

II-109 - REAÇÃO DE FENTON NA REMOÇÃO DE CORANTE DO EFLUENTE TÊXTIL

Lorena Fernanda Altava Cara⁽¹⁾

Acadêmica da sétima fase do curso de Engenharia Sanitária/UDESC-CEAVI. Bolsista de iniciação científica

Guilherme Censi⁽²⁾

Acadêmico da sétima fase do curso de Engenharia Sanitária/UDESC-CEAVI. Bolsista de Iniciação Científica.

Émerson Souza⁽³⁾

Acadêmico da sétima fase do curso de Engenharia Sanitária/UDESC-CEAVI.

Silvana Licodiedoff⁽⁴⁾

Pós Doutorado em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos.

Luciano André Deitos Koslowski⁽⁵⁾

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade do Estado de Santa Catarina. Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiro José Gomes, 448 - Floresta – Joinville - SC - CEP: 89232060 - Brasil - Tel: (47) 97676429 - e-mail: lorena.cara@outlook.com

RESUMO

No decorrer dos últimos anos, a problemática de poluições ambientais atingiu vastas proporções e como grande contribuinte para esse cenário estão às indústrias têxteis, visto que apresentam um dos processos com maior geração de contaminantes, contribuindo desta maneira, com uma carga poluidora rejeitada no meio ambiente, que quando não tratado de maneira correta são responsáveis por sérios problemas de contaminação ambiental. As indústrias do ramo têxtil apresentam grande geração de volume de resíduos, uma vez que fazem uso de grandes volumes de água, e por consequência, geram uma grande quantidade de efluentes, que de maneira geral, são difíceis de tratar, devido aos compostos de difícil degradação como os corantes. Um método alternativo para o tratamento destes resíduos é o processo de oxidação avançada (POA's), que são processos com alto poder oxidativo capazes de produzir radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$). Assim o presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a aplicação de um Processo Oxidativo Avançado no tratamento de efluentes têxteis, denominado processo de Fenton. Nos estudos realizados, envolvendo a degradação dos corantes Azul turquesa e Verde malaquita, por meio de um planejamento fatorial, análise de absorvância, DQO, e análise crítica, foi possível demonstrar a elevada capacidade de degradação do processo de Fenton. Os resultados obtidos apontaram que em pH 3,0 e temperatura de 25°C a remoção de cor chegou a 99,3% e a de DQO a 85,7%. Os testes a 50°C com o mesmo valor de pH, a remoção de cor alcançou valores de 94,6%, e a de DQO a 92,8%. O valor de pH, quando alterado para 4 na temperatura de 25°C a remoção de cor chegou a 99,2%, e a de DQO a 87,5%, e em temperatura de 50°C a remoção de cor chegou a 97,0%, e a de DQO a 95,4%. Por meio dos resultados apresentados, pode-se afirmar que não há diferença significativa entre as temperaturas para que a empresa têxtil possa fazer tratamento do seu efluente, pelo fato que a oxidação da cor e redução do nível de DQO ocorreram em ambas temperaturas (25°C e 50°C), e também entre valores de pH de 3,0 a 4,0.

PALAVRAS-CHAVE: Processos Oxidativos Avançados, efluente têxtil, Fenton.

INTRODUÇÃO

No tratamento de efluentes da indústria têxtil é uma preocupação crescente nos últimos anos na indústria têxtil devido a problemática de um lançamento colorido em um corpo hídrico receptor, visto que, poluentes coloridos podem ser apontados como substâncias potencialmente tóxicas (KAO *et al.*, 2001). À medida que a legislação ambiental tornando-se mais exigente, a busca pela eficácia, assim como a redução do custo dos processos de tratamento tornam-se mais importantes.

