



AValiação DO PROCESSO FENTON SOLAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTE GERADO POR LAVANDERIA DE JEANS DE PERNAMBUCO

V. L. Santos¹, P. T. S. SILVA², R. F. SILVA³, E. C. Albuquerque¹

¹ Instituto de Tecnologia de Pernambuco (Mestrado em Tecnologia Ambiental)

² Empresa Brasileira de Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária Trópico Semiárido

³ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Química

E-mail para contato: Paula.silva@cpatsa.embrapa.br

RESUMO – O agreste de Pernambuco é responsável pelo polo de confecções do estado de Pernambuco, destacando as cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe. Essa região contribui com 20% da produção nacional de peças em jeans. Em consequência dessa produção, surgem os poluentes hídricos provenientes principalmente da etapa de tingimento das peças de jeans. Dentre eles merecem destaque os corantes, surfactantes, metais e aditivos que contribuem para uma coloração acentuada do efluente, elevados níveis de DBO, DQO e teores de metais pesados. Algumas lavanderias já vêm tratando seus efluentes por tratamento físico-químico para não poluir os rios, pois em meados de 2000, os rios eram conhecidos pela população por “Rio azul”. Esse processo apresenta uma boa redução da matéria carbonácea, mas tem como desvantagem a alta produção do lodo. Esse lodo apresenta um alto teor de corante adsorvido, impossibilitando de ser utilizado e seu único destino é aterro sanitário ou incineração. Diante do problema citado, este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho do processo fenton solar no tratamento de efluentes têxteis coletados de lavanderia localizada no polo de confecções de Caruaru, Pernambuco. Os experimentos foram realizados em escala laboratorial e os parâmetros estudados foram: pH reacional, concentração de peróxido de hidrogênio e Fe^{2+} e tempo reacional. Esses foram otimizados baseados nos valores da concentração de Carbono orgânico total (COT, mg/L), turbidez (FAU) e cor aparente (Pt-Co), a partir de um planejamento fatorial 2^4 com ponto central. As melhores eficiências encontradas pelo processo Fenton Solar foram: 69,8% de COT, 99,3% Cor e 93,2% Turbidez. A utilização do processo Fenton Solar, mostrou ser uma alternativa eficiente para o tratamento de efluente de lavanderia, embora outras condições devam ser estudadas .

1. INTRODUÇÃO

Influenciadas pelo processo de industrialização, as cidades foram crescendo ao redor das indústrias e como consequência problemas ambientais surgiram oriundos dos rejeitos provenientes de seus processos industriais. No segmento têxtil, a problemática ambiental é decorrente da grande quantidade de despejo altamente poluidor, de elevada carga orgânica,

cor acentuada, oriunda dos corantes têxteis, e compostos químicos tóxicos (JONSTRUP *et al.*, 2011).

O setor têxtil de Pernambuco é considerado hoje bastante forte. A concentração das empresas do setor de confecções encontra-se principalmente no agreste do estado, mais precisamente nos municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim e Toritama, onde se concentra a maioria das empresas do setor. Existem cerca de 18.000, capazes de produzir aproximadamente 800 milhões de peças por ano (SOTERO, 2010). Apesar do desenvolvimento dessas lavanderias, vem existindo nessa região problemas ambientais relacionados ao lançamento de efluentes, principalmente no corpo hídrico desses municípios, que vem acarretando problema de qualidade de água para o abastecimento.

