

PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS E FÍSICO-QUÍMICOS APLICADOS NA REMEDIAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Marcos Roberto Teixeira Halasz¹, José Carlos Tosato Jr.²

1. Professor Doutor do MPTA – Faculdade de Aracruz (halasz@fsjb.edu.br)
2. Mestre em Tecnologia Ambiental da Faculdade de Aracruz- ES. Brasil.

Recebido em: 04/05/2012 – Aprovado em: 15/06/2012 – Publicado em: 30/06/2012

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar os desempenhos de três técnicas de tratamento de efluentes têxteis, especificamente a coagulação/sedimentação, a ozonização e o fenton, aplicados isoladamente, bem como, a aplicação dos processos oxidativos após o tratamento físico-químico. Os resultados obtidos revelaram que todas as propostas de tratamento alcançaram os padrões para lançamento no corpo receptor, sendo que, as reduções máximas foram alcançadas após o tratamento com coagulação/sedimentação seguido de ozonização, são elas: 94,39% para sólidos sedimentáveis, 93,5% para sólidos totais dissolvidos, 97,5% para sólidos suspensos, 78,1% para DQO, 67,5% para DBO, 98,3% para turbidez e 96,6% para cor aparente.

PALAVRAS CHAVE: efluentes têxteis, ozonização, fenton, coagulação.

ADVANCED OXIDATION AND PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES USED IN THE REMEDIATION OF TEXTILE EFFLUENTS.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of three techniques for the treatment of textile effluents, specifically the coagulation / sedimentation, ozonation and Fenton applied alone, and the application of oxidative processes after the physical and chemical treatment. The results show that all forms of treatment achieved the standards for release in the receptor, whereas, maximum reductions were achieved after treatment with coagulation/sedimentation followed by ozonation, they are: 94.39% for settleable solids, 93.5% for total dissolved solids, 97.5% for total suspended solids to, 78.1% for COD, 67.5% for BOD, 98.3% to 96.6% for turbidity and apparent color.

KEYWORDS: textile wastewater, ozonation, fenton, coagulation.

INTRODUÇÃO

De acordo com COLLINS *et al.*, (1989), a indústria têxtil apresenta como característica visível à produção de poluentes nos três estados físicos da matéria, no entanto, o efluente líquido gerado por esse ramo industrial, em virtude do grande volume, requer maior atenção, por apresentar grande potencial de danos ao meio ambiente.¹ Além disso, o efluente desta indústrias deve ser analisado de forma especial em decorrência da grande variedade de corantes utilizados.

Observa-se que as elevadas concentrações de DQO (Demanda Química de Oxigênio) nos efluentes líquidos das indústrias têxteis, são decorrentes de uma grande carga de compostos orgânicos presentes nesse tipo de efluente (SIQUARA, 1994). E é neste sentido que O'NEILL *et al.*, (1999) apresenta que aproximadamente 50% dos corantes utilizados no setor têxtil, acabam sendo descartados junto com o efluente, contribuindo significativamente para o aumento da cor e da concentração da DQO, bem como, para a apresentação de baixas concentrações de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio). A relação DBO/DQO dos efluentes das indústrias têxteis geralmente está entre 0,2 e 0,5, com DBO próxima a 700 mg/litro (WORLD BANK GROUP, 1998).

Outra observação importante é sobre a presença de altas concentrações de sólidos em suspensão, o que provoca um considerável aumento da turbidez do efluente. Assim, devem ser aplicados métodos e técnicas mais eficientes no tratamento desse efluente, para que sejam alcançados os padrões mínimos de descarte. Desta forma a ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE LAVANDERIA (1996), considera que todo efluente líquido gerado por uma lavanderia ou indústria têxtil, antes de ter iniciada sua destinação final, deverá ser submetido aos processos de tratamento que lhes melhor se aplique, para que sejam alcançados os padrões mínimos de descarte, segundo os órgãos ambientais de cada estado.

Os tratamentos físico-químicos como a coagulação, sedimentação e filtração, seguidos de outros processos como o biológico ou o carvão ativado estão entre os mais utilizados pelas indústrias têxteis, mas SALGADO (2009) aponta alternativas, tais como a ozonização e o processo de Fenton.