A emissão de efluentes têxteis em um corpo hídrico, causam problemas estéticos além da absorvância da luz no meio e interferir nos processos biológicos próprios do meio. Dentre as etapas de produção em uma indústria têxtil, a que apresenta maior problemática é a fase de tingimento, devido a utilização de corantes sintéticos,

altamente resistentes à degradação natural e de comprovado caráter carcinogênico e mutagênico. Processos biológicos convencionais são ineficientes para a completa remoção da cor, enquanto processos oxidativos parecem ser uma alternativa mais eficaz (LEDAKOWICZ *et al.*, 2000).

Como alternativa, os processos oxidativos avançados (POA's) surgem para suprir esta necessidade evitando a geração de resíduos remanescentes dos processos de tratamento de efluentes provenientes das etapas de tingimento no setor têxtil (SOTTORIVA, 2002).

Portanto, vários métodos de processos de oxidação avançados (POA's), como: fotodissociação direta, sistema ozônio/ultravioleta, fotocatalise com dióxido de titânio (TiO₂), sistema H₂O₂/ UV e reagente de fenton vem sendo estudados e aplicados a fim de produzir intermediários altamente reativos capazes de oxidar a carga poluente (GIRARDI, 2003).

Em 1894, o processo Fenton foi descrito como o poder oxidante reforçado pelo uso de H₂O₂ e de ferro (Fe) como um catalisador, sob condições ácidas. Posteriormente, concluiu-se, que este aumento de pH, ocorreu devido à geração de radicais hidroxilo (•OH) (TUNAY *et al.*, 2010), o qual é um oxidante forte (E = 2,73 V), não seletivo e capaz de oxidar rapidamente uma ampla gama de compostos orgânicos poluentes (TORRADES *et al.*, 2011).

O •OH livre é uma espécie oxidante primária forma por meio da decomposição de peróxido de hidrogênio catalisada por Fe²⁺, na ausência de agentes quelantes de íons ferrosos. Esse radical possui o poder de realizar a oxidação não específica de alguns compostos orgânicos (RENDÓN, 2000).

O reagente de Fenton é uma mistura de peróxido de hidrogênio e íon ferroso (Fe²⁺) produzido pelo radical livre hidroxilo (•OH) e íon férrico (Fe³⁺) (ROJAS e GARCÉS, 2006). As reações deste processo estão apresentadas nas equações 1 e 2 abaixo:



Para que a reação ocorra de maneira mais eficaz, observou-se por meio de estudos a existência de fatores condicionantes da eficiência do processo, dentre eles: Dosagem de peróxido de hidrogênio e concentração de ferro, pH e Temperatura. Em termos de dosagem de H₂O₂, diz-se que a seleção de uma concentração ótima de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) necessária à degradação de corantes por Fenton e Foto-Fenton é importante a partir de um ponto de vista prático (devido ao custo do H₂O₂). Estudos relatam a existência de uma condição ótima de H₂O₂, a uma razão molar Fe /H₂O₂ (II), não havendo, contudo, um consenso sobre aquela que fornece os melhores resultados (NEAMTU *et al.*, 2003; IDIL e TEKSOY, 2007). Koprivanac *et al.*, 2006 aponta a relação direta entre o aumento da concentração de ferro e a taxa de degradação de compostos orgânicos, porém, a partir de uma dada concentração, um aumento na dosagem de ferro torna-se ineficiente. Sendo assim, pode-se observar que existe uma relação de catalisador a ser empregado. Estudos apontam para uma variação de razão molar ótima de Fe:H₂O₂ entre 1:5 a 1:25. Estudos demonstraram que um pH próximo de 3 é o pH ótimo para obter o maior rendimento na oxidação de Fenton (ARNOLD *et al.*, 1995), visto que esse é um dos parâmetros mais sensíveis do processo. Quando reduzida a concentração de íons H₃O₂⁺, por reação com H⁺ (MURUGANANDHAM, 2004), o pH é inferior a 3, em consequência, o peróxido de hidrogênio permanece estável devido à formação de íons H₃O₂⁺. Porém, com pH superior a 4, a diminuição da eficiência da reação, devido à decomposição preferencial do peróxido de hidrogênio em oxigênio e água, mas também à desativação do catalisador e à formação de complexos de ferro. Desta forma, ocorre uma redução na produção de radicais hidroxila (JIAN-HIU, 2006), que são os responsáveis pela reação de fenton. Visto que se trata de uma reação exotérmica, verifica-se que a velocidade da reação aumenta com o aumento da temperatura, no entanto, não é conveniente tratar o efluente em faixas de temperaturas acima de 50 a 60 °C, devido a ocorrência da decomposição do peróxido de hidrogênio em água e oxigênio (HERMOSILLA, 2012).

