

ESTUDOS DE DESCOLORAÇÃO OXIDATIVA DO AZO CORANTE ACID RED 27 EM MEIO AQUOSO USANDO PROCESSO UV/H₂O₂

FRANCISCO DE ASSIS ROCHA DA SILVA, BRUNO CÉSAR BARROSO SALGADO,
KELLY DE ARAÚJO RODRIGUES PESSOA, GLÓRIA MARIA MARINHO SILVA, RINALDO DOS SANTOS ARAÚJO

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus* de Fortaleza
Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA)
<assis@ifce.edu.br>, <brunocesar@ifce.edu.br>, <kelly@ifce.edu.br>,
<gloriamarinho@ifce.edu.br>, <rinaldo@ifce.edu.br>

Resumo. O presente trabalho investiga a descoloração oxidativa do azo corante Acid Red 27 em solução aquosa via oxidação fotoquímica (processo UV/H₂O₂). Os estudos de descoloração a temperatura ambiente (27 °C) foram realizados em batelada em um foto-reator com volume útil de 100 mL sob agitação magnética de 200 rpm e usando como fonte de radiação ultravioleta (254 nm) uma lâmpada de vapor de mercúrio de 5 W, a qual fornece uma intensidade de radiação constante de 17,7 mW/cm². Experimentalmente foram investigados os efeitos dos parâmetros de concentração inicial de corante e dosagem do oxidante (H₂O₂) sobre a eficiência e cinética da descoloração. Os resultados obtidos usando 1,0 mmol/L de oxidante e concentrações iniciais de corante entre 2,5 e 25 mg/L mostram eficiências de descoloração superiores a 95%. Do ponto de vista cinético os dados experimentais se ajustam bem ao modelo cinético de primeira ordem. A caracterização das soluções aquosas após tratamento oxidativo mostra significativas reduções das bandas cromóforas e aromáticas para o azo corante. A análise por cromatografia iônica indica baixos teores de nitrato e sulfato e a presença de íons como lactato, acetato, propionato, formiato, maleato, carbonato, oxalato e ftalato, o que evidencia os fenômenos simultâneos de descoloração e degradação do corante em meio aquoso.

Palavras-chaves: Descoloração. Azo corante. Acid Red 27. Processo UV/H₂O₂. Cinética.

Abstract. In the present work, we investigated the oxidative discoloration of Acid Red 27 azo dye in aqueous solution via photochemical oxidation (UV/H₂O₂ process). The studies of discoloration were conducted at room temperature (27 °C) in batch photoreactor with volume of 100 mL under magnetic stirring of 200 rpm, and using as a source of ultraviolet radiation (254 nm) a 5 W mercury-vapor lamp, which provides a constant radiation intensity of 17.7 mW/cm². Experimentally, the effects of initial concentration parameters of dye and oxidant dosage (H₂O₂) were investigated on the efficiency and kinetics of discoloration. The results obtained using 1.0 mmol/L of the oxidant and initial concentrations of dye between 2.5 and 25 mg/L show discoloration efficiencies greater than 95%. From the kinetic perspective, the experimental data produced good correlation with the first-order kinetic model. The characterization of aqueous solutions after oxidative treatments showed significant reductions of aromatic and chromophores bands for the azo dye. The analysis by liquid chromatography showed low levels of nitrate and sulfate and the presence of ions such as lactate, acetate, propionate, formate, maleate, carbonate, oxalate and phthalate, which shows the simultaneous phenomena of discoloration and degradation of the azo dye in aqueous media.

Keywords: Discoloration. Azo dye. Acid Red 27. UV/H₂O₂ process. Kinetic.