A ozonização atualmente é considerada um dos mais promissores processos de oxidação, com o qual, pode-se controlar os níveis de poluentes orgânicos em águas residuárias de lavanderia têxteis. Foi constatado que a reação entre os poluentes da água e o ozônio ocorre tanto por oxidação direta ($\text{pH} < 6$) ou por uma via indireta ($\text{pH} > 6$), em que os radicais oxigênio (O^\bullet), resultantes da decomposição do ozônio, servem como agentes oxidantes (HOIGNE, 1998). A ozonização também pode ser utilizada para a remoção de substâncias inorgânicas, como adjuvante para os processos de coagulação e floculação.

Quanto a remoção da cor de efluentes têxteis através da ozonização, TURHAN *et al.* (2009), observaram a descoloração do corante por borbulhamento de ozônio. É possível observar em alguns trabalhos que diversos problemas envolvem as estações de tratamento de efluentes têxteis, especialmente o baixo nível de eficiência de remoção da cor (SENS *et al.*, 2002). Foram investigados os tratamentos desses efluentes por meio da ozonização e da coagulação. Foi verificada a dosagem mínima de ozônio que fosse efetiva para o tratamento, e ensaios de coagulação e floculação determinaram a dosagem ótima de sulfato de alumínio, de cal e de polímero, para avaliar a remoção de cor e turbidez.

Outra alternativa simples e eficiente para o tratamento de efluentes têxteis é apresentado por LIN *et al.*, (1999) como o processo de Fenton. Este método

emprega o íon ferroso e peróxido de hidrogênio em condições ácidas, onde Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} e um forte agente oxidante, o radical hidroxila (OH^\bullet), é formado. Os íons férricos também são excelentes agentes coagulantes, portanto, o processo de fenton pode exercer dupla função, de oxidação e de coagulação no processo de tratamento.

Com relação a eficiência do processo fenton na degradação de compostos orgânicos do efluente gerado por uma lavanderia, é possível encontrar trabalhos que investigam a influência do Fe^{2+} em relação ao peróxido de hidrogênio, a dose de peróxido de hidrogênio, o pH e o tempo de tratamento (VILVE *et al.*, 2009). Em outros casos como mostra PÉRES *et al.*, (2002), é possível encontrar informações sobre a utilização simultânea do fenton e irradiação, para o tratamento de efluentes têxteis, gerados durante um processo de branqueamento utilizando peróxido de hidrogênio.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As coletas das amostras deste estudo seguiram as recomendações do Standard Methods (2005) e ABNT/NBR 9898 de junho de 1987, e os procedimentos apresentados foram executados em triplicata e a temperatura ambiente.

Coleta da amostra

A primeira etapa do estudo foi a coleta do efluente, o qual teve que ser padronizado, para que triplicatas pudessem ser realizadas nas mesmas condições experimentais. Para isso, foi escolhido como fonte do efluente, o processo de lavação SUPER STONE SALSA RI-19.

Os componentes do processo de lavação supracitado foram: 20 quilogramas de jeans; 200 litros de desengomante GB número 7; 20 gramas de Faip Extra AM 500 0,10%; 240 gramas de Texgal AMG 0,6 gramas/litro; 120 gramas de ácido acético 0,6%; 40 gramas de enzima ácida a 0,2% e 500 litros de água.

Caracterização físico-química

O volume das amostras coletadas para caracterização físico-química foi de 1 litro. O Quadro 1 apresenta os parâmetros e os métodos utilizados na caracterização das amostras.

QUADRO 1-Parâmetros e métodos utilizados na caracterização das amostras.

Ensaio	Método
Cor aparente	SM 2120 A/B
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	SM 5210 B
Demanda química de oxigênio (DQO)	SM 5220 D
pH	SM 4500 H + B
Sólidos sedimentáveis	SM 2540 F
Sólidos suspensos totais	SM 2540 D
Sólidos totais dissolvidos	SM 2540 C
Turbidez	SM 2130 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 st. Ed., 2005.