A proposta do presente estudo foi avaliar a degradação dos corantes azul turquesa e verde malaquita por meio de reação de Fenton, já que não existem estudos envolvendo estes corantes.

Diversas estações de tratamento de água brasileiras trabalham acima de sua capacidade ou produzem água com qualidade insatisfatória. Na procura de suprir a demanda sempre crescente de água, mantendo sua qualidade, defronta-se com a escassez de recursos. Por meio de tal constatação, faz-se necessário investigações de novas

tecnologias, as quais permitam estudar as inúmeras possibilidades de se obter água em quantidade mantendo a qualidade e custos baixos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tratamento de efluentes na presença de corantes é uma preocupação na indústria têxtil devido à problemática do descarte dos banhos de tingimento residuais em um corpo hídrico receptor que podem ser apontados como substâncias potencialmente tóxicas conforme Kao (2001). Uma forma de tratar estes resíduos é pela técnica dos Processos Oxidativos Avançados (POA's), que são processos com potencial de produzir radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), capazes de degradar a matéria orgânica.

De acordo com Padoley et al. (2011), vários métodos de processos de oxidação avançados estão sendo estudados e aplicados para produzir intermediários altamente reativos capazes de oxidar a carga poluente, dentre estes o processo de Fenton demonstra-se vantajoso notadamente pela facilidade operacional, custo de capital e operacional menores, além de não necessitar de irradiação, sem custo energético (Borba, 2011). Para que a reação ocorra de forma mais eficaz, observou-se através de estudos que há fatores condicionantes da eficiência do processo (Selcuk et al., 2005): dosagem de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), concentração de ferro (Fe^{2+}), pH e temperatura.

De acordo com os fatores que interferem na reação de Fenton, foi elaborado um planejamento fatorial 2^4 para testar e associar as variáveis (temperatura, pH, concentração de peróxido de hidrogênio e concentração de sulfato ferroso) na degradação dos corantes Azul turquesa e Verde malaquita. A Tabela 1 apresenta as variáveis de estudo do processo, sendo o efeito negativo a relação menos favorável a degradação do corante e o efeito positivo como a relação mais favorável. A relação ótima de sulfato ferroso e peróxido de hidrogênio é de 1:5 conforme mencionado na literatura (Gulkaya et al, 2006). A Tabela 2 apresenta o delineamento experimental em duplicata do estudo.

Tabela 1: Matriz do delineamento experimental utilizado.

PARÂMETRO	UNIDADE	EFEITO NEGATIVO	EFEITO POSITIVO
TEMPERATURA	°C	25	50
pH	-----	4,0	3,0
PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	mL	0,08	0,13
SULFATO FERROSO	g/L	0,053	0,089

Tabela 2: Planejamento fatorial para a reação de Fenton.

EXPERIMENTO	TEMPERATURA	pH	H_2O_2 (mL)	FeSO_4 (g/L)
1	25	3,0	0,13	0,089
2	25	3,0	0,13	0,053
3	25	4,0	0,13	0,089
4	25	4,0	0,13	0,053
5	25	3,0	0,08	0,053
6	25	4,0	0,08	0,053
7	25	4,0	0,08	0,089
8	25	3,0	0,08	0,089
9	50	3,0	0,13	0,089
10	50	3,0	0,13	0,053
11	50	4,0	0,13	0,089
12	50	4,0	0,13	0,053
13	50	3,0	0,08	0,053
14	50	4,0	0,08	0,053
15	50	4,0	0,08	0,089
16	50	3,0	0,08	0,089

A solução de corante utilizada neste trabalho foi composta por dois corantes distintos, o verde malaquita e o azul turquesa, na concentração de 0,2 g/L, separadamente, e na forma de blenda 50/50 para realização dos experimentos.