1 INTRODUÇÃO

Os azo corantes utilizados em operações de tingimento têxtil são, de uma maneira geral, contaminantes de alto impacto ambiental. Em geral, essas moléculas não po-

dem ser biodegradadas por meio de processos biológicos convencionais de tratamento sendo necessários métodos mais efetivos para o tratamento de efluentes têxteis (DANESHVAR et al., 2004; ZHAO et al., 2005; ELMORSI et al., 2012). Outros processos como co-

agulação química e adsorção em carvão ativado são usados para a remoção destes poluentes, porém apenas transferem os contaminantes de uma fase para outra, o que exige tratamentos posteriores (SLOKAR; MARECHAL, 1998; GALINDO; KALT, 1999; ZHANG et al., 2012).

O setor têxtil, em geral, emprega elevada demanda de água em seus processos, gerando conseqüentemente grandes quantidades efluentes coloridos, os quais, geralmente, possuem altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes aniônicos, sólidos em suspensão e matéria orgânica, principalmente na forma de corantes com estruturas complexas (NEAMTU et al., 2002; ROTT; MINKE, 1999; JAIN et al., 2012).

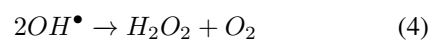
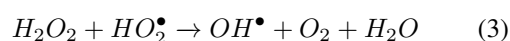
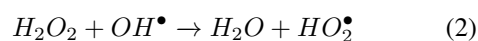
Os efluentes gerados precisam atender a padrões de qualidade para lançamento nos corpos hídricos de acordo com a Resolução Federal CONAMA N° 357 de 17 de Março de 2005, complementada pela Resolução Federal CONAMA N° 430 de 13 de Maio de 2011 que estabelece que os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe no qual o mesmo está enquadrado. Dessa forma em se tratando de corpos hídricos formados por águas doces ou salinas deve haver ausência de corantes artificiais em efluentes lançados nos corpos hídricos formados por águas doces ou salinas, ou que, em se tratando de águas salinas que os mesmos possam ser removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencionais com índice de cor até 75 mg Pt/L.

Em se tratando de substâncias químicas tóxicas e recalcitrantes independente das suas concentrações, os tratamentos primários e secundários convencionais não são eficientes. As tecnologias aplicáveis precisam ser limpas e eficientes, de alto poder destruidor dos poluentes, bem como de baixo custo. Os processos oxidativos avançados (POAs) envolvem a geração de radicais hidroxilos (\bullet OH) que convertem as moléculas orgânicas presentes com extrema rapidez dado que as constantes de velocidade para as reações entre os poluentes orgânicos e esses radicais são muito altas (DEZOTTI, 2008; GARCIA; BUITRON, 2012).

De uma maneira geral, os processos oxidativos avançados (POAs) podem ser homogêneos quando empregam as combinações químicas de H₂O₂, O₃ e reagente de Fenton com ou sem radiação UV, e heterogêneos quando empregam as combinações de UV e H₂O₂ na presença de um catalisador que é um metal semicondutor (DEZOTTI, 2008; TUNC; GURKAN; DUMAN, 2012). A fotólise direta com UV usa a radiação absorvida pela molécula para gerar espécies excitadas e a partir destas espécies se desencadeia a descoloração oxidativa. Por outro lado no processo UV/H₂O₂ ocorre

a geração de radicais hidroxilos (\bullet OH) através da fotólise do H₂O₂, os quais são espécies de alto potencial de oxidação ($E^0 = 2,8$ V), superior a outros oxidantes clássicos como o ozônio, cloro e dióxido de cloro (STEFAN, 2004). A relação DQO/DBO para um efluente doméstico ou industrial é uma medida da biodegradabilidade do mesmo sendo que valores desta relação na faixa de 1,5 a 2,5 indicam que os poluentes são principalmente biodegradáveis e valores superiores a 5 indicam a presença de poluentes não biodegradáveis. Uma relação DQO/DBO » 2 pode inviabilizar o tratamento biológico direto de um efluente por conter substâncias recalcitrantes, e nesses casos é recomendado um pré-tratamento para aumentar sua biodegradabilidade.