A partir da caracterização de cada amostra, antes e após os respectivos tratamentos, os parâmetros foram verificados e comparados para a determinação da eficiência de cada processo de tratamento proposto neste trabalho.

Tratamento do efluente

O tratamento do efluente líquido da empresa, até então, é baseado em etapas de coagulação e sedimentação. O lodo gerado é seco à sombra e tem como disposição final o aterro sanitário da cidade. O efluente bruto, gerado na etapa de descarte, foi submetido a cinco alternativas diferentes de tratamento:

1- Efluente bruto tratado por coagulação e sedimentação com o sulfato de alumínio como agente coagulante;

2- Efluente bruto tratado por coagulação e sedimentação com o sulfato de alumínio adicionado de polímero catiônico como agentes coagulantes;

3- Efluente bruto tratado por coagulação e sedimentação com o sulfato de alumínio como agente coagulante, seguido do tratamento com processos oxidativos avançados (fenton e ozonização);

4- Efluente bruto tratado por coagulação e sedimentação com o sulfato de alumínio e polímero catiônico como agentes coagulantes, seguido do tratamento com processos oxidativos avançados (fenton e ozonização);

5- Efluente bruto tratado com processos oxidativos avançados (fenton e ozonização).

Após os tratamentos propostos, os efluentes tratados foram caracterizados seguindo os mesmos critérios citados anteriormente, afim de, proporcionar a verificação das eficiências individuais de cada proposta de tratamento, bem como compará-las.

Determinação da concentração ótima do coagulante

A intensa coloração do efluente têxtil dificultou a realização dos ensaios da determinação da concentração ótima dos agentes coagulantes durante a execução dos testes de Jarro.

O procedimento adotado para sanar essa dificuldade foi clarificar o efluente. Para isso, o efluente foi acidificado até pH 1,5. Após a acidificação foi adicionado hipoclorito de sódio 2% ao efluente. O volume de efluente contido em cada cuba amostral foi de 1 litro. Antes de ser utilizado para a determinação das concentrações dos agentes coagulantes, o efluente clarificado foi alcalinizado com NaOH 10% corrigido o pH para 6,5.

Os primeiros testes utilizaram o sulfato de alumínio 20% e cada um dos ensaios foi realizado com um litro do efluente. As diferentes concentrações do agente coagulante foram: 0,01%; 0,02%; 0,04%; 0,06%; 0,08% e 0,1%.

A etapa de coagulação teve a duração de dez minutos, sendo dois minutos sob agitação de 120 rpm e oito minutos sob agitação de 10 rpm. Logo após foi realizada a etapa de sedimentação, onde o conteúdo de cada cuba permaneceu em repouso pelo período de uma hora.

A determinação da concentração ótima do agente coagulante foi realizada pela verificação dos padrões de formação dos flocos e por avaliação dos resultados dos testes de turbidez de cada cuba amostral.

Com relação ao teste com polímero catiônico, foram realizados ensaios com o sulfato de alumínio 0,04% e polímero catiônico PRAESTOL 2640 Z.

Foram avaliadas as seguintes concentrações do polímero: 0 (branco, apenas com sulfato de alumínio a 0,04%); 0,06 ppm; 0,05 ppm; 0,04 ppm; 0,035 ppm; 0,03 ppm; 0,025 ppm; 0,02 ppm; 0,015 ppm; 0,01 ppm e 0,005 ppm.

Utilizou-se a mesma estratégia para determinação do tempo do teste e avaliação do resultado.

Tratamento com ozonização

Foi determinado que o pH das amostras submetidas a ozonização seria 6,5, reproduzindo a condição do teste de jarro, para isso, as amostras foram alcalinizadas com hidróxido de sódio (NaOH) 10%. Foram investigados quatro tempos de reação: 15, 30, 45 e 60 minutos.

Um litro do efluente foi disposto em um erlenmeyer de quatro litros que foi colocado sobre um agitador magnético e uma mangueira injetora de ozônio foi introduzida no erlenmeyer. A vazão de ozônio produzida pelo gerador e introduzida no erlenmeyer foi de 200 mg/s.

