentes aos tratamentos convencionais, podendo ser utilizado para o polimento do efluente tratado biologicamente, por meio da sua aplicação como tratamento terciário (COLOMBARI - ALMEIDA et al., 2015).

Os POAs caracterizam-se pela produção de um radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), capaz de mineralizar contaminantes a dióxido de carbono e água, ou oxidá-los a compostos biodegradáveis e não tóxicos (ANDREOZZI e MAROTTA, 1999). Vários processos de produção de $\bullet\text{OH}$ têm sido estudados, como a fotólise, a fotocatalise e a oxidação com ar, com

peróxido de hidrogênio e ozônio, além dos sistemas combinados constituídos de oxidantes, adsorventes e catalisadores, como o processo Fenton (BRITTO e RANGEL, 2008).

O reagente Fenton é um dos POA que tem se destacado como promissor em termos de custo, facilidade de operação e eficácia, por ser um método de oxidação capaz de remover diversos poluentes orgânicos perigosos presentes nas águas residuais (TEKIN et al., 2006; NEYENS e BAEYENS, 2003), podendo ser utilizado como pré ou pós-tratamento (FRANCO, 2010).

O sistema Fenton emprega íons ferrosos e H_2O_2 , sob condições de pH ácido, o que resulta na formação do radical $\bullet OH$, e os íons ferrosos são oxidados a íons férricos (FARHADI et al., 2012). Os radicais $\bullet OH$ formados não são seletivos e atuam como um agente oxidante intermediário, capaz de oxidar efetivamente numerosas substâncias orgânicas (JULIO et al., 2009).

De acordo com o exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos dos parâmetros operacionais do processo integrado Fenton - Coagulação como tratamento terciário na degradação de compostos orgânicos de um efluente agroindustrial.

Material e Métodos

Reagentes

Os reagentes utilizados para realização dos experimentos foram, sulfato ferroso heptahidratado PA ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$, Êxodo Científica) e peróxido de hidrogênio PA (H_2O_2 35%, Êxodo Científica), os demais reagentes utilizados foram de grau analítico.

Efluente

O efluente de estudo, proveniente de um frigorífico situado na região Oeste do Paraná, foi coletado após o tratamento biológico realizado na própria indústria, sendo armazenado à $-18\text{ }^\circ\text{C}$ até sua utilização no estudo proposto. O período de armazenamento foi de aproximadamente 6 dias. Segundo Colombari - Almeida et al., (2015), a caracterização físico-química do efluente de estudo antes do tratamento terciário proposto, apresentou os seguintes resultados: cor aparente de $719,67 \pm 1,53\text{ mg PtCo L}^{-1}$; turbidez de $50,10 \pm 0,50\text{ NTU}$; pH de $7,63 \pm 0,01$ e DQO de $127,24 \pm 2,75\text{ mg O}_2\text{ L}^{-1}$.

Procedimento experimental

Os estudos foram conduzidos no equipamento tipo “Jar Test” (Poli Control, modelo Floc Control III) composto de seis reatores (beckers de polietileno), com capacidade de 400 mL cada, mantidos sob agitação constante (100 rpm).

O processo foi conduzido em temperatura ambiente (23 ± 2 °C). A quantidade de ferro desejada ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) foi adicionada ao efluente e, imediatamente, procedeu-se o ajuste do pH da mistura reacional (AFFAM et al., 2014) com H_2SO_4 (0,1M), seguido da adição de H_2O_2 na proporção $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}]$ desejada. Na primeira etapa do processo Fenton (oxidação química) a mistura reacional foi agitada por 1 h (AFFAM et al., 2014). Após o tempo reacional, imediatamente, deu-se início à segunda etapa do processo (coagulação química) na qual o pH da solução foi ajustado com NaOH (0,1M) sob agitação, para a faixa desejada e, então, a agitação foi interrompida. A solução permaneceu em repouso por 1 h (GOHARY et al., 2009), para sedimentação dos flocos formados (lodo). Ao final do processo, o efluente tratado (sobrenadante) foi submetido às análises.