Após a formulação do efluente modelo, este foi utilizado como padrão de referência para realizar a análise via espectrofotometria de varredura no campo de luz invisível, de forma a determinar o valor de absorbância a ser utilizado para análise das amostras.

A reação de Fenton ocorre favoravelmente em meio ácido (Torrades, 2011), assim procedeu-se o ajuste do pH do efluente modelo com solução de ácido sulfúrico 1M demonstrado na Tabela 1. Na etapa seguinte, adicionou-se sob agitação constante sulfato ferroso (FeSO_4), catalisador da reação, conforme apresentado na Figura 1 A.

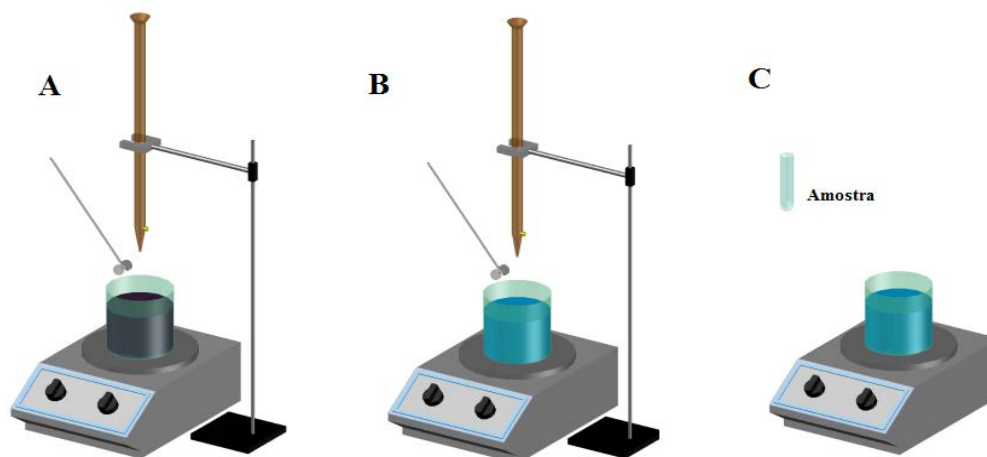


Figura 1: ilustração do processo da reação Fenton em reator batelada. Fonte própria.

Após o ajuste do pH e adição do FeSO_4 , adicionou-se o peróxido de hidrogênio como apresentados na Tabela 1 (Figura 1,B). Depois da adição do catalisador e do oxidante, a reação foi conduzida no intervalo de tempo de 120 min, conforme modelo proposto por Martins (2011). Foram retiradas amostras nos intervalos de tempos de 0, 15, 30, 60 e 120 min, para avaliação da reação de Fenton (Figura 1,C).

Na etapa seguinte, procedeu-se o ajuste do pH do efluente para 7,0 com solução de hidróxido de sódio 0,1 M. As amostras foram mantidas em repouso por 4 horas (Ponezi, 2000), e em seguida, foram analisadas quanto a valores de absorbância e de DQO.

Para a quantificação da eficiência dos tratamentos de redução de cor, costuma se utilizar a análise do espectro de absorção de luz visível da amostra pesquisada (Marmagne & Coste, 1996), portanto a medição foi feita em espectrofotômetro Shimadzu UV-160A com comprimento de onda de 335 nm.