As amostras submetidas a ozonização foram: o efluentes bruto sem pré-tratamento, o efluentes tratado por coagulação e sedimentação, com sulfato de alumínio 0,04% e o efluentes tratados por coagulação e sedimentação, com sulfato de alumínio 0,04% e polímero catiônico 0,02 ppm.

Tratamento com fenton

Antes de iniciar as reações de fenton, o efluente bruto teve seu pH corrigido para 5 com adição de hidróxido de sódio (NaOH) 10%. Foram investigados quatro tempos de reação: 15, 30, 45 e 60 minutos.

Um litro do efluente foi disposto em um erlenmeyer de quatro litros sendo colocado sobre um agitador magnético e sendo adicionados 0,31 gramas de sulfato ferroso e 930 µl de peróxido de hidrogênio.

As amostras submetidas à reação de fenton foram: efluentes brutos sem pré-tratamento, efluentes tratados por coagulação e sedimentação, com sulfato de alumínio 0,04% e efluentes tratados por coagulação e sedimentação, com sulfato de alumínio 0,04% e polímero catiônico 0,02 ppm.

RESULTADOS

O resultado da caracterização do efluente têxtil padrão, oriundo do processo de lavação SUPER STONE SALSA RI-19 está apresentado na Tabela 1 onde também é possível observar os limites aceitáveis dentro da legislação pertinente. É possível observar que todos os parâmetros estão fora destes limites, com destaque para a cor aparente.

TABELA 1 – Caracterização físico-química do efluente têxtil.

ENSAIO	Amostra	Limite detecção	Dev. Padrão	Limite Aceitável
pH	4,4	1 - 14	0,025	6 A 9 ***
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mg/L)	32,8	1	0,35	1 ***
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)	1783,9	1	4,25	500 *
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	410,8	1	2,24	155 **
DQO (mg/L O ₂)	395,6	15	2,79	360 **
DBO (mg/L O ₂)	106,3	2	1,3	150 **
TURBIDEZ (NTU)	49,2	0,058	2,16	100 *
COR APARENTE (mg/L Pt-Co)	2754	0,05	7,246	75 *

* COMPAM nº10 de 1986; ** CONSEMA 128/2006; *** COM PAM nº10 de 1986 e CONSEMA 128/2006.

Os resultados utilizando somente o sulfato de alumínio (20%) em diversas dosagens encontram-se na Tabela. 2. A concentração de sulfato de alumínio definida como ideal foi de 0,04%. Verifica-se também que a concentração de 0,02 ppm de polímero catiônico foi junto com o sulfato de alumínio 0,04%, a concentração para coagulação ideal do efluente estudado.

TABELA 2 – Determinação da concentração ótima de sulfato de alumínio com e sem polímero catiônico.

SULFATO DE ALUMÍNIO (%)	POLÍMERO CATIÔNICO (ppm)	TURBIDEZ (NTU)
0,10	0	20,8
0,08	0	21,2
0,06	0	21,2
0,04	0	21,3
0,02	0	39,9
0,01	0	44,6
0,04	0,06	12,9
0,04	0,04	13,0
0,04	0,03	13,1
0,04	0,02	13,2
0,04	0,01	20,8
0,04	0,005	21,0

Efluente tratado somente com coagulação/sedimentação

O efluente têxtil, tratado por coagulação/sedimentação, utilizando apenas o sulfato de alumínio 0,04% como agente coagulante apresentou os seguintes resultados (Tabela 3). É possível observar que tanto os sólidos sedimentáveis quanto os dissolvidos continuam acima do limite permitido, mas o valor mais crítico é a cor aparente.

TABELA 3 – Tratamento somente com coagulação/sedimentação (Al₂(SO₄)₃ 0,04%).

ENSAIO	Amostra	Limite detecção	Desv. Padrão	Limite Aceitável
pH	5,13	1 - 14	0,046	6 A 9 ***
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mg/L)	4,3	1	0,208	1 ***
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)	682,1	1	3,885	500 *
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	42,7	1	1,769	155 **
DQO (mg/LO ₂)	122,8	15	1,735	360 **
DBO (mg/LO ₂)	45,1	2	0,436	150 **
TURBIDEZ (NTU)	2,04	0,058	0,015	100 *
COR APARENTE (mg/L Pt-Co)	870,8	0,05	2,193	75 *

* COMPAM nº10 de 1986; ** CONSEMA 128/2006; *** COM PAM nº10 de 1986 e CONSEMA 128/2006.

