



## Determinação das condições operacionais para o tratamento terciário de efluente frigorífico pelo processo integrado Fenton-Coagulação

doi: 10.4136/ambi-agua.1627

Received: 17 Mar. 2015; Accepted: 11 Jun. 2015

Fernanda Salbego Colombari de Almeida\* ; Aline Cavalli;  
Daiane Cristina Lenhard; Aziza Kamal Genena

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Medianeira, PR, Brasil  
Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos

\* Autor correspondente: e-mail: fernanda\_colombari@yahoo.com.br,  
line\_cavalli@hotmail.com, daianelenhard@utfpr.edu.br, azizakg@utfpr.edu.br

### RESUMO

Os processos de oxidação avançada (POAs) têm surgido como métodos eficazes para o tratamento terciário de efluentes industriais porque eles são capazes de destruir os poluentes e não apenas transferí-los de uma fase para outra como ocorre nos processos terciários convencionais aplicados em indústrias frigoríficas. O processo biológico, tratamento principal utilizado para efluentes frigoríficos, é limitado à degradação de substâncias biodegradáveis e que não são tóxicas para a cultura biológica. A utilização de um processo integrado Fenton-Coagulação para o tratamento terciário desses efluentes aparece como uma alternativa promissora e, portanto, o objetivo do presente trabalho foi determinar as condições operacionais do processo proposto para o tratamento terciário de efluente frigorífico. As variáveis investigadas foram a razão  $[Fe^{+2}]/[H_2O_2]$  e  $pH_{COAGULAÇÃO}$ . Os ensaios foram conduzidos em triplicata de acordo com um delineamento central composto rotacional (DCCR)  $2^2$ , com três pontos centrais e quatro pontos axiais, que totalizou 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). Na faixa investigada, as condições operacionais definidas foram razão  $[Fe^{+2}]/[H_2O_2]$  de 0,800 e o  $pH_{COAGULAÇÃO}$  de 5,50. O estudo revelou que o processo integrado Fenton-Coagulação proposto conduzido nas condições definidas alcançou uma eficiência de remoção de DQO superior a 71%, e pode, portanto, ser usado para o tratamento terciário de efluente frigorífico com o objetivo de degradação de matéria orgânica recalcitrante (não biodegradável).

**Palavras-chave:** degradação, matéria orgânica, processos de oxidação avançada.

### Determination of operational conditions for tertiary treatment of slaughterhouse wastewater by the integrated Fenton-Coagulation process

### ABSTRACT

Advanced oxidation processes (AOPs) appear to be effective methods for tertiary wastewater treatment because they are able to destroy pollutants and not only transfer them from one phase to another without destroying them as is the case with conventional tertiary processes applied in the slaughterhouse industries. Biological processes are the main

slaughterhouse wastewater treatments applied, but this process is limited to the degradation of biodegradable substances which are not toxic to the biological culture. The Fenton-Coagulation integrated process may be a promising alternative for slaughterhouse tertiary treatment. This study evaluated the operational conditions for the proposed integrated process application to slaughterhouse wastewater tertiary treatment. Investigated parameters were  $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  ratio and  $\text{pH}_{\text{COAGULATION}}$ . The experiments were conducted in triplicate according to the rotational central composite design (RCCD)  $2^2$ , with three center points and four axial points, totaling 11 experiments. Chemical oxygen demand (COD) removal was the parameter used to evaluate efficiency in each assay. The operational conditions defined in the range investigated were  $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  ratio equal to 0.800 and  $\text{pH}_{\text{COAGULATION}}$  of 5.50. The study revealed that the proposed Fenton-Coagulation process performed within the defined conditions promoted a COD removal efficiency of 71% and, thus, may be used to degrade recalcitrant (non-biodegradable) organic matter during slaughterhouse wastewater tertiary treatment.

