



II-102 – REMOÇÃO DE COMPOSTOS ARÔMATICOS E ORGANOCLORADOS EM ESGOTO POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO

Neyliane Costa de Souza

Química industrial pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Saneamento Ambiental pela UFC. Doutoranda em Saneamento Ambiental na UFC.

Germana Paiva Pessoa

Química industrial pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Saneamento Ambiental pela UFC. Doutoranda em Saneamento Ambiental na UFC.

Elisângela Maria R. Rocha

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil – Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutoranda em Saneamento Ambiental no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Ronaldo Ferreira do Nascimento

Doutor em Química Analítica pelo Instituto de Química de São Carlos. Professor Associado I do Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará.

André Bezerra dos Santos⁽¹⁾

Engenheiro Civil. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). PhD em Saneamento Ambiental pela Universidade Wageningen, Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, bloco 713. Pici. Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP: 60451-970 - Tel: +55 (85) 3366-9490 - Fax: +55 (85) 3366-9490 - e-mail: andre23@ufc.br

RESUMO

Os inúmeros contaminantes orgânicos tóxicos, oriundos de atividades antrópicas, podem estar presentes em efluentes e matrizes aquosas receptoras de esgotos, sendo preocupantes os efeitos adversos que estas substâncias podem causar nos organismos expostos, mesmo em concentrações em níveis de traços. Os poluentes primários orgânicos do tipo organoclorados e os hidrocarbonetos aromáticos estão cada vez mais presentes nesses efluentes. O presente trabalho objetivou avaliar o processo oxidativo avançado (POA) do tipo catálise homogênea utilizando o peróxido de hidrogênio e irradiação ultravioleta (UV/H₂O₂), na degradação de soluções aquosas contendo compostos aromáticos: benzeno e tolueno e compostos organoclorados: 2,4,6 triclorofenol (TCF) e pentaclofenol (PCF). Os testes foram realizados em um reator fotoquímico de tubo de quartzo com capacidade de 450mL, com fonte de radiação ultravioleta de sete lâmpadas de vapor de mercúrio (15 W). O reator foi preenchimento com esgoto sintético dopado (ESD) com 50mg/L de benzeno, tolueno e TCF e 20mg/L de PCF. Foram realizados testes em batelada com tempo de irradiação de 15, 30, 45 e 60min. O composto peróxido de hidrogênio (H₂O₂) foi adicionado no esgoto sintético dopado a 1% (m/v) no ensaio 1 e 0,5% (m/v) no ensaio 2. A remoção da DQO obtida após os tempos de contato foram respectivamente de 2, 19, 34 e 86% em 15, 30, 45 e 60min no ensaio 2. A eficiência de remoção da turbidez foi de 84% para o ensaio 1 e 76% para o ensaio 2 em 60 minutos. Em termos de concentração, os valores calculados a partir dos cromatogramas e curvas de calibração foram 0,17, 0,10, 0,7 e 0,4 mg/L para os compostos, benzeno, tolueno, 2,4,6-TCF e PCF, respectivamente, no tempo de irradiação de apenas 15 minutos. A concentração do tolueno para o tempo de irradiação de 30 minutos era inferior a 70µg/L. O processo UV/H₂O₂ aqui estudado demonstra uma elevada capacidade de remoção dos compostos aromáticos benzeno e tolueno e compostos organoclorados 2,4,6 TCF e PCF, oferece grande perspectiva de aplicação no tratamento de poluentes primários e outros de difícil biodegradação.

PALAVRAS-CHAVE: Processos oxidativos avançados, organoclorados, hidrocarbonetos aromáticos, esgoto sintético.

INTRODUÇÃO

O grande aporte de efluentes lançados no ambiente e a falta de identificação e quantificação de muitos desses constituintes em matrizes aquosas receptoras representa um risco ambiental e de saúde pública, já que muitos



compostos podem causar efeitos adversos nos organismos expostos mesmo em concentrações em níveis de traços. No Brasil, segundo o relatório apresentado em 2001 pela Agência Nacional de Águas, cerca de 70% dos rios que fazem parte das bacias hidrográficas que vão do Sergipe ao Rio Grande do Sul apresentaram altos índices de contaminação, principalmente por efluentes urbanos, substâncias lixiviadas de grandes lixões e agrotóxicos.

Compostos considerados poluentes primários incluem a classe dos hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno e o xileno (BTX), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), os organoclorados, entre eles pentaclorofenol (PCF) e 2,4,6- triclorofenol (TCF), entre outros. Tais compostos são de grande interesse ambiental em virtude do seu potencial tóxico, mutagênico e carcinogênico.