A determinação da DQO foi realizada para as amostras que apresentaram um índice de redução de cor superior a 95%. Este teste foi realizado empregando o kit para DQO Hach 0-1500mg/L, para leitura colorimétrica no espectrofotômetro DR/ 4000U da marca Hach.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Utilizou-se nos experimentos os corantes verde malaquita ($\text{C}_{23}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}$) também chamado verde básico 4, um trifenilmetano amplamente utilizado nas indústrias, principalmente para tingir materiais como seda, couro e papel, sendo, atualmente, alvo de preocupações ambientais (DING *et al.*, 2012), pois quando em soluções aquosas, possuem propriedades que tornam a remoção difícil; quando os efluentes contendo o corante são descarregados nos fluxos de água, afetam os organismos aquáticos, provocando efeitos nocivos, principalmente no fígado, nas brânquias, nos rins, intestino e nas gônadas (KUMAR; SIVANESAN; RAMAMURTHI, 2005). Outro corante utilizado foi o corante azul turquesa ($\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{CuN}_8\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$), da família dos corantes azoicos, considerados os mais tóxicos para a biota aquática e, há descrições de efeitos carcinogênicos em humanos (BINUPRIYA *et al.*, 2008). As quebras das ligações destes corantes formam produtos carcinogênicos e por isso é preciso à remoção destes corantes para sua disposição nos corpos receptores.

A relação $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ é muito importante para a otimização da reação, sendo observado que o objetivo consiste em mensurar a concentração de catalisador necessária a ser adicionada para a máxima produção de radicais

hidroxil ($\bullet\text{OH}$). O processo Fenton pode apresentar diferentes funções de tratamento, dependendo da relação entre o peróxido de hidrogênio e sulfato de ferro (Neyens, 2003). Quando a relação de H_2O_2 excede a de Fe^{2+} , o tratamento tende a ter efeito oxidante (Idil, 2007). No sentido inverso, o tratamento assume caráter de coagulação química.

Conforme estudos realizados por Koprivanac et al. (2006), a relação ótima entre $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ é de 1:5, então empregou-se esta relação para a modelagem experimental. Porém, pode-se observar que esta relação tem um limite mínimo para a atuação oxidante em relação à massa dos reagentes. Os modelos experimentais 1 e 5 justificam a relação $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ de 1:5 pelos valores médios de absorvância que foram obtidos a temperatura de 25°C e pH 3,0.

A Tabela 3, a seguir, apresenta os valores médios da absorvância em função do tempo e temperatura de reação com a respectiva remoção de cor (%) conforme o delineamento experimental definido.

Tabela 3: Valores de absorvância (335 nm) para planejamento experimental.

EXPERIMENTO	Tempo (min)					Redução Cor (%) (120 min)
	0	15	30	60	120	
1	2,483	0,267	0,237	0,037	0,017	99,3
2	2,483	1,047	0,948	0,826	0,476	80,8
3	2,483	0,239	0,177	0,071	0,021	99,2
4	2,483	1,227	1,181	0,550	0,357	85,6
5	2,483	1,469	1,269	0,855	0,805	67,6
6	2,483	1,530	1,164	1,037	0,968	61,0
7	2,483	1,907	1,617	1,242	1,030	58,5
8	2,483	1,724	1,336	1,159	0,918	63,1
9	2,483	0,347	0,231	0,174	0,133	94,6
10	2,483	0,542	0,454	0,312	0,217	91,3
11	2,483	0,281	0,156	0,125	0,074	97,0
12	2,483	1,198	0,836	0,572	0,306	87,7
13	2,483	1,943	1,668	1,501	1,478	40,5
14	2,483	1,661	1,558	1,527	1,175	52,7
15	2,483	1,625	1,017	0,799	0,659	73,5
16	2,483	1,275	0,894	0,859	0,777	68,7

Assim, pode-se observar que para uma maior eficiência na redução de cor, deve-se optar por utilizar maior temperatura (50°C) e pH (4,0) para promover uma redução da cor, e também maior concentração de FeSO_4 e H_2O_2 para maximizar a remoção de cor ao longo dos 120min de reação de Fenton.