No ano de 2000, houve uma denúncia por parte da população em relação à poluição hídrica do rio Capibaribe no pólo têxtil de Toritama-PE, a água do rio estava colorida. Diante desse grave cenário ambiental, o Órgão Ambiental (CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos Estado de Pernambuco) juntamente com o Ministério Público Estadual decidiram intervir no processo. Foi iniciada uma campanha de regularização, visando o ajustamento das empresas, tendo como premissa à elaboração de um diagnóstico ambiental, visando caracterizar a situação das empresas e avaliar os impactos ambientais ocasionados pela poluição nos rios. Com esse diagnóstico, o CPRH e o ministério público impuseram a implantação de um sistema de tratamento dos efluentes líquidos gerados por essas empresas. Algumas lavanderias já vêm adotando o tratamento físico-químico: de coagulação, floculação, eletrocoagulação e decantação, o qual apresenta uma remoção de 80% da carga dos corantes, tendo como principal desvantagem a alta produção do lodo, tornando-o um processo impróprio, apesar do baixo custo e eficiência (ARAÚJO *et al.*; 2006).

Assim, diante do problema enfrentado pelas lavanderias de jeans do agreste Pernambucano, este trabalho avaliou a eficiência do emprego do processo Fenton Solar no tratamento do efluente gerado por uma lavanderia, uma vez que, os Processos Oxidativos Avançados (POA), destacam-se por serem efetivamente utilizados na mineralização de componentes tóxicos e danosos de misturas complexas como efluentes industriais, uma vez que destroem as moléculas orgânicas poluentes, em vez de simplesmente removê-las para outra fase (SALGADO *et al.*, 2009).

2. METODOLOGIA

2.1. Amostra de efluente têxtil

Os efluentes têxteis reais utilizados neste estudo foram fornecidos por uma lavanderia de jeans, considerada de médio/grande porte, localizada no polo de confecções do município de Caruaru (08°17'00"S e 35°58'34"W), Pernambuco, onde suas principais atividades são o tingimento e a descoloração de jeans. Para manter a confidencialidade da origem dessa lavanderia, a mesma recebeu denominação de lavanderia.

O delineamento experimental utilizado foi um Planejamento Fatorial 2⁴ completo com triplicata no ponto central, o objetivo é encontrar uma condição eficiente e ideal do processo. Foram realizados 19 experimentos, seguindo a metodologia descrita por (BARROS NETO *et*

al., 2007), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Planejamento experimental aplicado no tratamento do efluente da lavanderia

EFLUENTES	VARIÁVEIS	NÍVEIS		
		-1	0	+1
Lav. Entrada do tratamento	[H ₂ O ₂] mmol	0,88	2,65	4,42
	[Fe ⁺²] mmol	0	0,22	0,44
	Tempo (h)	1	3	5
	Ajuste de pH a 3-4	(3,5-4,0) Com ajuste	6,5 (sem ajuste)	9 (sem ajuste)
Lav. Saída do tratamento	[H ₂ O ₂] mg/L	0,88	2,65	4,42
	[Fe ⁺²] mg/L	0	0,22	0,44
	Tempo (h)	1	3	5
	Ajuste de pH a 3-4	(3,5) Com ajuste	9 (sem ajuste)	9 (sem ajuste)

Quatro variáveis de processo foram identificadas, em dados reportados da literatura (MANENTI, 2011), como capazes de influenciar a eficiência do tratamento do efluente têxtil pelo reagente de Fenton: tempo contato (t), pH (H), concentração final de peróxido (P) e concentração final de ferro (F). Os níveis das variáveis selecionados foram 1 e 5 horas para o tempo reacional, 3,5-4,0 e 9,0 para pH, 0,88; 2,65; 4,42mmol de peróxido e de 0; 0,22; 0,44 mmol de ferro. As respostas ou indicadores de eficiência do processo estudado foram: Eficiência de redução em COT, cor aparente Pt-Co à 430 nm, turbidez. Esses resultados foram analisados através do pacote estatístico Statistica 7.0 (Statsoft Inc., EUA).