Normalmente, uma importante parcela do processo de contaminação pode ser atribuída às atividades das refinarias de petróleo e seus derivados. Os BTXs têm alto potencial poluidor, elevada toxicidade e todos são depressores do sistema nervoso central (Corseuil & Álvarez, 1996). O benzeno é utilizado como matéria prima para síntese de outros compostos orgânicos e como aditivo nos combustíveis para veículos, substituindo, em parte, o chumbo. O tolueno ocorre naturalmente em óleo cru, é usado na fabricação de benzeno, ácido benzóico, explosivos, tintas, detergentes, Ele ainda é usado como solvente na formulação de adesivos, resina, goma e como aditivo antidetonante na composição da gasolina (INNOVA, 2006).

Os compostos aromáticos (BTX e outros alquilbenzenos) perfazem cerca de 10 a 59% da gasolina (massa/massa), enquanto que os hidrocarbonetos alifáticos compreendem 41 a 62%. Os hidrocarbonetos aromáticos são geralmente mais tóxicos que os compostos alifáticos com o mesmo número de carbonos e possuem maior mobilidade em água, em função de sua solubilidade ser cerca de 3 a 5 vezes maior.

Os compostos organoclorados caracterizam-se por apresentarem um ou mais átomos de cloro em sua estrutura química. Os clorofenóis são usados na indústria, principalmente como inseticidas, herbicidas e fungicidas, assim como preservativos da madeira, cola, tinta, fibra, vegetais e couro. Estes compostos têm sido encontrados em solos próximos a indústrias que preservam madeira, e em águas subterrâneas, devido à infiltração em solos contaminados, em águas superficiais devido à drenagem superficial ou diretamente pela disposição de resíduos líquidos industriais (FLORA et al., 1994). Sua resistência relativa à degradação biológica, razão para seu uso como preservativo, origina um problema de poluição quando esse composto é lançado no meio ambiente.

O pentaclorofenol (PCF) também pode ser usado como fungicida, bactericida, herbicida, molusquicida, algicida e inseticida. O triclorofenol (TCF) pode se formar em locais contaminados, como produto de degradação de pesticidas como pentaclorofenol ou 2,4,5- triclorofenol.

Segundo a Resolução CONAMA 357/05, as máximas concentrações para o benzeno e tolueno são respectivamente, de 5 µg/L e 2 µg/L. Para os organoclorados 2,4,6 triclorofenol e pentaclorofenol o máximo permitido é 10 µg/L e 9 µg/L, respectivamente .

Nos últimos anos, os processos oxidativos avançados (POAs) têm aparecido como uma excelente alternativa para o tratamento de resíduos, principalmente em razão da sua elevada eficiência de degradação de compostos considerados recalcitrantes. O processo, fundamentado na geração do radical hidroxila (HO•), fortemente oxidante, permite a rápida e indiscriminada degradação de uma grande variedade de compostos orgânicos, muitas vezes permitindo a completa mineralização.

Dentre as várias alternativas existentes para a produção de radical hidroxila pode ser dado destaque à fotocatalise heterogênea, principalmente na presença de TiO₂, fotocatalise homogênea com peróxido de hidrogênio e sistemas Fenton. (Tiburtius & Peralta-Zamora, 2005). Tais POAs vêm sendo bastante utilizados na degradação de inúmeros poluentes orgânicos.

O presente trabalho objetivou avaliar o processo oxidativo avançado (POA) do tipo catálise homogênea utilizando o peróxido de hidrogênio e irradiação ultravioleta (UV/H₂O₂), na degradação de soluções aquosas contendo compostos aromáticos, benzeno e tolueno, e compostos organoclorados, 2,4,6 TCF e PCF, além do desenvolvimento de uma metodologia para detecção desses compostos por cromatografia gasosa (GC).



MATERIAIS E MÉTODOS

PREPARAÇÃO DO ESGOTO SINTÉTICO

O esgoto sintético (ES) foi preparado de acordo com TORRES (1992), a partir de uma mistura de: sacarose (35mg/L), amido (114mg/L), extrato de carne (208mg/L), óleo de soja (51mg/L), NaCl (250mg/L), $MgCl_2 \cdot H_2O$ (7mg/L), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (4,5mg/L), $NaHCO_3$ (200mg/L) e 3 gotas de detergente comercial. Os compostos orgânicos citados com exceção da sacarose foram dissolvidos em 1 litro de água de abastecimento público e depois fervidos durante aproximadamente 2 horas, com agitação contínua para garantir que a solução ficasse homogênea e evitasse a formação de grumos, principalmente na solução de amido e celulose. A amostra foi guardada em frascos de vidro âmbar a 4°C.