**Keywords:** advanced oxidation processes, degradation, organic matter.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria frigorífica gera uma grande quantidade de efluentes e em média o consumo de água no abate e industrialização da carne suína é de 500 a 1500 L/cabeça (IPPC, 2005). Cerca de 80 a 95% da água consumida por este setor durante o processo é descartada como efluente líquido (UNEP et al., 2000), cuja composição é influenciada por diferentes fatores, tais como: processo industrial, produtos fabricados, quantidade e tipo de carne processada, equipamentos utilizados, práticas de gestão ambiental, quantidade de água consumida nos processos de limpeza/sanitização, dentre outros compostos (Rigo, 2014).

De forma geral, o efluente da indústria frigorífica apresenta como características: alta carga orgânica e inorgânica, alto conteúdo de sólidos suspensos, cor escura e odor desagradável (Couillard et al., 1989).

Ainda, a presença de outros compostos químicos no efluente deve-se ao uso de fármacos administrados nos animais, produtos de higiene pessoal, utilizados pelos colaboradores das indústrias, produtos utilizados na limpeza e sanitização, bem como, os inseticidas e pesticidas, utilizados no controle de pragas (Aquino et al., 2013), o que torna este efluente complexo. Se não for tratado devidamente, esse efluente apresenta-se como uma das principais fontes de poluição dos corpos receptores de água.

Os processos biológicos convencionais empregados no tratamento desses efluentes nem sempre proporcionam resultados satisfatórios, dado que, muitas das substâncias orgânicas presentes no efluente são tóxicas ou resistentes ao tratamento biológico (Oller et al., 2011). A resistência de alguns compostos ao tratamento biológico foi relatada no estudo realizado por Shao et al. (2009), que identificaram e quantificaram a presença de produtos farmacêuticos na entrada da estação de tratamento de efluente frigorífico (efluente bruto), e na saída, após o tratamento.

Os processos de oxidação avançada (POAs) são uma alternativa promissora para o polimento do efluente tratado biologicamente, por meio da sua aplicação como tratamento terciário. São considerados mais eficientes quando comparados com outras técnicas de tratamento terciário, tais como, adsorção em carbono ativado, air stripping (arraste com ar) e osmose inversa, pois os poluentes não são transferidos de uma fase para outra, sem que haja a degradação desses (Elmolla e Chaudhuri, 2010).

Os POAs caracterizam-se pela geração do radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), um potente agente oxidante, capaz de mineralizar contaminantes a dióxido de carbono e água ou oxidá-los a compostos biodegradáveis (Andreozzi e Marotta, 1999).

Dentre os vários processos de produção de  $\bullet\text{OH}$  estudados (Britto e Rangel, 2008), o processo Fenton destaca-se em termos de custo/eficácia e facilidade de operação (Tekin et al., 2006).

O processo Fenton emprega, sob condições de pH ácido, os íons ferrosos para decomposição do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) em um radical  $\bullet\text{OH}$  (Farhadi et al., 2012). Os radicais  $\bullet\text{OH}$  não são seletivos, sendo capazes de degradar efetivamente numerosas substâncias orgânicas. Ainda, os íons  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}$  formam espécies hidrolisadas que atuam como coagulantes. Assim, o reagente de Fenton pode ter a dupla função de oxidação e coagulação no processo Fenton (De Julio et al., 2009).

O mecanismo da reação Fenton em meio ácido (Walling e Kato, 1971) é apresentado nas Equações de 1 a 4:



O presente trabalho permitiu, com base na degradação da matéria orgânica, definir nas condições operacionais do processo integrado Fenton-Coagulação para o tratamento terciário de efluente frigorífico, visando a máxima remoção de matéria orgânica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Reagentes

Os reagentes utilizados para realização dos experimentos foram sulfato ferroso heptahidratado PA ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Êxodo Científica) e peróxido de hidrogênio PA ( $\text{H}_2\text{O}_2$  35%, Êxodo Científica) e, os demais reagentes utilizados foram de grau analítico.