2.2. Procedimento Experimental da Fotodegradação

Antes de cada batelada experimental, o pH inicial do efluente em alguns casos precisou ser ajustado ou não, conforme planejamento experimental, utilizando uma solução aquosa de H₂SO₄ (1%, v/v). Foram adicionados a 50 mL do efluente bruto em béquer de vidro de 150 ml, uma massa de FeSO₄.7H₂O como fonte (Fe⁺²) (Merck, EUA), seguido da solução de H₂O₂ (Merck, EUA) Figura 1. Os béqueres foram expostos a luz solar em tempos reacionais pré-estabelecidos no planejamento fatorial, os quais variaram de 1 a 5 horas. Ao final de cada tempo, foi adicionada a cada amostra, uma porção de 0,06 g de Sulfito de sódio (Merck, EUA) para cessar a reação. As amostras foram armazenadas em frascos âmbar e refrigeradas em geladeira a 4°C para posterior análise dos parâmetros físico-químicos (cor aparente, turbidez e COT).

Em cada efluente da lavanderia foram realizados experimentos de fotólise em triplicata para verificar se a exposição ao sol seria capaz de degradar a carga orgânica.



Figura 1- Fotólise em triplicata dos efluentes. (Fonte: o autor)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização dos Efluentes

O processo de tratamento de efluente instalado na lavanderia é o físico químico. Ele consiste de um pré-tratamento (gradeamento e desarenação) e tratamento primário (floculação e sedimentação) (Figura 2). O efluente do pós-tratamento ainda possui alta carga de poluentes orgânicos e inorgânicos, além de uma elevada coloração, necessitando de um tratamento adequado para despejo final no corpo receptor, um canal localizada nos limítrofes da propriedade onde se encontra instalada a lavanderia (Figura 3).



Figura 2 - Vista do tratamento de efluente típico, instalados nas lavanderias estudadas. a) Pré-tratamento (gradeamento e desaneração) e b) tratamento primário (floculação e sedimentação). (Fonte: autor.)



Figura 3: a) Despejo do efluente após o tratamento físico químico no canal e b) aspecto da água do canal após o termino do despejo do efluente. (Fonte: autor.)

A caracterização desse efluente encontra-se na Tabela 2, o lançamento desse efluente deve estar de acordo com a classe do rio onde será lançado. Para o caso das lavanderias do agreste, tem-se que os rios Capibaribe e Ipojuca, ambos são classificados como classe 2, de acordo com a resolução CONAMA n° 357/05. Esse efluente tem que ser tratado antes de ser lançado, pois todos os parâmetros ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação, necessitando de um tratamento. Em relação à cor, essa é uma das características que é muito evidente de um efluente têxtil (Figura 4). Esse parâmetro não aparece com valores máximos fixos nas legislações brasileiras. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece que o lançamento do efluente não poderá alterar as características originais do corpo receptor, isto significar que não será permitido o despejo de efluentes que provoque alterações visíveis. Para o COT, seu alto teor expressa uma grande quantidade de matéria orgânica presente neste tipo de efluente.



Tabela 2 - Caracterização do efluente bruto das lavanderias de Caruaru e limites estabelecidos pela resolução Conama para rio classe 2 Conama 357/2005

Parâmetros	Faixa de valores	Valores rio classe 2
	Lav-A(Entrada)	
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	320,2	5
DQO (mg O ₂ /l)	942,5	-
Sólido Suspenso Totais (mg/L)	36,9	0,002
Sólido Suspenso Voláteis	16,25	-
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	19	-
Óleos e graxas (mg/l)	24,6	Virtualmente ausentes
pH	6,32	-
Carbono Orgânico Total (mg/L)	150,1	-
Nitrogênio Total (mg/L)	20,47	-
Cor(PtCo APHA)	32500	-
Turbidez (NTU)	500	100

3.2. Avaliação da eficiência do processo Fenton Solar

A avaliação dos resultados obtidos para os dados do efluente da lavanderia tratado pelo processo Fenton Solar, usando o planejamento experimental está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do planejamento experimental