Foram preparadas soluções estoques de 1000 mg/L com água deionizada para os compostos benzeno (Marca QEEL), tolueno (Marca Synth) e 2,4,6-TCF (Marca acros organics), as quais foram adicionadas ao esgoto sintético (ES) para obtenção de uma concentração de 50mg/L para cada poluente. O composto PCF (Marca acros organics), foi preparado no próprio ES para obtenção de uma concentração de 20mg/L, que é sua maior solubilidade em água.

Após, a dopagem do ES foi adicionado um volume calculado do peróxido padrão (30% m/v), para a obtenção de uma concentração de peróxido de (1% m/v) e (0,5% m/v) na solução.

REATOR FOTOQUÍMICO

A Figura 1 apresenta uma representação esquemática do reator de catálise homogênea.

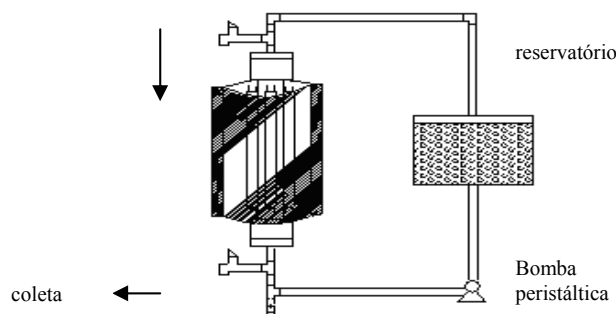


Figura 1: Representação do reator fotoquímico usado no estudo com o POA.

O tratamento do esgoto sintético dopado (ESD) foi realizado em um reator fotoquímico com capacidade de 450mL, confeccionado em um tubo de quartzo. Como fonte de radiação ultravioleta foram utilizadas sete lâmpadas de vapor de mercúrio (15 W, Philips), que envolvem o tubo de quartzo.

O sistema foi operado em batelada, e alimentado por um reservatório na parte superior do reator com auxílio de uma bomba peristáltica. Ele foi operado em temperatura ambiente, sendo realizados dois ensaios em duplicata: ensaio 1 (1% de H_2O_2 m/v) e ensaio 2 (0,5% de H_2O_2 m/v). As amostras eram coletadas na parte inferior do reator nos tempos de irradiação de 15, 30, 45 e 60 minutos.

ANÁLISES

As análises de peróxido residual foram feitas pelo uso do método titulométrico, sendo as determinações do pH, turbidez e DQO feitas de acordo com o Standard Methods - seção 5220 D (APHA, 2005).

Os espectros de absorção na região do ultravioleta-visível (190-820nm) foram obtidos em espectrofotômetro TERMO, modelo NICOLET EVOLUTION 100.

Para análise cromatográfica, foi realizada uma pré-concentração dos analitos, onde a amostra de ESD foi extraída pelo uso do método de extração em fase sólida – EFS, utilizando cartuchos de octadecil silano (SPE-C18) 500mg/100mL. Em seguida, a amostra era condicionada com 5mL de metanol puro analítico, depois



com 50% de metanol e 1%, em seguida secos a vácuo. Foi filtrado cerca de 100mL da amostra em filtro de fibra de vidro 0,47 μm a vácuo, reconstituída em 1mL de metanol e injetada no cromatógrafo.

As determinações do benzeno, tolueno, 2,4,6 TCF e PCF foram realizadas em um cromatógrafo gasoso com detector ionização de chama (GC-FID) da SHIMADZU, modelo 17A, operado nas seguintes condições: Coluna DB-5MS; Volume de injeção 1 μL ; Rampa de aquecimento: temperatura inicial 40° C por 1 minuto, 7° C/min até 100° C, 60° C/ min até 180° C, 10° C/min até a temperatura final 230° C (2 min).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas algumas análises físico-químicas com o objetivo de avaliar o comportamento do reator de fotocatalise homogênea do tipo UV/H₂O₂. Na Tabela 1 são mostrados os valores de pH e concentração residual de peróxido, para diferentes tempos de irradiação, nos dois ensaios realizados em batelada. Os resultados das análises demonstraram que o peróxido foi rapidamente consumido no decorrer do processo, apresentando baixas concentrações após 60 minutos de irradiação.

A avaliação do peróxido residual foi feita em função da presença do H₂O₂, que é o agente oxidante auxiliar. Contudo deve-se garantir que o processo remova os compostos de interesse e não deixe subprodutos potencialmente perigosos. Segundo Oliveira *et al.* (2001) a concentração de peróxido residual é um parâmetro crucial no processo de fotodegradação de contaminantes, visto que uma vez consumido, a reação não prossegue, sendo necessária sua reposição.