Entre os POAs a combinação da luz UV com o agente oxidante (H₂O₂), o chamado processo fotoquímico UV/H₂O₂, é comumente mais eficiente do que os processos em que se utiliza apenas a radiação UV ou somente o oxidante. No processo fotoquímico a luz ultravioleta proporciona a cisão da molécula de peróxido de hidrogênio produzindo uma série de reações, conforme apresentado nas equações 1 a 4 (KALSOON et al., 2012; MELISA et al., 2013).



Neste contexto o objetivo deste trabalho é avaliar a descoloração oxidativa do corante azo corante Acid Red 27 (AR 27) utilizando o sistema de oxidação avançada UV/H₂O₂. Os experimentos foram conduzidos em fase aquosa a partir do acompanhamento dos parâmetros físico-químicos de cor (absorbância) e matéria orgânica (DQO) para os diferentes valores de concentrações iniciais investigados. O estudo visa ainda contribuir no desenvolvimento de tecnologias de tratamento de efluentes para os setores industriais que operam com moléculas corantes, geralmente tóxicas e recalcitrantes devido à presença de anéis benzênicos, naftalênicos e grupamentos sulfônicos.

2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O azo corante Acid Red 27 - AR 27 (C.I. 26900) foi fornecido pela empresa SIGMA e utilizado sem qualquer processo prévio de purificação na obtenção do meio

aquoso sintético utilizado nos experimentos. O peróxido de hidrogênio (H₂O₂ 30% P.A) foi fornecido pela ISOFAR e utilizado como fonte de radicais hidroxilos. A água ultra pura (18,2 MΩ-cm) proveniente de uma unidade UHQ PS-MK3 ELGA foi usada como solvente em todas as soluções.

Experimentalmente para os estudos de descoloração oxidativa UV/H₂O₂ foram utilizadas soluções aquosas do corante Acid Red 27 (Figura 1) nas concentrações iniciais (C₀) de 2,5; 5; 10; 15; 25 e 50 mg/L e diferentes concentração de H₂O₂ (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 e 15,0 mmol/L) para a otimização da reação oxidativa.

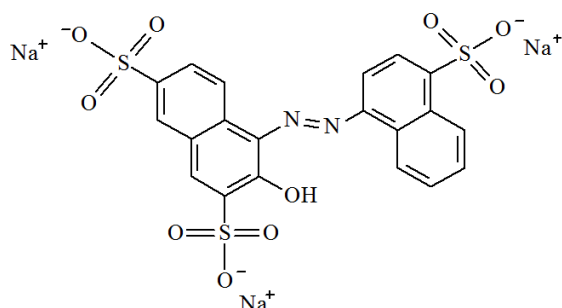


Figura 1: Estrutura molecular do azo corante Acid Red 27 (AR 27). Fonte: Autores (2014).

Os ensaios de descoloração/degradação foram conduzidos à temperatura ambiente (27 °C) e em pH natural (6,5) usando um reator em batelada (Figura 2). O reator possui uma lâmpada UV de vapor de mercúrio 5 W com intensidade luminosa (I_o) de aproximadamente 17,7 mW/cm². O volume reacional útil adotado no reator foi de 100 mL. Todos os ensaios experimentais foram realizados em duplicata.

As alíquotas para acompanhamento cinético da degradação foram retiradas em intervalos regulares de tempo até 120 minutos de reação. As análises de cor foram realizadas por espectroscopia UV-Vis utilizando-se um espectrofotômetro Genesys 10 UV da Thermo Scientific no comprimento de onda de 520 nm, o qual corresponde à máxima absorção molecular do corante azo corante AR 27. Para fins de comprovação dos processos degradativos foram realizadas determinações dos teores de nitrato e sulfato por cromatografia iônica. A análise cromatográfica foi realizada em um cromatografo de íons ICS 2100 da Thermo-Dionex modelo, o qual é equipado com uma pré-coluna Dionex Ion Pac AG11-HC (2 x 50 mm) em conjunto a coluna Dionex IonPac AS11-HC (2 x 250 mm), sob temperatura de 30 °C e corrente elétrica de 33 mA. O eluente utilizado foi