O efluente têxtil, tratado por coagulação/sedimentação, utilizando o sulfato de alumínio 0,04% e o polímero catiônico 0,02 ppm como agentes coagulantes apresentou os seguintes resultados (Tabela 4). Os resultados mostram que a adição

do polímero, como é atualmente realizada na empresa estudada, não reflete em resultados significativamente positivos.

TABELA 4 – Tratamento somente com coagulação/sedimentação ($Al_2(SO_4)_3$ 0,04%) com adição de e polímero catiônico 0,02 ppm.

ENSAIO	Amostra	Limite detecção	Desv. Padrão	Limite Aceitável
pH	5,1	1 - 14	0,032	6 A 9 ***
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mg/L)	3,8	1	0,058	1 ***
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)	679	1	3,885	500 *
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	34,3	1	0,964	155 **
DQO (mg/L O ₂)	124,8	15	1,212	360 **
DBO (mg/L O ₂)	44,1	2	0,462	150 **
TURBIDEZ (NTU)	2,06	0,058	0,04	100 *
COR APARENTE (mg/L Pt-Co)	870,1	0,05	3,005	75 *

* COMPAM nº10 de 1986; ** CONSEMA 128/2006; *** COM PAM nº10 de 1986 e CONSEMA 128/2006.

Efluente tratado com coagulação/sedimentação acrescidos de ozonização

Tanto o efluente bruto como o efluente previamente tratado por coagulação seguido de sedimentação foram submetido a ozonização por diversos períodos de tempo. Os resultados podem ser observados na Tabela 6, onde fica claro que após 30 minutos de ozonização, é possível atingir valores de parâmetros que permitem o lançamento no corpo receptor, com exceção dos sólidos sedimentáveis e da cor aparente.

TABELA 5 - Efluente tratado com coagulação/sedimentação acrescidos de ozonização

ENSAIO	ozonização				Limite Aceitável
	15 min	30 min	45 min	60 min	
pH	5,07	5,09	5,09	5,1	6 A 9 ***
SÓLIDOS SEDIMENT. (mg/L)	2,8	2,6	2,01	1,84	1 ***
SÓLIDOS TOTAIS DISS. (mg/L)	544,3	297,9	141,2	116,2	500 *
SÓLIDOS SUSP. TOTAIS (mg/L)	31,6	27	15,7	10,2	155 **
DQO (mg/L O ₂)	120,7	102,7	91,4	86,7	360 **
DBO (mg/L O ₂)	38,5	40,4	42,9	36	150 **
TURBIDEZ (NTU)	1,46	1,28	1,1	0,85	100 *
COR APARENTE (mg/L Pt-Co)	482,4	184	121	92,5	75 *

* COMPAM nº10 de 1986; ** CONSEMA 128/2006; *** COM PAM nº10 de 1986 e CONSEMA 128/2006.

Efluente tratado com coagulação/sedimentação acrescidos do fenton

Tanto o efluente bruto como o efluente previamente tratado por coagulação seguido de sedimentação foram submetido ao tratamento com fenton por diversos períodos de tempo. Os resultados podem ser observados na Tabela 6, onde fica claro que para alcançar o valor que permite o lançamento para o parâmetro sólidos totais dissolvidos, quando pré-tratado com coagulação e sedimentação o tempo é de 30 minutos. Os parâmetros cor aparente e sólidos sedimentáveis apresentaram, após o tratamento com fenton, valores acima do aceitável para lançamento. Ficou

evidente que o efluente bruto tratado diretamente com o fenton requer um maior tempo de reação para alcançar os valores aceitáveis para lançamento do efluente.