Tabela 1: Valores da concentração residual de peróxido e de pH obtidos no reator de fotocatalise.

Tempos de irradiação (min)	Ensaio 1 (1% H ₂ O ₂)		Ensaio 2 (0,5% H ₂ O ₂)	
	Parâmetros físico-químicos			
	pH	% Peróxido residual	pH	% Peróxido residual
0	7,3 ± 0,07	100	7,9 ± 0	100
15	5,3 ± 0,09	93	7,2± 0,18	94
30	4,9 ± 0	81	6,8 ± 0,15	81
45	*	*	4,9 ± 0,24	66
60	7,3 ± 0	38	7,3 ± 0,20	36

* Não foi realizada a coleta da amostra no tempo de irradiação de 45min.

Na Tabela 1, são também mostradas os valores de pH nos vários tempos de irradiação. Nota-se que o pH diminui nos tempos de 15, 30 e 45 minutos, e retorna a ficar próximo à neutralidade com 60 minutos. A diminuição do pH é provavelmente devido ao caráter ácido do peróxido que diminui o pH da amostra, no qual ainda possui peróxido residual acima de 60% em 45 minutos.

No processo de oxidação com peróxido e irradiação, há um aumento do consumo de radicais hidroxilas e diminuição do potencial redox, que aumenta a quantidade de H⁺ no meio, dando o caráter ácido ao peróxido. No final, da reação é produzido água e oxigênio. Portanto, quando há uma menor concentração de peróxido residual o pH fica próximo do inicial, justificando o aumento do pH entre as amostras coletadas em 45 e 60 minutos. A diminuição do pH no reator pode também ser devido à formação de subprodutos da oxidação que possuem caráter ácido, já que com 30 minutos ainda existe um DQO considerável (Figura 3).

São mostrados na Figura 2, os valores de turbidez obtidos para os ensaios 1 (1% H₂O₂) e 2 (0,5% H₂O₂) nos seus respectivos tempos de contato.

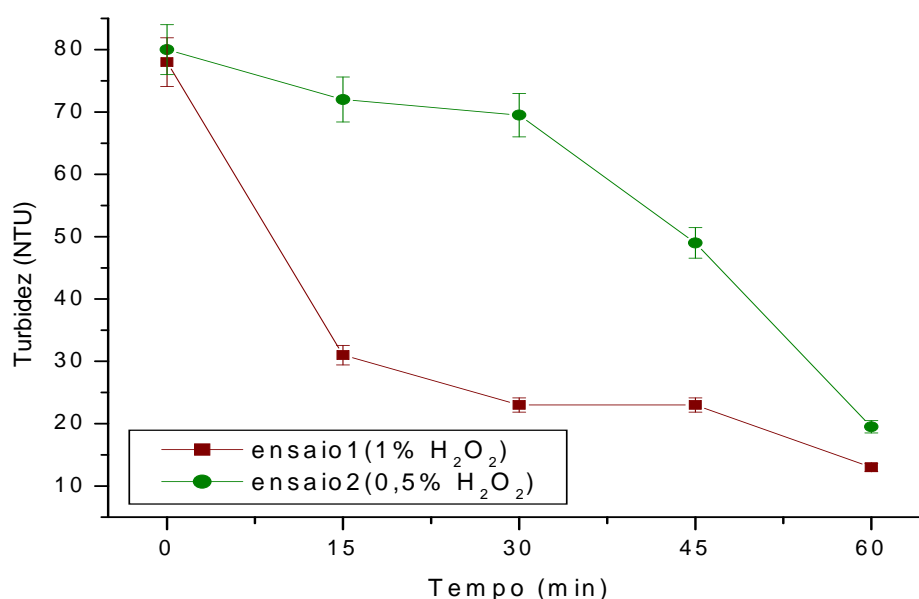


Figura 2: Valores de turbidez (NTU) nos diferentes tempos de irradiação obtidos nos ensaios 1 e 2 com concentração de peróxido adicionada de 1% e 0,5% (m/v) respectivamente.

Observa-se que os valores de turbidez diminuem de acordo com o aumento do tempo de irradiação, chegando ao valor de 20 NTU em 60 min. A eficiência de remoção da turbidez foi de 84% e para o ensaio 1 (1% H₂O₂ m/v) e de 76% para o ensaio 2 (0,5% H₂O₂ m/v), decorridos 60 minutos de irradiação, ou seja, foram obtidas maiores eficiências de remoção de turbidez para maiores concentrações de peróxido, principalmente nos tempos de 15, 30 e 45 minutos.