Planejamento Experimental

Com base em dados encontrados na literatura por Gallard et al., (1998), Tekin et al., (2006), Lin et al., (1999), Gogate e Pandit (2004), Lin e Lo (1997) e Kang e Hwang (2000), as faixas de estudo dos quatro parâmetros operacionais, para o tratamento Fenton do efluente de estudo, foram investigadas com base na eficiência de remoção da DQO, utilizando como ferramenta um planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} com 03 (três) repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios. As variáveis independentes investigadas, com suas respectivas faixas, foram: $\text{pH}_{\text{REAÇÃO}}$ de 2,5 à 4,0, $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$ de 6,0 à 11,0, razão $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}]$ de 1,50 à 3,00 e razão $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ de 0,25 à 0,50. Ao final, procedeu-se ao tratamento do efluente para avaliação da remoção de DQO, nas condições operacionais definidas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Determinações Analíticas

Para determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras de efluente foram utilizadas as metodologias descritas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999). O pH foi determinado pelo método potenciométrico em pHmetro digital (Hanna pH/mV meter). A DQO foi determinada pelo método colorimétrico de refluxo fechado. A determinação do H_2O_2 residual é uma análise importante no estudo realizado, pois o excesso de H_2O_2 interfere nas análises de determinação de DQO ao consumir $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (TALINLI e ANDERSON, 1992). O H_2O_2 residual nas amostras de efluente tratadas foi determinado por meio do método iodométrico catalisado com molibdato de amônio (KOLTHOFF, 1920). As correções da interferência do H_2O_2 na DQO foram realizadas de acordo com Kang et al., (1999).

A determinação da concentração de ferro total no efluente tratado (sobrenadante coletado após a etapa de coagulação) foi realizada por espectrometria de absorção atômica com chama ar/acetileno, em espectrômetro marca Varian, modelo SpectrAA 240FS (Mulgrave, Victoria, Australia). Para as determinações, foram utilizadas as seguintes condições: vazões de ar de 13,5 L min⁻¹ e de acetileno de 2,0 L min⁻¹; comprimento de onda de 248,3 nm, fenda espectral de 0,2 nm, corrente da lâmpada de cátodo oco de 10 mA. A absorvância foi medida em altura de pico, e a concentração de ferro total das amostras foi determinada a partir da equação obtida na curva de calibração.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos no planejamento fatorial fracionário, referentes à eficiência de remoção de DQO, podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Planejamento fatorial fracionário 2⁴⁻¹ com 3 repetições no ponto central e os resultados da eficiência de remoção da DQO.

Tratamentos	Variáveis				Eficiência de Remoção de DQO(%)
	pH _{REAÇÃO}	pH _{COAGULAÇÃO}	[H ₂ O ₂]/[DQO]	[Fe ⁺²]/[H ₂ O ₂]	
T1	-1(2,5)	-1(6,0)	-1(1,50)	-1(0,250)	44,15 ^{ac} ± 2,46
T2	+1(4,0)	-1(6,0)	-1(1,50)	+1(0,500)	65,81 ^b ± 3,09
T3	-1(2,5)	+1(11,0)	-1(1,50)	+1(0,500)	48,14 ^{ac} ± 2,51
T4	+1(4,0)	+1(11,0)	-1(1,50)	-1(0,250)	34,07 ^d ± 1,46
T5	-1(2,5)	-1(6,0)	+1(3,0)	+1(0,500)	58,02 ^e ± 2,09
T6	+1(4,0)	-1(6,0)	+1(3,0)	-1(0,250)	47,23 ^{ac} ± 1,78
T7	-1(2,5)	+1(11,0)	+1(3,0)	-1(0,250)	32,85 ^d ± 1,05
T8	+1(4,0)	+1(11,0)	+1(3,0)	+1(0,500)	43,92 ^{ac} ± 1,89
T9	0(3,25)	0(8,5)	0(2,25)	0(0,375)	51,99 ^{ce} ± 2,37
T10	0(3,25)	0(8,5)	0(2,25)	0(0,375)	52,34 ^{ce} ± 3,13
T11	0(3,25)	0(8,5)	0(2,25)	0(0,375)	52,58 ^{ce} ± 1,94

*Valores com letras diferentes, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 0,05). Médias seguidas pelo ± desvio padrão.