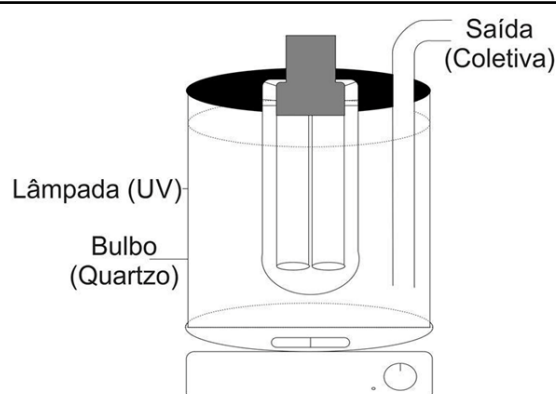


Figura 2: Reator de bancada utilizada nos estudos de descoloração oxidativa UV/H₂O₂. Fonte: Autores (2014).

representado por uma solução de KOH com gradiente de eluição de: 0 min - 1 mmol/L; 5 min - 15 mmol/L; 20 min - 35 mmol/L; 27 min - 1 mmol/L em fluxo de 0,38 mL/min.

2.1 Modelagem cinética da descoloração oxidativa

O estudo cinético da descoloração oxidativa a temperatura ambiente foi inicialmente realizado segundo o modelo clássico linear de primeira (forma linear), conforme apresentado na equação 5.

$$\ln \frac{C_1}{C_0} = -k_1 \cdot t \quad (5)$$

Onde: C₁ é a concentração do azo corante AR 27 em um dado tempo reacional t, C₀ é a concentração inicial do azo corante AR 27 e k₁ (min⁻¹) é a constante cinética de primeira ordem.

Oportunamente o tempo de meia-vida também (t_{1/2}) foi estimado para auxiliar na interpretação cinética das reações oxidativas. O tempo de meia-vida (ln2/k₁) é definido como o tempo necessário para que a concentração do reagente reduza-se à metade do seu valor inicial.

Para estimativa das eficiências de descoloração para as amostras do corante Acid Red 27 foi utilizada a equação 6 a seguir:

$$Eficiência(\%) = \left(1 - \frac{C_f}{C_0}\right) \times 100\% \quad (6)$$

Onde: C_f corresponde à concentração das soluções de corante (AR 27) em um dado tempo reacional t após o tratamento oxidativo e C₀ é a concentração inicial da solução do corante em estudo.

ESTUDOS DE DESCOLORAÇÃO OXIDATIVA DO AZO CORANTE ACID RED 27 EM MEIO AQUOSO USANDO PROCESSO UV/H₂O₂

Tabela 1: Efeito da concentração de oxidante sobre a cinética de descoloração fotoquímica do corante Acid Red 27 segundo o modelo de primeira ordem. C₀ (AR 27) = 25 mg/L, T = 27 °C, pH = 6,5 e I₀ = 17,7 mW/cm².

[H ₂ O ₂] ₀ (mmol/L)	R ²	Descoloração (%)	k ₁ (min ⁻¹)	(t _{1/2}) _h (min)		Erro %
				Calculado	Experimental	
0,10	0,9899	59,1	0,0302	23,1	24,8	7,22
0,25	0,9972	86,9	0,0684	10,1	11,1	8,11
0,50	0,9936	96,7	0,1151	6,01	6,31	4,72
1,00	0,9961	98,9	0,1493	4,62	4,71	2,13
2,00	0,8749	98,3	0,1464	4,74	3,86	22,7
5,00	0,8424	99,8	0,2043	3,39	1,76	92,6
10,0	0,5817	99,8	0,1394	4,97	1,34	270,8
15,0	0,5992	99,1	0,1456	4,76	1,39	242,4

Fonte: Autores (2014).