A rápida diminuição dos valores iniciais de turbidez nos dois ensaios realizados mostra que quanto maior o tempo de contato da amostra com a radiação ultravioleta, melhor a eficiência do sistema. Ou seja, a matéria orgânica e demais compostos causadores de turbidez presentes na amostra são oxidados mais rapidamente, de acordo com o tempo de irradiação e a concentração de peróxido utilizada.

A irradiação utilizada de 105 W se mostrou bem eficiente para as duas concentrações de peróxidos testadas. Porém, são necessários outros ensaios com concentrações inferiores que sejam tão eficientes quanto as testadas, para obtenção de menores percentuais de peróxido residual (Tabela 1).

A remoção de poluentes em reatores operados em batelada baseia-se na condição que quanto mais tempo de contato da amostra com luz ultravioleta melhor a eficiência do sistema. Contudo, tal eficiência também depende da concentração residual do peróxido. Kurniawan, Lo e Chan (2006); Shu *et al.* (2006) afirmam que, a irradiação UV e H₂O₂ isoladamente não é tão eficiente, sendo necessário uma dosagem ótima tanto de irradiação quanto de concentração de reagente.

Ensaios realizados por Ochuma e Fishwick (2007), para remoção de 2,4,6 triclorofenol em água em um reator de contato de fluxo descendente, utilizando-se as formas de catálise do tipo TiO₂/O₂, UV/TiO₂, UV/O₂, UV, UV/TiO₂/O₂, mostraram que as combinações de irradiação UV e um reagente oxidante foram as que demonstraram mais rapidez e eficientes de remoção do 2,4,6 triclorofenol, com eficiências na ordem de 99% em 120 minutos de irradiação.

Os valores de DQO das amostras nos ensaios com 1% e 0,5% de H₂O₂ são mostrados na Figura 3, assim como as concentrações de peróxido residual (%), nos vários tempos de irradiação.