A partir dos dados de redução de cor obtidos, optou-se por fazer análise de DQO apenas com os experimentos onde a redução de cor foi igual ou superior a 95%. Os experimentos 1, 3, 9 e 11 apresentam uma relação de $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ de 1:5 com valores de 0,13 ml de peróxido de hidrogênio e 0,089 g de sulfato de ferro, conduzindo a uma redução de 85 a 95% da remoção de cor após 120 minutos de reação.

Os experimentos que apresentaram valores maiores de redução de cor (99%) foram os ensaios 1 e 3, conduzidos a 25°C com pH de 3,0 e 4,0, respectivamente. Para a redução de DQO, os experimentos com maiores valores de redução foram os ensaios 9 e 11 (93% e 95%, respectivamente), conduzidos em pH 3,0 e 4,0, respectivamente, com temperatura de 50°C .

Desta forma, sugere-se para o tratamento de efluentes têxteis a partir do processo Fenton, uma relação 1:5 de $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$, ou seja 0,089g e 0,13mL em pH 4,0 e temperatura de 50°C para 300mL de efluente modelo utilizado neste trabalho, como aquela que fornece a melhor eficiência em remoção de cor e DQO.

Observou-se que a partir da relação empregada de 1:5 $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$, tem um limite mínimo para a atuação oxidante em relação a massa de FeSO_4 e H_2O_2 , sendo estes de 0,089 g de sulfato de ferro e 0,13 mL de peróxido de hidrogênio, onde obteve-se, aproximadamente, 90,4% de redução de cor em apenas 15 minutos.

Portanto, sugere-se para tratamento de efluentes têxteis com o processo de Fenton, uma relação 1:5 de $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ em pH 4,0 e temperatura de 50°C .

Os resultados da determinação da DQO realizados nas amostras com redução de cor superior a 95% por meio do kit Hach 0-1500mg/L estão expressos na tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Relação de pH, temperatura, remoção de cor e DQO para amostras com remoção de cor superior a 95%.

pH	Temperatura °C	Porcentagem de remoção de cor %	Porcentagem de remoção de DQO %
3,0	25°C	99,3%	85,7%
3,0	50°C	94,6%	92,8%
4,0	25°C	99,2%	87,5%
4	50°C	97,0%	95,4%