Ensaio	H ₂ O ₂ (µL)	Fe (mg)	T(h)	pH	COT (mg/L)	COR (Pt-Co APHA)	Turbidez (FAU)
1	50	0	1	s/ajuste	67,67	329	52
2	250	0	1	s/ajuste	69,50	406	101
3	50	1	1	s/ajuste	63,29	254	50
4	250	1	1	s/ajuste	65,29	263	58
5	50	0	5	s/ajuste	67,19	355	70
6	250	0	5	s/ajuste	77,86	255	55
7	50	1	5	s/ajuste	67,73	423	78
8	250	1	5	s/ajuste	71,93	331	63
9	50	0	1	3-4	61,71	261	54
10	250	0	1	3-4	55,27	54	41
11	50	1	1	3-4	45,26	88	84
12	250	1	1	3-4	49,47	88	46
13	50	0	5	3-4	50,04	87	29
14	250	0	5	3-4	56,71	08	19
15	50	1	5	3-4	55,07	154	41
16	250	1	5	3-4	57,29	07	20
17	150	0,5	3	s/ajuste	68,60	319	61
18	150	0,5	3	s/ajuste	67,28	270	55
19	150	0,5	3	s/ajuste	64,81	245	58

Analisando a Tabela 3, observa-se que as condições experimentais para obter maior eficiência nas três respostas comportam-se de maneira diferente. Para o COT o ensaio 11 obteve-se maior eficiência (69,8%) com as condições (0,88 mmol H₂O₂; 0,44 mmol Fe²⁺; 1h; pH 3-4), cor e turbidez o ensaio 14 são, respectivamente, 99,3% e 93,2% para as seguintes condições (4,42 mmol H₂O₂; 0 mmol Fe²⁺ (Fe presente no efluente); 5h; pH 3-4). Outros ensaios devem ser realizados para melhorar a eficiência de remoção de COT, pois dentre as variáveis estudadas é a mais importante. Ainda na Tabela 3, observou-se uma descoloração do efluente tratado próxima a 100%, a maior eficiência da cor foi de 99,3%. Na literatura encontram-se trabalhos com descoloração completa nas seguintes condições: 3 mM de H₂O₂ e 0,25mM Fe²⁺ (JONSTRUP *et al.*, 2011). Na Figura 4, encontra-se a aparência do efluente tratado quando comparado ao inicial. A descoloração em torno de 100% comprova a eficiência obtida encontrada na Tabela 3.



Figura 4- Comparação do efluente inicial e tratado pelo processo Fenton solar

Para avaliar a significância estatística dos efeitos calcularam-se os intervalos com 95% de confiança para cada efeito. Analisando-se os gráficos de pareto (Figura 5) para COT, cor e turbidez, verificou-se que as variáveis [T] e [Fe²⁺] não mostraram efeito significativo em nenhuma resposta estudada. O pH foi significativo em todas as respostas, indicando que o ajuste do pH influencia estatisticamente os experimentos, pois na faixa de pH entre 3-5 o ferro fica dissolvido em solução. Citam-se alguns trabalhos a importância de se ajustar o pH em torno de 3-5, aproximadamente, para aumentar a eficiência do reagente de Fenton (GHALY *et al.*, 2001; UTSET *et al.*, 2000; JONSTRUP *et al.*, 2011). Quanto à eficiência de redução da turbidez, observou-se que nos ensaios que possuíam mais peróxidos a redução foi maior.