Tabela 2: Efeito da concentração de corante sobre a cinética de descoloração fotoquímica do corante AR 27 segundo o modelo de primeira ordem. C₀ (H₂O₂) = 1,0 mmol/L, T = 27° C, pH = 6,5 e I₀ = 17,7 mW/cm².

Descoloração (%)	C ₀ (mg/L)	R ²	k ₁ (min ⁻¹)	(t _{1/2}) _h (min)		Erro %
				Calculado	Experimental	
99,6	2,5	0,9566	0,17284	4,1	1,6	150
99,8	5,0	0,9636	0,19899	3,5	1,5	133
99,9	10,0	0,9598	0,22698	3,1	1,6	94
98,8	15,0	0,8884	0,12587	5,5	3,6	53
98,1	25,0	0,9762	0,13571	5,1	4,7	8,5
89,1	50,0	0,9981	0,07411	9,4	9,9	5,1

Fonte: Autores (2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra as eficiências de descoloração oxidativa do corante Acid Red 27 para as diferentes concentrações de oxidante (H₂O₂) empregadas neste estudo.

Da análise da Tabela 1 observa-se uma elevada descoloração do corante (> 95%) a partir de concentrações de 1,0 mmol/L de oxidante, o que tende a minimizar o emprego desta espécie química e constitui fator atraente para futuras implementações. A partir dessa concentração adotada como ótima verifica-se uma tendência de mudança de ordem com o aumento da concentração do oxidante de forma que a velocidade da reação passa a depender da concentração do oxidante e dos demais íons fornecidos pela decomposição do mesmo.

A Figura 3 mostra a cinética de degradação oxidativa do azo corante Acid Red 27 a temperatura ambiente (27 °C) para as diferentes concentrações de oxidante segundo o modelo de 1ª ordem.

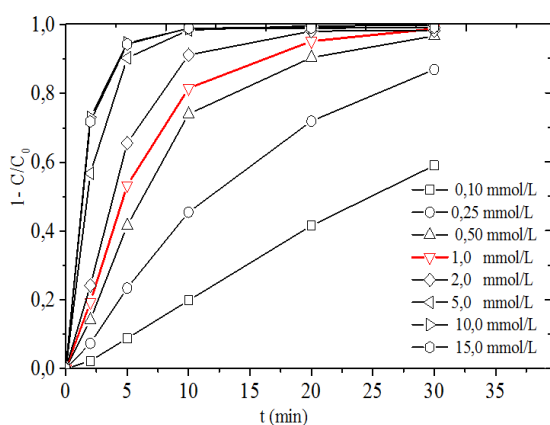


Figura 3: Efeito da concentração de H₂O₂ sobre a descoloração do azo corante Acid Red 27. C₀ (AR 27) = 25 mg/L, T = 27 °C, pH = 6,5 e I₀ = 17,7 mW/cm². Fonte: Autores (2014).

Experimentalmente na Figura 3, observa-se que os incrementos de eficiência de descoloração a partir de 20

min não justificam o uso de concentrações do oxidante superiores a 1,0 mmol/L. A velocidade inicial de descoloração continua a crescer até a concentração limite de 5 mmol/L do oxidante e a partir dessa concentração se tem um ambiente químico em que o excesso de peróxido pode consumir os radicais hidroxil originando outras espécies reativas que diminuem a cinética reacional (CHANG et al., 2010).

A Tabela 2 apresenta as eficiências de descoloração do azo corante AR 27 nas diferentes concentrações iniciais testadas.

A Figura 4 mostra a cinética de degradação oxidativa do azo corante Acid Red 27 a temperatura ambiente (27 °C) para as diferentes concentrações iniciais de corante segundo o modelo de 1ª ordem.