De acordo com os resultados apresentado na Tabela 1, o tratamento terciário do efluente agroindustrial pelo processo integrado Fenton - Coagulação nas condições investigadas resultou em remoção de DQO entre 32,85 a 65,81%. Os resultados são considerados satisfatórios, visto que esse foi um tratamento terciário para o polimento do efluente que já havia passado pelo tratamento secundário (biológico).

Resultados semelhantes foram obtidos por Mota e Brito (1999), que obtiveram 50% de remoção de DQO utilizando o processo Fenton, como tratamento terciário em um efluente de indústria química de cola e verniz. Ahmadian et al., (2013) obtiveram valores de remoção próximos a 70%, utilizando o processo Fenton como tratamento do resíduo lixiviado de um aterro sanitário.

Na Tabela 2 pode-se observar os efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta analisada. Dentre as 04 (quatro) variáveis independentes estudadas, somente o $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$ e a razão $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para a remoção da DQO. O $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$ teve efeito negativo, indicando que ao passar de 6 para 11 ocorreu uma diminuição na remoção da DQO.

Tabela 2. Coeficientes de regressão para eficiência de remoção de DQO obtidos no planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} .

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	Valor t	P - valor
Média	49,2263	1,092107	45,07463	1,014E-07
$\text{pH}_{\text{REACÃO}}$	-0,6286	2,647093	-0,23748	8,22E-01
$\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$	-16,6504	2,647093	-6,29009	1,49E-03
$[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}]$	-5,1333	2,647093	-1,93923	1,10E-01
$[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$	11,8027	2,647093	4,45874	6,65E-03

Por outro lado para a razão $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ o efeito foi positivo para remoção da DQO, indicando que ao passar de 0,25 para 0,50 da razão molar de $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ ocorreu um aumento na remoção da DQO, implicando em um favorecimento da degradação da matéria orgânica presente no efluente, pois os sais ferrosos atuam como agentes catalisadores da reação de degradação do H_2O_2 em $\bullet\text{OH}$ (GOGATI e PANDIT, 2004), ou seja, quanto maior à concentração de íons ferrosos, maior a taxa de degradação (LIN et al., 1999).

Os parâmetros $\text{pH}_{\text{REACÃO}}$ e a razão $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}]$ não foram significativos ($p < 0,05$), com efeito negativo para ambos. Em relação à concentração de H_2O_2 , a diminuição na remoção da DQO com o aumento da concentração de H_2O_2 , pode ser explicada em função do caráter sequestrante exercido pelo excesso de H_2O_2 (MONDEY et al., 2003). Quanto ao $\text{pH}_{\text{REACÃO}}$, para valores superiores a 4, a geração de $\bullet\text{OH}$ foi mais lenta, devido à diminuição das espécies de ferro livre na solução, causada pela formação de complexos de ferro com a matéria orgânica e à precipitação de hidróxidos de ferro (LIN e LO, 1997). Segundo Tekin et al., (2006) o valor inicial de pH indicado deve estar entre 2 e 4, para gerar uma maior quantidade de $\bullet\text{OH}$.

Em função do limite de ferro imposto pela resolução do CONAMA n° 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), a determinação da concentração de ferro total no efluente tratado foi realizada, conforme os resultados apresentados na Tabela 3,

Tabela 3. Concentração de Ferro total nas amostras de efluente após o tratamento com Fenton.