### 2.2. Efluente

O efluente frigorífico foi submetido (na própria indústria) aos tratamentos primário (peneiras estáticas e decantadores) e secundário, o qual compreendeu o tratamento biológico em lagoas anaeróbicas e aeróbicas. O efluente de estudo foi coletado, portanto, após o tratamento biológico e armazenado à  $-18^\circ\text{C}$  até sua utilização no tratamento terciário proposto nesse trabalho. O período de armazenamento não excedeu sete dias.

### 2.3. Reator químico

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

### 2.4. Procedimento experimental

O processo foi conduzido em temperatura ambiente ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Ferro na concentração desejada foi adicionado ao efluente e, imediatamente, procedeu-se o ajuste do pH da mistura reacional (Affam et al., 2014) para  $3,0 \pm 0,1$  com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,1 M). Na sequência  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi adicionado na proporção  $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}]$  de 3:2. 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  $\text{NaOH}$  (0,1 M), sob agitação, para a faixa desejada e, então, a agitação foi interrompida. A solução permaneceu em repouso por 1 h (El-Gohary et

al., 2009), para sedimentação dos flocos formados (lodo). Ao final do processo, o efluente tratado (sobrenadante) foi submetido às análises.

## 2.5. Planejamento experimental

Para definição dos ensaios experimentais utilizou-se como ferramenta o Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR)  $2^2$  com 04 (quatro) pontos axiais e 03 (três) pontos centrais, a fim de determinar a condição com máxima porcentagem de remoção de DQO. As variáveis independentes utilizadas, com suas respectivas faixas investigadas foram:  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  de 5,50 à 8,00 e razão  $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ , em termos de proporção  $\text{Fe}^{+2}(\text{mg L}^{-1})$ :  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{mg L}^{-1})$  de 0,300 à 0,800. 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.

## 2.6. Determinações analíticas

Para determinar os parâmetros físico-químicos das amostras de efluente foram utilizadas as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 1999). A cor aparente foi mensurada pelo método platina-cobalto em espectrofotômetro HACH (DR 2800) no comprimento de onda de 455 nm. A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico, utilizando um turbidímetro (Poli Control, Ap 200), cujos resultados foram expressos em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). 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  $\text{H}_2\text{O}_2$  residual é uma análise importante no estudo realizado, pois o excesso de  $\text{H}_2\text{O}_2$  interfere nas análises de determinação de DQO ao consumir  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (Talinli e Anderson, 1992). O  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $13,5 \text{ L min}^{-1}$  e de acetileno de  $2,0 \text{ L min}^{-1}$ ; 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.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Caracterização do efluente

Os resultados das análises físico-químicas de caracterização do efluente em estudo, tratado biologicamente, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização do efluente de estudo.

Parâmetros	Cor aparente (mg PtCo $\text{L}^{-1}$ )	DQO (mg $\text{O}_2 \text{L}^{-1}$ )	Turbidez (NTU)	pH
Valor	$719,67 \pm 1,53$	$127,24 \pm 2,75$	$50,10 \pm 0,50$	$7,63 \pm 0,01$

### 3.2. Avaliação dos parâmetros operacionais

Dentre os parâmetros operacionais do processo Fenton, o  $\text{pH}_{\text{REAÇÃO}}$  foi fixado em 3,0 com base em dados encontrados na literatura (Pérez et al., 2002; Durigan et al., 2012). Este valor de pH é considerado ótimo, em razão de prevenir a precipitação das formas férricas geradas no processo. A razão  $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{DQO}]$  em termos de concentração foi fixada em 1,5, com base em ensaios preliminares que indicaram que para uma faixa de 1,5 a 3,0 não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ). Os parâmetros investigados no planejamento DCCR 2<sup>2</sup> foram  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  e a razão  $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ .

Os resultados obtidos no planejamento DCCR com 04 pontos axiais e 03 repetições no ponto central estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Planejamento DCCR 2<sup>2</sup> para o estudo da eficiência de remoção da DQO, no tratamento Fenton do efluente frigorífico com resultados (níveis codificados e reais).

Tratamentos	Variáveis		Remoção de DQO (%)	$\text{Fe}_{\text{total}}$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )
	$\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$	$[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$		
T1	-1 (5,86)	-1 (0,373)	42,02 <sup>acde</sup> ± 1,73	3,378 ± 0,155
T2	+1 (7,63)	-1 (0,373)	34,93 <sup>ac</sup> ± 1,051	3,049 ± 0,069
T3	-1 (5,86)	+1 (0,727)	41,25 <sup>ace</sup> ± 2,41	2,061 ± 0,155
T4	+1 (7,63)	+1 (0,727)	55,98 <sup>abc</sup> ± 3,54	2,427 ± 0,259
T5	-1,41 (5,50)	0 (0,550)	66,98 <sup>b</sup> ± 1,56	2,220 ± 0,103
T6	+1,41 (8,00)	0 (0,550)	36,90 <sup>ac</sup> ± 1,93	2,695 ± 0,017
T7	0 (6,75)	-1,41 (0,300)	54,32 <sup>abd</sup> ± 3,28	3,073 ± 0,138
T8	0 (6,75)	+1,41 (0,800)	67,71 <sup>bce</sup> ± 2,38	2,549 ± 0,052
T9	0 (6,75)	0 (0,550)	58,58 <sup>abce</sup> ± 1,51	5,951 ± 0,138
T10	0 (6,75)	0 (0,550)	58,36 <sup>abce</sup> ± 1,43	2,238 ± 0,101
T11	0 (6,75)	0 (0,550)	58,62 <sup>abce</sup> ± 1,75	2,571 ± 0,067

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

A máxima remoção de DQO (67,71%) foi obtida no  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  de 6,75 e razão  $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  de 0,800. Valor semelhante de 66,98% de remoção de DQO foi observado no tratamento com  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  de 5,50 e razão  $[\text{Fe}^{+2}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  de 0,550, não tendo diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as duas condições, como pode ser verificado na Tabela 2.

A partir da análise dos coeficientes de regressão (Tabela 3) é possível observar que nenhuma das condições investigadas para as variáveis apresentaram diferença significativa ao nível de 5%.

Apesar disso, é importante ressaltar que a variável  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  apresentou efeito negativo (Tabela 3), ou seja, um aumento dessa variável resulta em uma redução da remoção de DQO. Portanto, definiu-se para o  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  seu uso no nível inferior investigado (pH 5,50), possibilitando a realização do processo com menor adição de reagente, considerando que o  $\text{pH}_{\text{REAÇÃO}}$  antes desta etapa encontra-se em valor próximo a 3,0 (etapa de oxidação).

Resultado semelhante foi obtido por Kang e Hwang (2000) no uso do processo Fenton como tratamento terciário de chorume, para o qual a maior eficiência ocorreu com  $\text{pH}_{\text{COAGULAÇÃO}}$  de 4,0.

**Tabela 3.** Coeficientes de regressão para % de remoção de DQO obtidos no DCCR.

Fatores	Efeitos	Coefficiente de Regressão	Erro Padrão	Valor t	P - valor
Média	58,573	58,573	6,571	8,915	2,96E-04
X <sub>1</sub> (L)	-8,716	-4,358	4,030	-1,081	3,29E-01
X <sub>1</sub> (Q)	-13,174	-6,587	4,808	-1,370	2,29E-01
X <sub>2</sub> (L)	9,817	4,908	4,304	1,218	2,78E-01
X <sub>2</sub> (Q)	-4,040	-2,020	4,808	0,420	6,92E-01
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	10,909	5,455	5,690	0,959	3,82E-01

X<sub>1</sub> pH<sub>COAGULAÇÃO</sub>; X<sub>2</sub> [Fe<sup>+2</sup>]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]; p≤0,05; L – termo linear; Q – termo quadrático.