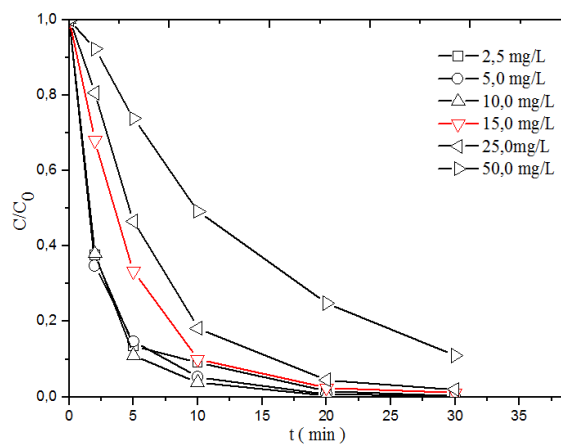


Figura 4: Efeito da concentração inicial de corante (AR 27) sobre a descoloração oxidativa. C₀ (H₂O₂) = 1,0 mmol/L, T = 27 °C, pH = 6,5 e I₀ = 17,7 mW/cm². Fonte: Autores (2014).

O tratamento segundo o processo fotoquímico (UV/H₂O₂) produz elevadas eficiências de descoloração e de remoção de DQO para todas as amostras, independente da concentração inicial de corante na faixa de valores utilizada. Entretanto do ponto de vista ciné-

tico observa-se um aumento da constante de velocidade entre 2,5 e 5 mg/L um efeito nitidamente inibidor da concentração inicial de corante a partir de 15 mg/L. A partir desta concentração o decréscimo da taxa de reação pode ser atribuído a dificuldade de penetração da radiação UV nesta condição, conforme já observado por Chang et al. (2010). Na literatura, El-Dein, Libra e Wisemann (2003) observaram comportamento semelhante ao avaliar a cinética de oxidação avançada do corante Reactive Black 5 (RB 5). Neste caso os autores observaram degradações eficientes até um limite de 140 mmol/L do oxidante (H₂O₂). Posteriores incrementos de concentraram resultaram em pequenos aumentos da velocidade o que torna a reação independente da concentração do oxidante. O aumento da fotólise do H₂O₂ a altas concentrações é contrabalanceado pelo sequestro dos radicais hidroxilos (•OH) pelo H₂O₂.

Quanto a caracterização preliminar do efluente produzido a Figura 5 apresenta as varreduras no UV-Vis para as amostras de Acid Red 27 (AR 27) nos diferentes valores de concentração inicial investigados.

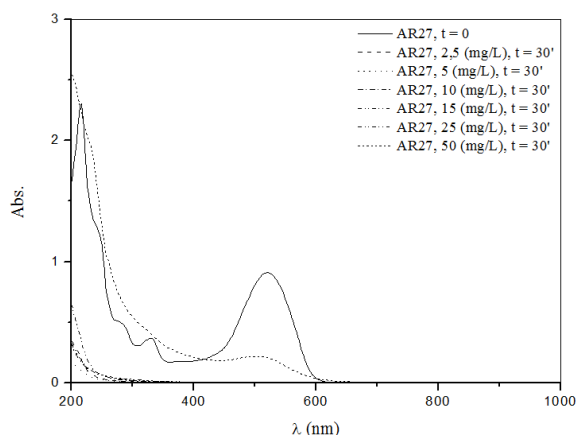


Figura 5: Espectros UV-Vis do azo corante Acid Red 27 para as soluções aquosas tratadas pelo processo UV/H₂O₂. C₀ (H₂O₂) = 1 mmol/L, I₀ = 17,7 mW/cm², T = 27 °C, pH = 6,5. Fonte: Autores (2014).