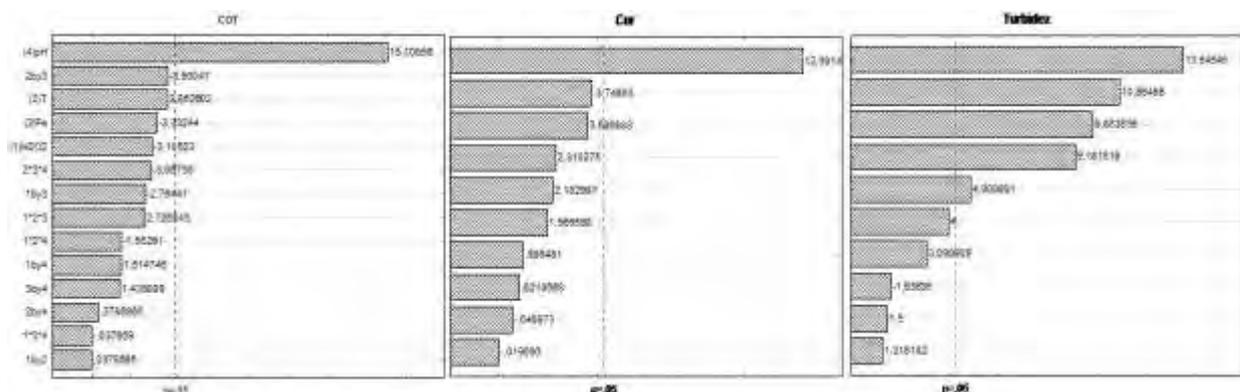


Figura 5 – O gráfico de pareto Estimativa dos efeitos principais e de interação para as respostas estudadas quanto à eficiência de redução do (a) Carbono Orgânico total, (b) Cor aparente e (c) turbidez, respectivamente, da esquerda para direita

4. CONCLUSÃO

A oxidação avançada é uma tecnologia válida para degradar compostos refratários até a completa mineralização ou transformando eles em compostos mais biodegradáveis. O processo Fenton solar foi usado para o tratamento do efluente da lavanderia e alcançando alta descoloração aproximadamente 99%, uma redução da turbidez de 93% e uma mineralização de 69%, como foi observado nos resultados apresentados. A utilização do processo Fenton Solar, mostrou-se ser uma alternativa eficiente para o tratamento de efluente de lavanderia, embora outras condições devam ser estudadas.

5. AGRADECIMENTOS

CNPQ/Facepe

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C.; CAMPOS, J. C. Influence of Experimental Variables on Decoloration of Azo Reactive Dyes by Hydrogen Peroxide and UV Radiation, *Environmental Technology*, v.28, n.10, 1073-1078, 2007

Agreste pernambucano é o segundo maior produtor têxtil do Brasil. Disponível em :<<http://pe360graus.globo.com/noticias/economia/economianordeste/2010/01/28/NWS,506717,10,632,NOTICIAS,766-AGRESTE-PERNAMBUCANO-SEGUNDO-MAIORPRODUTOR-TEXTIL-BRASIL.aspx>>. Acessado em : 25-03-2012

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como Fazer Experimentos. In: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria, Editora da UNICAMP, Campinas, SP, 2007

GHALY, M. Y.; HÄRTEL, G.; MAYER, R.; HASENEDER, R. Photochemical oxidation of p-chlorophenol by UV/H₂O₂ and photo-Fenton process a comparative study, *Waste Management*, vol. 21, p. 41-47, 2001

JONSTRUP, M.; PUNZI, B.; MATTIASSON, B. Comparison of anaerobic pre-treatment and aerobic post-treatment coupled to photo-Fenton oxidation for degradation of azo dyes, *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, 2011

MANENTI, D. R.; GOMES, L. F. S.; BORBA, F. H.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUINONES, F. R.; PALÁCIO, S. M. Otimização do Processo Foto-Fenton Utilizando Irradiação Artificial na Degradação do Efluente Têxtil Sintético, *J. Engevista Year*, vol.12, 22-32, 2010

SALGADO, B. C. B.; NOGUEIRA, M. I. C.; RODRIGUES, K. A.; SAMPAIO, G. M. M. S.; BUARQUE, H. L. B.; ARAÚJO, R. N. Decolorization of synthetic and laundry wastewater containing indigo and azo dyes by the Fenton, photolytic and UV/H₂O₂ processes, *Engenharia Sanitária Ambiental*, vol.14, n.1, 1-8, 2009

UTSET, B., GARCIA, J., CASADO, J., DOMENECH, X., PERAL, J. Replacement of H₂O₂ by O₂ in Fenton and photo-Fenton reactions. *Chemosphere*, 41, 1187-1192, 2000