Conforme os resultados apresentados, a temperatura é um fator de influência mais significativa na remoção de DQO, comparativamente a temperaturas mais baixas a remoção de cor ocorre em índices mais elevados. Nesta análise, conclui-se que para uma remoção satisfatória de cor e DQO por meio da reação Fenton, diversos fatores devem ser considerados para obter-se uma maior eficiência na remoção de cor do processo em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARNOLD, S.M.; HICKEY, W.J.; HARRIS R.F. Degradation of atrazine by fentons reagent - condition optimization and product quantification. **Environmental Science & Technology**. v.29. p.2083-2089. 1995
2. BINUPRIYA AR, SATHISHKUMAR M, SWAMINATHAN K, KU CS, YUN SE. Comparative studies on removal of Congo red by native and modified mycelial pellets of *Trametes versicolor* in various reactor modes. **Bioresour Technol.** v. 99. p. 8-1080. 2008.
3. BORBA, F. H. Aplicação dos processos foto-Fenton e eletrofloculação no tratamento de efluente de curtume. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010.
4. DING, F. et al. Potential toxicity and affinity of triphenylmethane dye malachite green to lysozyme. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York. v. 78, p 41-49. 2012.
5. GIRARDI, F., Simionatto, E. L. . ESTUDO DA APLICAÇÃO DA REAÇÃO DE FENTON NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL. In: **II Fórum Anual de Iniciação Científica**. Blumenau, 2003.
6. GULKAYA, I; SURUCU, G. A.; DILEK, F. B. Importance of H_2O_2/Fe^{2+} ratio in Fenton's treatment of a carpet dyeing wastewater. *Journal of Harzadous Materials*. v. 136. p. 763-769, 2006
7. KAO, C. M.; CHOU, M.; FANG, W. L.; HUANG, B. Regulating colored textile wastewaters by 3/31 wavelength ADMI methodsin Taiwan. *Chemosphere*. Vol. 44. p. 1055-1063, 2001.
8. HERMOSILLA, D.; MERAYO, N.; ORDÓÑEZ, R. e BLANCO, A. Optimization of conventional Fenton and ultraviolet-assisted oxidation processes for the treatment of reverse osmosis retentate from a paper mill. **Waste Management**. v. 32. p. 1236-1243. 2012.
9. IDIL A.; TEKSOY S. Acid dyebath effluent pretreatment using Fenton's reagent: Process optimization, reaction kinetics and effect on acute toxicity. *Dyes and Pigments*. v. 73, p. 31-39, 2007.
10. JIAN-HIU, S.; SHENG-PENG, S.; GUO-LIANG, W. e QIAO, L. P. Degradation of azo dye Amido Black 10B in aqueous solution by Fenton oxidation process. **Dyes and Pigments**. v. 74. p. 647-652, 2006.
11. KAO, C. M.; CHOU, M.; FANG, W.L.; HUANG, B. Regulating colored textile wastewaters by 3/31 wavelength ADMI methodsin Taiwan. *Chemosphere*. V.44. p. 1055-1063, 2001.
12. KOPRIVANAC, N.; HRYOJE K.; BOZIC A. L. Fenton type processes for minimization of organic content in coloured wastewaters: Part I: Processes optimization. *Dyes and Pigments*. v. 74. p. 380-387, 2006.
13. KUMAR, K. V.; SIVANESAN, S.; RAMAMURTHI, V. Adsorption of malachite green onto *Pithophora* sp.: a fresh water algae: equilibrium and kinetic modeling. **Process Biochemistry**. London. v. 40. p. 2865-2872. 2005.
14. LEDAKOWICZ, S.; SOLECKA, M.; ZYLLA, R. Biodegradation, decolourisation and detoxication of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. **Journal of Biotechnology**. v.89. p. 175-184. 2001.
15. MARMAGNE, O.; COSTE, C. Color Removal from textile plant effluents. *American Dyestuff Reporter*. v. 85. p. 15-21, 1996.

15. MURUGANANDHAM, M. Decolourisation of reactive Orange 4 by Fenton and photo- Fenton oxidation technology. **Dyes and Pigments**. v. 63. p. 315. 2004.
16. NEAMTU M.; YEDILER A.; SIMINICEAU I. KETTRUP A. Oxidation of commercial reactive azo dye aqueous solutions by the photo-Fenton and Fenton-like processes. **Journal of Photochemistry and Photobiology Chemistry**. v. 161. p. 87-93. 2003.
17. NEYENS, E.; BAEYENS, J. A Review of Classic Fenton's Peroxidation as an Advanced Oxidation Technique. *Journal of Hazardous Materials*. p.33-50, 2003.
18. PADOLEY, K. V.; MUDLIAR, S. N.; BANERJEE, S. K.; DESHMUKH, S. C. e PANDEY, R. A. Fenton oxidation: a pretreatment option for improved biological treatment of pyridine and 3-cyanopyridine plant wastewater. **Chemical Engineering Journal**. v. 166. p. 1–9. 2011.
19. RENDÓN, T. Optimización de tecnologías fotocatalíticas de oxidación avanzada aplicada al tratamiento de residuos líquidos de laboratorio. **Departamento de Química, Universidad de la Palma de Gran Canaria**. p. 329. 2000.
20. ROJAS, J. A. e GARCÉS G. L. F. Tecnologías Ambientalmente Sostenibles. **Revista de Producción Más Limpia**. v. 1. p. 78-86. 2006
21. SELCUK, H. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. *Dyes and Pigments*, v.64, p.217-222, 2005.
22. SOTTORIVA, S. Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados. 114f. **Dissertação (Mestrado em Química), Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba**, 2002.
23. TORRADES, F.; SÁIZ, S. e GARCIA, J. Using central composite experimental design to optimize the degradation of black liquor by Fenton reagent. *Desalination*. v. 268, p. 97–102, 2011.