Na Figura 5 observa-se um desaparecimento completo das bandas de absorção molecular dos grupos naftalênicos e fenólicos em 280 e 330 nm, respectivamente, representando uma mineralização praticamente total da matéria orgânica inicial. Quando se trata dos grupos cromóforos (520 nm), a descoloração apresenta comportamento similar e pode ser considerada total (100

Adicionalmente, as amostras degradadas foram ainda submetidas à análise por cromatografia iônica com vistas à quantificação dos teores de nitrato e sulfato

para fins de avaliação da mineralização ocorrida. Oportunamente foram identificadas as presenças dos íons: lactato, acetato, formiato, maleato/carbonato, oxalato, nitrito e ftalato (Figura 6).

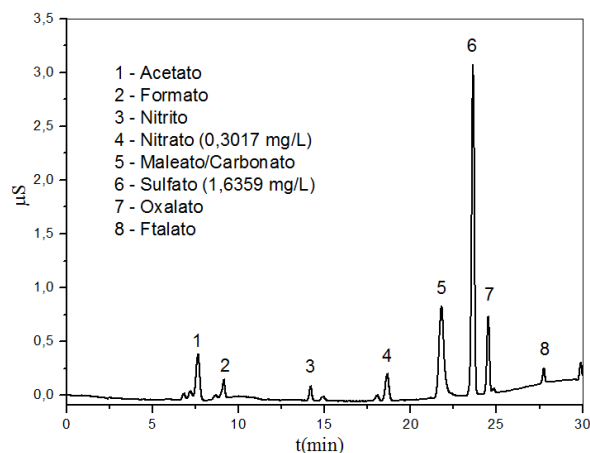


Figura 6: Cromatograma de íons da solução aquosa do azo corante Acid Red 27 segundo o tratamento fotoquímico (UV/H₂O₂). C₀ (H₂O₂) = 1 mmol/L, I₀ = 17,7 mW/cm², T = 27 °C, pH = 6,5. Fonte: Autores (2014).

4 CONCLUSÕES

Em geral, o processo fotoquímico se mostrou eficiente no tratamento da solução aquosa do azo corante Acid Red 27, apresentando resultados bastante promissores (entre 90 e 100%) de descoloração/degradação em todos os valores de concentração inicial investigados (2,5 a 50 mg/L).

O aumento da concentração do oxidante (H₂O₂) acarreta o incremento da taxa de descoloração do azo corante AR 27. O ponto ótimo a partir do qual os incrementos nas eficiências não justificam aumentos significativos na concentração do oxidante corresponde a uma concentração de 1 mmol/L de H₂O₂ em um tempo de descoloração de 20 minutos. Nas condições testadas ocorre aumento da taxa (velocidade) de descoloração até a concentração limite de 10 mg/L.

Do ponto de vista cinético, o modelo de primeira ordem mostrou boas correlações dos dados experimentais até a concentração limite de 1,0 mmol/L do oxidante, quando então ocorre, provavelmente, uma mudança de ordem da reação. Os tempos de meia-vida calculados nesta concentração de oxidante ratificam esta suposição, pois os erros experimentais medidos a partir de 2,0 mmol/L de H₂O₂ são proibitivos e inconsistentes (> 22 %).

Nos espectros UV-Vis de amostras degradadas, fotoquimicamente se verifica a diminuição das bandas cromóforas de todos os azos corantes bem como das bandas relativas à parte aromática das moléculas indicando ser este processo eficiente em termos de descoloração e degradação. As análises por cromatografia iônica revelam a presença em baixas concentrações dos íons lactato, acetato, formiato, maleato/carbonato, oxalato, nitrito e ftalato nas amostras; o que confirma o processo de mineralização dos corantes em estudo.