TABELA 6 - Efluente tratado com coagulação/sedimentação acrescidos do fenton

ENSAIO	fenton				Limite Aceitável
	15 min	30 min	45 min	60 min	
pH	5,07	5,09	5,05	5,06	6 A 9***
SÓLIDOS SEDIMENT. (mg/L)	3,9	3,2	2,7	2,9	1***
SÓLIDOS TOTAIS DISS. (mg/L)	597,8	332,7	147	192	500*
SÓLIDOS SUSP. TOTAIS (mg/L)	38,4	30,8	24,4	30,2	155**
DQO (mg/L O ₂)	108,8	99,2	108,4	107,3	360**
DBO (mg/L O ₂)	40,9	40,8	41,5	47	150**
TURBIDEZ (NTU)	1,8	1,52	1,53	2	100*
COR APARENTE (mg/L Pt-Co)	616	244,4	118,4	189,7	75*

* COMPAM nº10 de 1986; ** CONSEMA 128/2006; *** COM PAM nº10 de 1986 e CONSEMA 128/2006.

CONCLUSÕES

Não foram verificadas variações significativas entre os resultados alcançados com a ozonização ou fenton. Contudo, os melhores resultados de remoção foram alcançados após o tratamento por coagulação e sedimentação seguido de ozonização, caracterizando-se como a melhor alternativa de tratamento para o efluente têxtil apresentado por este estudo.

Após o tratamento com coagulação e sedimentação, os percentuais médios de remoção foram de 87% para sólidos sedimentáveis, 62% para sólidos totais dissolvidos, 90% para sólidos sedimentáveis, 69% para DQO, 58% para DBO, 96% para turbidez e 68% para cor aparente.

Após o tratamento com coagulação e sedimentação seguido de ozonização, os percentuais médios de remoção foram de 94% para sólidos sedimentáveis, 93% para sólidos totais dissolvidos, 96% para sólidos sedimentáveis, 78% para DQO, 67% para DBO, 97% para turbidez e 96% para cor aparente. Após o tratamento com coagulação e sedimentação seguido de fenton, os percentuais médios de remoção foram de 91% para sólidos sedimentáveis, 91% para sólidos totais dissolvidos, 93% para sólidos sedimentáveis, 75% para DQO, 60% para DBO, 97% para turbidez e 95% para cor aparente.

Não foram verificadas variações significativas entre os resultados alcançados com a ozonização ou fenton diretamente sem o pré-tratamento. Contudo, os melhores resultados de remoção foram alcançados após o tratamento por coagulação e sedimentação seguido de ozonização, caracterizando-se como a melhor alternativa de tratamento para o efluente têxtil apresentado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE LAVANDERIA. **Guia de Recomendações e Procedimentos para Lavanderias Hospitalares: Externa e Interna**. São Paulo. 1996, 42p.

COLLINS, A. G.; GRASSO, D.; FARVARDIN, M. R. **Proceedings of Ninth Ozone World Congress**, 1989, New York, USA. 1989.

HOIGNE, J., **Process Technologies for Water Treatment**, Plenum Publishing Corporation, New York, 1998. pp. 121–143, 1998.

LIN, S. H., LIN, C. M., LEU, H. G., **Water Res.** 1999, 33p.

O'NEILL, C., HAWKES, F.R., HAWKES, D.L., LOURENÇO, N.D., PINHEIRO, H.M., DELEE, W., **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 1999, v. 74, p. 1009-1018, 1999.

PÉREZ, M., TORRADES, F., DOMÈNECH, X., PERAL, J., **Water Research.** 36: 2703-2710, 2002.

SALGADO, B. C. B., **Eng. Sanit. Ambient.** v.14, n.1, p. 1-8, 2009.

SENS, M. L., HASSEMER, M. E. N., **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.7, n.1 e n.2, p. 30-36.2002.

SIQUARA, L. O., **Revista Têxtil**, São Paulo. p.44-46, 1994.

TURHAN, K., TURGUT, Z., **Desalination.**, 242: 256-263, 2009.

VILVE, M., HIRVONEN, A., SILLANPAA, M. **Journal Hazardous Materials.** 164: 1468 -1473. 2009.

WORLD BANK GROUP, **Pollution Prevention and Abatement Handbook.** 1998. p. 408-412.1998.