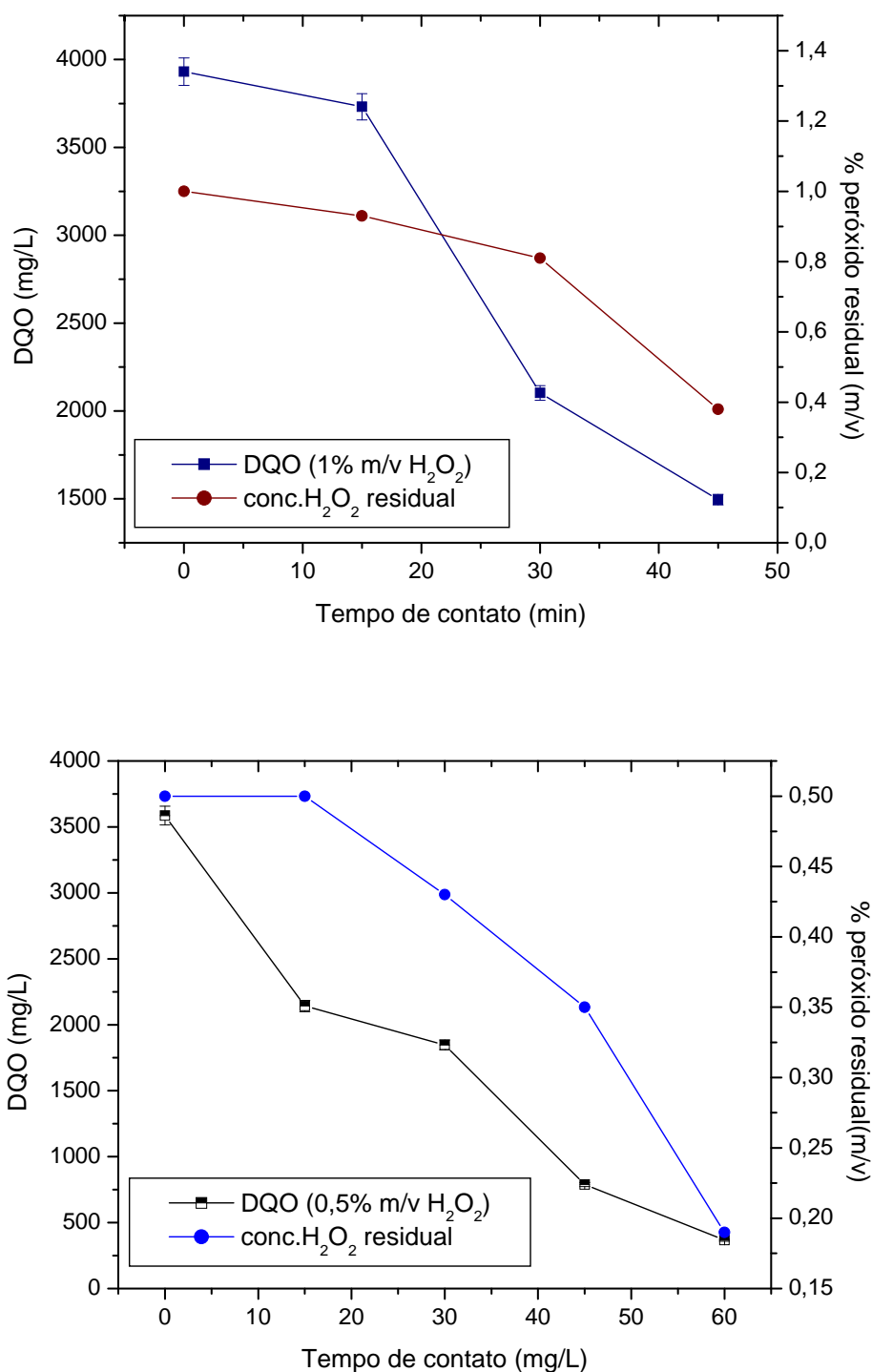


Figura 3. Valores de DQO e concentração de peróxido residual, nas duas concentrações de H₂O₂ testadas.

De acordo a Figura 3, a DQO final obtida da amostra somente teve uma redução significativa a partir de 30 minutos de contato, mostrando que o peróxido residual caiu quase pela metade após 45 minutos de irradiação, devido ao consumo na oxidação da DQO. Já, em 60 minutos de contato, a DQO reduziu drasticamente. A eficiência de DQO ficou em torno de 50% e 95% para os ensaios 1 e 2, respectivamente, mas ainda restando um percentual de peróxido residual que poderia ser utilizado caso houvesse um maior tempo de irradiação.

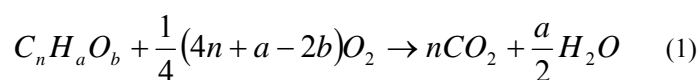


Os menores valores de DQO obtidos foram no ensaio 2 (0,5% m/v) se dão ao fato de uma menor quantidade de peróxido na amostra que interfere diretamente nos resultados de DQO.

Recentemente vários autores têm estudado a interferência do peróxido no teste de DQO. Sabe-se que muitas espécies inorgânicas como O_2^{2-} , Fe^{2+} , halogênios e SO_2 que possuem caráter redutor, são capazes de reduzir o dicromato de potássio, interferindo positivamente no resultado da análise. A interferência de cloreto e nitrito pode ser prevenida. Contudo, um método para corrigir a interferência de espécies inorgânicas como o Fe^{2+} e H_2O_2 não é mencionado no *Standard Methods*, e é, também, insuficientemente relatado na literatura (PEIXOTO, 2008).

O sistema utilizado com 0,5% (m/v) de peróxido e irradiação UV com 60 minutos de contato foi o que mostrou mais eficiente na degradação dos compostos, porém, ainda são necessários estudos posteriores para otimização da irradiação e concentração de peróxido, de forma a minimizar a sua concentração residual.

A fim de se obter o valor de DQO dos compostos na amostra, foram calculadas as DQO teóricas dos compostos dopados na amostra e depois obtida a diferença da DQO da amostra sem o peróxido. Estes resultados foram, obtidos a partir da equação 1 e 2, posteriormente:



$$DQO_{teórica} = \frac{8(4n + a - 2b)}{(12n + a + 16b)} \rightarrow \frac{mgDQO}{mgC_n H_a O_b} \quad (2)$$

Assim, a DQO teórica dos compostos benzeno, tolueno, TCF e PCF é, respectivamente, 154, 156, 160 e 41 mgO_2/L , resultando numa DQO teórica total de 511 mgO_2/L . Como a DQO determinada do esgoto sintético sem o peróxido foi de 1294 mgO_2/L , por diferença temos a DQO dos outros compostos presentes na receita utilizada de 783 mgO_2/L . Se compararmos esse valor, com os valores iniciais de DQO mostrados na Figura 3, conclui-se que o peróxido aumenta em quase 3 vezes os valores de DQO (Figura 3).