Tratamento	Concentração de Ferro total (mg L ⁻¹)
T1	1,413 ± 0,194
T2	0,950 ± 0,106
T3	1,563 ± 0,265
T4	1,138 ± 0,230
T5	0,900 ± 0,035
T6	1,475 ± 0,106
T7	1,225 ± 0,071
T8	2,638 ± 0,053
T9	2,063 ± 0,265
T10	2,388 ± 0,194
T11	2,363 ± 0,088

Conforme observado na Tabela 3, todos os tratamentos realizados resultaram em concentrações de ferro inferiores ao limite máximo de 15 mg L⁻¹ estabelecido pela legislação vigente.

De acordo com os resultados expostos, as melhores condições dentro da faixa estudada para cada parâmetro operacional estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Condições determinadas para os parâmetros operacionais, definidas para o tratamento terciário Fenton do efluente agroindustrial, dentro da faixa estudada.

Parâmetros			
pH _{COAGULAÇÃO} 6,0 a 8,0	pH _{REAÇÃO} 4,0	[H ₂ O ₂]/[DQO] 1,5	[Fe ⁺²]/[H ₂ O ₂] 0,3 a 0,5

Em função do efeito negativo não significativo ($p < 0,05$) para as variáveis razão [H₂O₂]/[DQO] e pH_{REAÇÃO}, estas foram fixadas para níveis inferiores, fixando a razão [H₂O₂]/[DQO] em 1,5, e para o pH_{REAÇÃO}, fixou-se para o pH 4. Para variáveis significativas ($p < 0,05$), pH_{COAGULAÇÃO} e razão [Fe⁺²]/[H₂O₂], os níveis foram deslocados, considerando o efeito para cada variável, conforme apresentado na Tabela 4.

Conclusão

De acordo com os resultados obtidos pode-se confirmar a eficiência do processo Fenton como tratamento terciário (polimento) em efluentes agroindustriais, o qual resultou na redução de aproximadamente 66% da DQO do efluente. Por meio do planejamento

experimental fatorial fracionário, verificou-se o efeito das variáveis independentes sobre a porcentagem de remoção de DQO, possibilitou definir as variáveis que desempenharam efeito significativo no processo, e seus respectivos níveis, proporcionando condições operacionais que resultaram em uma maior eficiência do processo, dentro da faixa estudada e, paralelamente evitarão que o excesso dos reagentes interferisse negativamente na eficiência do processo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira pela infraestrutura e pelo apoio financeiro.

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION –APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington, 1999.

ANDREOZZI, R.; MAROTTA, R. Ozonation of p-chlorophenol in aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 69, n.3, p.303-317, 1999.

AHMADIAN, M.; RESHADAT, S.; YOUSEFI, N.; MIRHOSSIENI, S. H.; ZARE, M. R.; GHASEMI, S. R.; GILAN, N. R.; KHAMUTIAN, R.; FATEHIZADEH, A. Municipal Leachate Treatment by Fenton Process: Effect of Some Variable and Kinetics. **Journal of Environmental and Public Health**. v.2013, p.01-06, 2013.

BEATI, A. A. G. F.; ROCHA, R. S.; OLIVEIRA, J. G.; LANZA, M. R. V. Estudo da degradação de ranitidina via H₂O₂ eletrogerado/fenton em um reator eletroquímico com eletrodos de difusão gasosa. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 125-130, 2009.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, p. 523-530, 2003.

BRITTO, J. M.; RANGEL, M. D. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. **Química Nova**, v. 31 , n.1, p. 114-122, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 07 março 2015.

COLOMBARI – ALMEIDA, F. S.; CAVALLI, A.; LENHARD, D. C.; GENENA, A. K. Determinação das condições operacionais para o tratamento terciário de efluente frigorífico

pelo processo integrado Fenton-Coagulação. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, Taubaté – Jul. / Sep. 2015.