REFERÊNCIAS

- CHANG, M. W.; CHUNG, C. C.; CHERN, J. M.; CHERN, T. Dye decomposition kinetics by UV/H₂O₂: Initial rate analysis by effective kinetic modelling methodology. *Chemical Engineering Science*, v. 65, p. 135 – 140, 2010.
- DANESHVAR, N.; RABBAN, M.; MODIRSHAHLA, N.; BEHNAJADY, M. A. Critical effect of hydrogen peroxide concentration in photochemical oxidative degradation of C.I. Acid Red 27 (AR27). *Chemosphere*, v. 56, n. 10, p. 895 – 900, 2004.
- DEZOTTI, M. *Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos*. Rio de Janeiro: E-papers serviços editoriais Ltda, 2008. 354p.
- EL-DEIN, A. M.; LIBRA, J. A.; WIESMANN, U. Mechanism and Kinetic model for the decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by hydrogen peroxide and UV radiation. *Chemosphere*, v. 52, n. 6, p. 1069 – 1077, 2003.
- ELMORSI, T. M.; RIYAD, Y. M.; MOHAMED, Z. H.; BARY, H. M. H. A. el. Decolorization of mordant red 73 azo dye in water using H₂O₂/UV and photo-Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 213 - 214, n. 30, p. 378–386, 2012.
- GALINDO, C.; KALT, A. UV-H₂O₂ oxidation of mono azo dyes in aqueous media: a kinetic study. *Dyes and Pigments*, v. 40, n. 1, p. 27 – 35, 1999.
- GARCIA, D. P.; BUITRON, G. Evaluation of three reagents dosing strategies in a photo-Fenton process for the decolorization of azo dye mixtures. *Journal of Hazardous Materials*, v. 217 - 218, p. 293 – 300, 2012.
- JAIN, K.; SHAH, V.; CHAPLA, D.; MADAMWAR, D. Decolorization and degradation of azo dye reactive violet 5R by an acclimatized indigenous bacterial mixed cultures-SB4 isolated from anthropogenic dye contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, v. 213 - 214, p. 378 – 386, 2012.
- KALSOON, U.; ASHRAF, S. A.; MEETANI, M. A.; BHATTI, M. A. R. H. N. Degradation and kinetics of H₂O₂ assisted photochemical oxidation of Remazol Turquoise Blue. *Chemical Engineering Journal*, v. 200 - 202, p. 373 – 379, 2012.
- MELISA, L.; BRANDI, R. J.; CASSANO, A. E.; ZALAZAR, C. S. A kinetic model for the degradation of dichloroacetic acid and formic acid in water employing the H₂O₂/UV process. *Chemical Engineering Journal*, v. 225, p. 423 – 432, 2013.
- NEAMTU, M.; SIMINICEANU, I.; YEDILER, A.; KETTRUP, A. Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation. *Dyes and Pigments*, v. 53, n. 2, p. 93 – 99, 2002.
- ROTT, U.; MINKE, R. Overview of wastewater treatment and recycling in the textile processing industry. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 1, p. 137 – 144, 1999.
- SLOKAR, Y.; MARECHAL, A. M. L. Methods of decoloration of textile wastewaters. *Dyes and Pigments*, v. 37, n. 4, p. 335 – 356, 1998.
- STEFAN, M. I. UV photolysis: background. in: . ed. In: PARSONS, S. (Ed.). *Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment*. London: IWA Publishing, 2004. p. 7 – 43.
- TUNC, S.; GURKAN, T.; DUMAN, O. On-line spectrophotometric method for the determination of optimum operation parameters on the decolorization of Acid Red 66 and Direct Blue 71 from aqueous solution by Fenton process. *Chemical Engineering Journal*, v. 181 - 182, p. 431 – 442, 2012.
- ZHANG, J.; JIANG, M. F. Y.; HU, M.; LI, S.; ZHAI, Q. Efficient decolorization/degradation of aqueous azo dyes using buffered H₂O₂ oxidation catalyzed by a dosage below ppp level of chloroperoxidase. *Chemical Engineering Journal*, v. 191, p. 236 – 242, 2012.
- ZHAO, W.; WU, Z.; SHI, H.; WANG, D. UV Photodegradation of azo dye Diacryl Red X-GRL. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 40, n. 1, p. 97 – 106, 2005.