Foram realizadas varreduras de absorção no UV-VIS para vários tempos de irradiação para se acompanhar a degradação dos compostos organoclorados e aromáticos no reator de fotocatalise (Figura 4). Observa-se que a degradação dos compostos é praticamente total. O pico de absorbância entre os comprimentos de onda de 200 e 310 nm é resultado da absorção dos compostos investigados. Para o tempo de irradiação de 15 minutos, já se verifica que o pico de absorbância já se encontra atenuado. Apesar de não se observar as bandas dos compostos selecionados, pode-se perceber que existe um decréscimo acentuado no espectro do esgoto sintético dopado no tempo de contato de 60 minutos, não tendo nenhuma absorção a partir de 240nm.

No presente trabalho, observou-se que além da remoção do benzeno e tolueno, os compostos organoclorados também foram removidos, como observado nos espectros de absorbância nos comprimentos de onda de 255nm, para estes compostos.

Estudos realizados por TIBURTIUS *et al.* (2003) demonstraram que o sistema homogêneo UV/ H_2O_2 aparece como uma alternativa atrativa no tratamento de águas contendo compostos aromáticos (BTXs), o que corrobora com os nossos resultados.

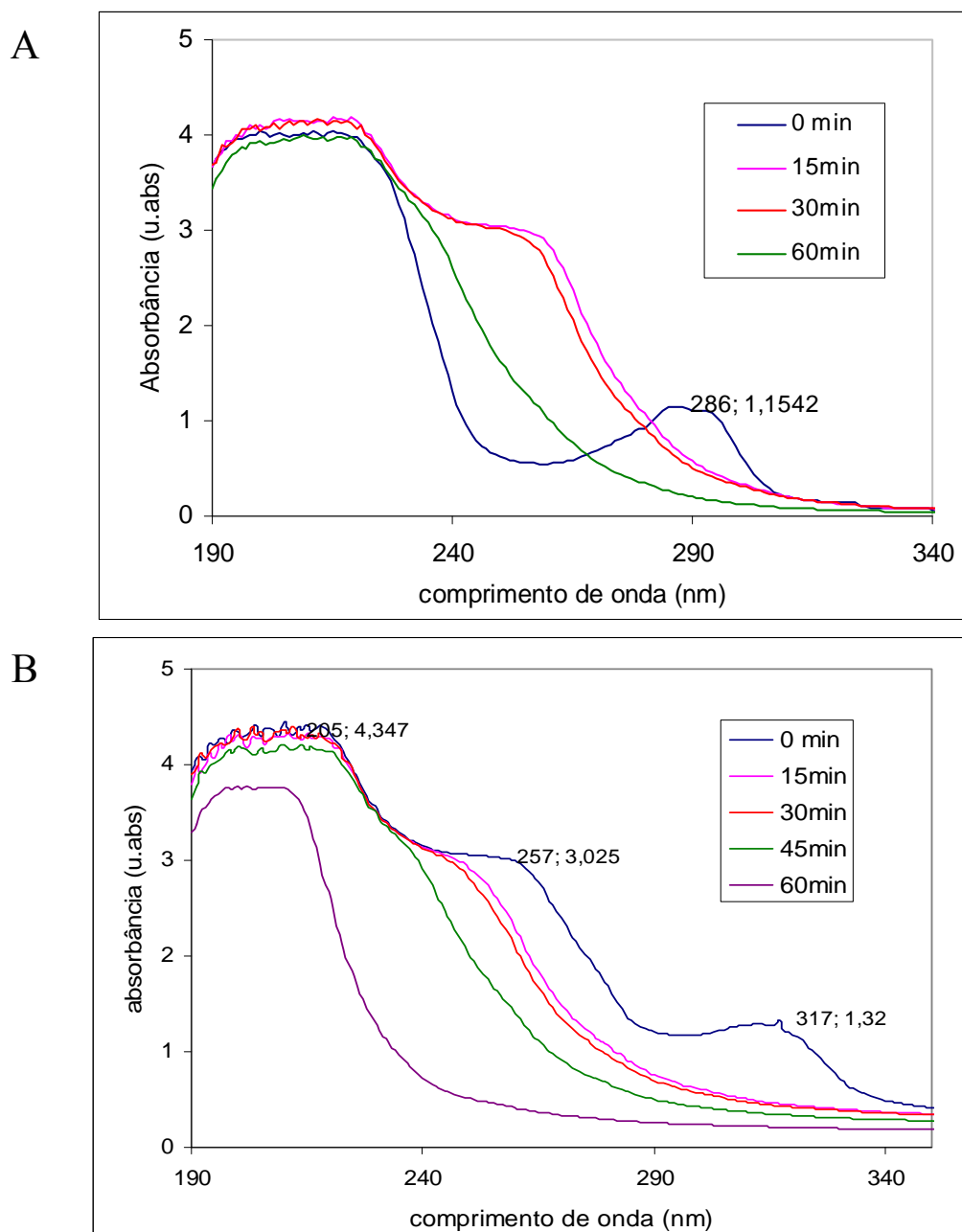


Figura 4: Sequência de espectros UV-VIS da degradação de compostos organoclorados e aromáticos em reator fotoquímico em concentração a 1% m/v (A) e 0,5% m/v (B) de peróxido.