ELMOLLA, E.; CHAUDHURI, M. Optimization of Fenton process for treatment of amoxicillin, ampicillin and cloxacillin antibiotics in aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 2–3, p. 666-672, 2009.

FARHADI, S.; AMINZADEH, B.; TORABIAN, A.; KHATIBIKAMAL, V.; ALIZADEH, M. F. Comparison of COD removal from pharmaceutical wastewater by electrocoagulation, photoelectrocoagulation, peroxi-electrocoagulation and peroxi-photoelectrocoagulation processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 219-220, p.35-42, 2012.

FRANCO, M. S. Estudo da otimização do processo H₂O₂/UV para um escoramento de um efluente de indústria têxtil. 2010. 68p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GALLARD, H.; DE LAAT, J.; LEGUBE, B. Influence du pH sur la vitesse d'oxydation de composés organiques par FeII/H₂O₂ Mécanismes réactionnels et modélisation. **New Journal of Chemistry**, v. 22, n. 3, p. 263-268, 1998.

GOGATE, P. R., PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: Oxidation technologies at ambient conditions. **Advances in Environmental Research**, v. 8, n. 3-4, p. 501-551, 2004.

JULIO, M. D.; JULIO, T. S. D., BERNARDO, L. D. Efeito Sinérgico do Fe⁺² e H₂O₂ na reação de fenton empregado no tratamento de águas de abastecimento contendo substâncias húmicas. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 718-737, 2009.

KANG, Y. W.; CHO, M. J.; HWANG, K. Y. Correction of hydrogen peroxide interference on standard chemical oxygen demand test. **Water Research**, v. 33, n. 5, p. 1247-1251, 1999.

KANG, Y. W.; HWANG, K.Y. Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. **Water Research**, v. 34, n. 10, p. 2786-2790, 2000.

KOLTHOFF, I. M. **Chemisch Weekblad**, v. 17, p. 197, 1920.

LIN, S. H.; LO, C. C. Fenton process for treatment of desizing wastewater. **Water Research**, v. 31, n. 8, p. 2050-2056, 1997.

LIN, S. H.; LIN, C. M.; LEU, H. G. Operating characteristics and kinetic studies of surfactant wastewater treatment by Fenton oxidation. **Water Research**, v. 33, n. 7, p. 1735-1741, 1999.

LUCAS, M. S.; PERES, J. A. Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: kinetic study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, p.1254, 2009.

MANDAL, T.; MAITY, S.; DASGUPTA, D.; DATTA, S. Advanced oxidation process and biotreatment: Their roles in combined industrial wastewater treatment. **Desalination**, v. 250, n. 1, p. 87-94, 2010.

MONDEY, A.; LIBRA, J. A.; WIESMANN, U. Mechanism and kinetic model for the decolorization of the azo dye reactive black 5 by hydrogen peroxide and uv radiation. **Chemosphere**, v. 52, p. 1069-1077, 2003.

NEYENS, E.; BAEYENS, J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. **Journal of Hazardous Materials**, v. 98, p.33-50, 2003.

PALA, A.; ERDEN, G. Decolorization of a baker's yeast industry effluent by fenton's oxidation", **Journal of Hazardous Materials**, v. 127, p.141-148, 2005.

SALGADO, B. C. B.; NOGUEIRA, M. I. C.; RODRIGUES, K. A.; SAMPAIO, G. M. M.; BUARQUE, H. L. B.; ARAÚJO, R. S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 1-8, 2009.

TEKIN, H.; BILKAY, O.; ATABERK, S. S.; BALTA, T. H.; CERIBASI, I. H.; SANIN, F, D.; DILEK, F, B.; YETIS, U. Use of Fenton oxidation to improve the biodegradability of a pharmaceutical wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 2, p. 258-265, 2006.

ZORPAS A. A.; COSTA, C. N. Combination of Fenton oxidation and composting for the treatment of the olive solid residue and the olive mill wastewater from the olive oil industry in Cyprus. **Bioresource Technology**, v.101, p.7984–7987, 2010.