Em relação à variável referente à razão [Fe<sup>+2</sup>]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] o efeito foi predominantemente positivo (Tabela 3) devido aos íons Fe<sup>+2</sup> atuarem como catalisadores acelerando a reação por meio da decomposição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em •OH, ou seja, quanto maior a concentração de íons ferrosos, maior a remoção de DQO. Portanto, considerou-se a melhor condição de operação a razão [Fe<sup>+2</sup>]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] de 0,800.

Para que não ocorra um excesso dos íons de ferro e este venha comprometer o resultado final da degradação da matéria orgânica presente no efluente, e em função do limite imposto pela resolução do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), determinou-se a quantidade de ferro total após os tratamentos.

Os resultados apresentados na Tabela 2 permitem verificar que, para todos os ensaios, a quantidade de ferro presente encontra-se abaixo do valor máximo de 15 mg L<sup>-1</sup> definido na resolução supracitada, para o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Portanto, pode-se concluir que o valor definido para a concentração de ferro (nível superior para razão [Fe<sup>+2</sup>]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] de 0,800) pode ser utilizado de acordo com a legislação vigente.

Os dados experimentais, submetidos à análise de variância (ANOVA), não resultaram em um ajuste de modelo matemático válido dentro do intervalo de confiança de 95%, uma vez que trata-se de um efluente industrial real, com uma matriz complexa.

Considerando que o objetivo do planejamento foi aumentar a eficiência da porcentagem de remoção da DQO, mesmo que o modelo matemático não tenha se ajustado aos dados experimentais, pode-se definir, dentro da faixa investigada, uma melhor condição de operação: pH<sub>REACÇÃO</sub> 3,0; razão [Fe<sup>+2</sup>]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] de 0,800; razão [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]/[DQO] de 1,5 e pH<sub>COAGULAÇÃO</sub> 5,50.

As análises de caracterização do efluente tratado nas condições definidas acima estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Caracterização do efluente de estudo tratado pelo processo integrado Fenton/coagulação, na melhor condição operacional, dentro da faixa investigada.

Parâmetros	Valor	Remoção (%)
Cor aparente (mg PtCo L <sup>-1</sup> )	453,95 ± 1,57	36,92 ± 0,22
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	30,47 ± 2,18	71,24 ± 2,05
Turbidez (NTU)	36,62 ± 1,42	26,91 ± 2,83
pH	5,55 ± 0,02	-

Os parâmetros analisados (Tabela 4) encontram-se dentro do limite estabelecido pela resolução do CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011). A concentração de ferro total no efluente tratado ( $2,622 \pm 0,121 \text{ mg Fe.L}^{-1}$ ) também encontra-se de acordo com os padrões estabelecidos na legislação vigente (CONAMA, 2011).

De acordo com a Tabela 4, o tratamento terciário do efluente frigorífico de estudo nas condições determinadas como ideais, dentro da faixa investigada, resultou na redução de todos os parâmetros analisados, com uma remoção na DQO de  $71,24 \pm 2,05\%$ , considerada satisfatória visto que o processo proposto foi capaz de remover uma grande parte da matéria orgânica que havia persistido ao tratamento anterior.

## 4. CONCLUSÃO

A utilização do planejamento experimental DCCR permitiu verificar a interação entre as variáveis estudadas, e determinar os melhores parâmetros operacionais dentro da faixa investigada para o tratamento terciário do efluente frigorífico pelo processo integrado Fenton-Coagulação, que resultou em uma máxima remoção de DQO de aproximadamente 71%. Este resultado é considerado satisfatório, uma vez que se trata do tratamento de polimento de um efluente para remoção da matéria orgânica persistente ao tratamento biológico previamente realizado.