O acompanhamento da degradação por cromatografia gasosa, demonstrou que a concentração dos compostos, benzeno, tolueno, 2,4,6-TCF e PCF foram de 0,17; 0,10; 0,7; 0,4 mg/L respectivamente nos tempo de radiação de apenas 15 minutos. Já, para os demais tempos de contato, somente o tolueno foi detectado no tempo de 30 minutos, resultando numa concentração inferior a 70µg/L.

Sabe-se que apesar dos valores obtidos, os resultados por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (FID) não nos dá resultados reprodutíveis com baixas quantificações e que a extração em fase sólida utilizada para pré-concentrar a amostra não é a técnica mais indicada para compostos voláteis, no entanto foram obtidos resultados consideráveis para as técnicas utilizadas, sendo recomendável para laboratórios com recursos limitados.



CONCLUSÕES

A interferência do H_2O_2 nos testes da DQO deve ser estudada mais profundamente para conseguirmos avaliar com mais exatidão a remoção dos compostos orgânicos no reator de fotocatalise.

O processo UV/ H_2O_2 aqui estudado, demonstra uma elevada capacidade de remoção dos compostos aromáticos benzeno e tolueno e compostos organoclorados 2,4,6 triclorofenol e pentaclofenol, em reatores em batelada, mesmo com baixos tempos de irradiação, assim oferecendo grande perspectiva de aplicação no tratamento de poluentes primários e outros efluentes de difícil biodegradação.

Os resultados obtidos por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (FID) não foram reprodutíveis devido a baixa concentração dos compostos, além disso, a técnica de extração em fase sólida utilizada para pré-concentrar não foi eficiente, no entanto foram obtidos resultados satisfatórios com as técnicas utilizadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pela concessão do apoio financeiro (Projeto 577000/2008-0) e a Capes pela bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
2. CONSEUIL, H. X.; ALVAREZ, P. J.J. Natural bioremediation perspective for BTX-contaminated groundwater: in Brazil: effect of ethanol. *Water Science Technology*, v.34, n.7/8,p.311-318,1996.
3. INNOVA- Petroquímica Brasileira. Ficha de informação de segurança de produto químico: tolueno. Disponível:< <http://www.innova.ind.br/site2004/pdftolueno.pdf> >acessado em 25 de outubro 2008.
4. OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA, R. F. P.; GOMES NETO, J. A.; JARDIM, W. F.; ROHWEDDER, J. J. R.; *Quim. Nova* 2001, 24, 188.
5. PEIXOTO, A. L. de C.; BRITO, R. A.; SALAZAR, R. F. dos S.; GUIMARÃES, O. L. C.; FILHO, H. J. I. Predição da Demanda Química de Oxigênio em chorume maduro contendo reagente de fenton, por meio de modelo matemático empírico gerado com planejamento fatorial completo. *Quim. Nova*, Vol. 31, No. 7, 1641-1647p., 2008.
6. KANG, Y.W.; CHO, M. and HWANG, K.; Correction of hydrogen peroxide interference on standard chemical oxygen demand test. . *Wat. Res.*, Vol. 33, No.5, 1247-1251 p, 1999.
7. KURNIAWAN, T. A.; LO, W.; CHAN, G. Y.S. Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate. *Chemical Engineering Journal*, 125. 35-57p, 2006.
8. SHU, H.; FAN, H.; CHANG, M.; HSIEH, W.; Treatment of MSW landfill leachate by a thin gap annular UV/ H_2O_2 photoreactor with multi-UV lamps. *Journal of Hazardous Materials*, B129. 73-79p, 2006.
9. TIBURTIUS, E. R. L.; EMMEL, A.; PERALTA-ZAMORA, P. Utilização de processos oxidativos avançados na degradação de água contendo BTXs. *Anais. 22º congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC, 2003.
10. TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P.; Degradação de BTXs via processos oxidativos avançados. *Química nova*, vol. 28, No 1, 61-64p. 2005.
11. TORRES, P., Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgoto sanitário sob diferentes condições de operação. São Carlos. Dissertação (mestrado) - escola de Engenharia de São Carlos. USP, 1992.