## 5. AGRADECIMENTOS

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

## 6. REFERÊNCIAS

- AFFAM, A. C.; CHAUDHURI, M.; KUTTY, S. R. M.; MUDA, K. UV Fenton and sequencing batch reactor treatment of chlorpyrifos, cypermethrin and chlorothalonil pesticide wastewater. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 93, p. 195-201, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.002>
- ANDREOZZI, R.; MAROTTA, R. Ozonation of p-chlorophenol in aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 69, n. 3, p. 303-317, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(99\)00113-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(99)00113-2)
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIROMENT ASSOCIATION - WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington, 1999.
- AQUINO, S. F. DE; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. DE L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 187-204, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000300002>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000100023>

- 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.
- COUILLARD, D.; GARIÉPY, S.; TRAN, F. T. Slaughterhouse effluent treatment by thermophilic aerobic process. **Water Research**, v. 23, n. 5, p. 573-579, 1989. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90024-9](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(89)90024-9)
- DE JULIO, M.; DE JULIO, T. S.; BERNARDO, L. Efeito Sinérgico do Fe<sup>+2</sup> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na reação de fenton empregado no tratamento de águas de abastecimento contendo substâncias húmicas. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 718-737, 2009.
- DURIGAN M. A. B.; VAZ, S. R.; ZAMORA, P. P. Degradação de poluentes emergentes por processos fenton e foto-fenton. **Química Nova**, v. 35, p. 1381-1387, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000700018>
- EL-GOHARY, F. A.; BADAWY, M. I.; KHATEEB, M. A. EL.; KALLINY, A. S. EL. Integrated treatment of olive mill wastewater (OMW) by the combination of Fenton's reaction and anaerobic treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v.162, p. 1536-1541, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.098>
- ELMOLLA, E. S.; CHAUDHURI, M. Comparison of different advanced oxidation processes for treatment of antibiotic aqueous solution. **Desalination**, v. 256, p. 43-47, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.019>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.013>
- INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL - IPPC. **Reference document on best available techniques in the slaughterhouses and animal by-products industries**. Sevilha: EIPPCB, 2005. Disponível em: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>. Acesso em 07 maio 2011.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00315-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00315-7)
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00388-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00388-7)
- KOLTHOFF, I. M. Practische torpassing vas jo-dometrische titraties. **Chemisch Weekblad**, v. 17, p. 197, 1920.
- OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review. **Science of the Total Environment**, v. 409, n.20, p. 4141-4166, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.061>



- PÉREZ, M.; TORRADES, F.; DOMÈNECH, X.; PERAL, J. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. **Water Research**, v. 36, p. 2703–2710, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00506-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00506-1)
- SHAO, B.; CHEN, D.; ZHANG, J.; WU, Y.; SUN, C. Determination of 76 pharmaceutical drugs by liquid chromatography–tandem mass spectrometry in slaughterhouse wastewater. **Journal of Chromatography A**, v. 1216, p. 8312–8318, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2009.08.038>
- RIGO, A. **Aplicação de lipases como auxiliar no pré tratamento de efluentes de frigoríficos de suínos e bovinos**. 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2014.
- TALINLI, I.; ANDERSON, G. K. Interference of hydrogen peroxide on the standard COD test. **Water Research**, v. 26, p. 107 - 110, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90118-N](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(92)90118-N)
- TEKIN, H.; BILKAY, O.; ATABERK, S. S.; BALTA, T. H.; CERIBASI, I. H.; SANIN, F, D. et al. Use of Fenton oxidation to improve the biodegradability of a pharmaceutical wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 2, p. 258-265, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.012>
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP; DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - DEPA; CONSULTING ENGINEERS AND PLANNERS AS - COWI. **Cleaner production assessment in meat processing**. Paris: UNEP, 2000.
- WALLING, C.; KATO, S. Oxidation of Alcohols by Fenton's Reagent: the effect of copper ion. **Journal American Chemical Society**, v. 93, p.4271-4281. 1971. <http://dx.doi.org/10.1021/ja00746a031>