

APLICAÇÃO DE FOTÓLISE DIRETA E UV/H₂O₂ A EFLUENTE SINTÉTICO CONTENDO DIFERENTES CORANTES ALIMENTÍCIOS

Sandro Marmitt, Lilian V. Pirotta e Simone Stülp*

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Av. Avelino Tallini, 171, 95900-000 Lajeado - RS, Brasil

Recebido em 20/4/09; aceito em 11/8/09; publicado na web em 8/1/10

PHOTOLYSIS AND UV/H₂O₂ TREATMENT OF A SYNTHETIC EFFLUENT CONTAINING FOOD DYES. Food industries employ a lot of synthetic dyes in their products. Most of these dyes are very stable face to the conventional treatments. This work studied the use of advanced oxidation process (AOP) as an alternative to the conventional ones to degrade a synthetic food effluent (photolysis and UV/H₂O₂ in continuous reactor). The more efficient process was the UV/H₂O₂ and it presented decoloration and degradation energetic efficiency values equal to 30.775 kWh m⁻³ and 269.909 kWh m⁻³, respectively. The color reduction was 96.4% and COD decrease was 38.56%.

Keywords: synthetic dyes; effluent treatments; advanced oxidative processes.

INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos é uma das que mais cresce mundialmente, e a de doces é uma das que tem o maior destaque, aumentando o faturamento a cada ano.¹

Neste contexto, cresce a competitividade, tendo as empresas a necessidade de investirem no desenvolvimento de produtos a fim de deixá-los o mais atraentes possíveis usando, para isso, uma gama de aditivos alimentícios, dos quais os corantes artificiais possuem destaque.¹⁻³ São utilizados tanto para conferir cor a produtos que não apresentam cor naturalmente, como também para corrigir ou intensificar a cor de produtos que foi alterada ou destruída durante o processamento industrial.^{4,5} Além disso, estes apresentam alta estabilidade à luz, ao calor e à variação de pH, o que intensifica a sua justificativa de uso.⁶

A estimativa da produção mundial de corantes e pigmentos está entre 750 a 800 mil toneladas ao ano, das quais 26 mil são consumidas anualmente no Brasil.⁷

No Brasil, conforme Resolução n° 387, de 05/8/1999, imposta pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), permite-se o uso de onze corantes artificiais em produtos alimentícios: amarelo tartrazina (CI 19140), amarelo crepúsculo (CI 15985), amaranço (CI 16185), ponceau 4R (CI 16255), eritrosina (CI 45430), vermelho 40 (CI 16035), azul indigotina (CI 73015), azul brilhante FCF (CI 42090), azul patente V (CI 42051), azorrubina (CI 14720) e verde rápido (CI 42053).⁸

Tem-se discutido a respeito da toxicidade dos corantes sintéticos e dos riscos que podem causar à saúde. Geralmente estão associados ao modo e ao tempo de exposição aos corantes. Muitos dos problemas de saúde, como alergias, rinite, broncoconstrição, hiperatividade, danificação cromossômica, tumores, entre outros, têm sido reportados por diversos autores.⁹⁻¹²

Os efluentes gerados pela indústria alimentícia são capazes de alterar as características físico-químicas e biológicas dos cursos d'água devido a seu caráter ácido ou básico, elevadas concentrações de sólidos suspensos e fortes colorações, o que leva à depleção do oxigênio dissolvido e modificações da biota local.^{7,13} As fortes colorações ainda atuam de modo a diminuir a capacidade de penetração da radiação ultravioleta no leito receptor.

Os corantes sintéticos presentes nos efluentes de indústria alimentícia são caracterizados por possuírem anéis aromáticos e um

ou mais grupos cromóforos como, por exemplo, os grupamentos antraquinona, azo, nitroso e xantênicos.^{9,14}

Os corantes azoicos fazem parte de uma das classes mais importantes de corantes sintéticos comerciais, devido a sua solubilidade, baixo custo, estabilidade e variedade de cores. Devido a esses fatores, são amplamente utilizados em diversos tipos de indústrias, tais como têxteis,¹⁵ cosméticos, couro, papel e alimentos.

Os compostos azo são resistentes à degradação aeróbia e em condições anaeróbias, a ligação azo é reduzida gerando aminas aromáticas, que são incolores, mas também podem ser tóxicas e potencialmente cancerígenas.¹⁶

Existem muitos compostos que são tóxicos em determinadas concentrações ou que não são biodegradáveis, sendo que, nestes casos, os tratamentos biológicos convencionais se apresentam ineficientes ou inadequados para degradar estes compostos químicos, como é o caso dos corantes azoicos que são muito estáveis.¹⁷⁻¹⁹

Para estes casos nos quais existe a ineficiência frente ao tratamento biológico, os Processos Oxidativos Avançados (POA's) se apresentam como uma alternativa eficaz na descontaminação/degradação de efluentes com carga de poluentes tóxicos biologicamente recalcitrantes. Os POA's são uma tecnologia que visa à mineralização¹⁹ dos poluentes orgânicos de modo a transformá-los em substâncias inofensivas ou inertes, como dióxido de carbono, água e compostos inorgânicos,^{20,21} diferentemente dos métodos que envolvem apenas separação de fases. Estes métodos são responsáveis pela modificação estrutural química dos poluentes pela atuação de espécies altamente oxidantes, geralmente na forma radicalar.^{21,22}

Os POA's estão sendo amplamente utilizados na descoloração de corantes,^{19,23-25} na degradação de compostos orgânicos,²⁶ medicamentos^{27,28} e tratamento de águas residuárias,^{29,30} sendo indicados como uma das tecnologias mais promissoras na remoção de corantes, devido a sua alta eficiência.³¹ O presente trabalho teve por objetivo a avaliação da aplicação de processo de fotólise direta e UV/H₂O₂, no tratamento de um efluente sintético constituído de corantes alimentícios.

PARTE EXPERIMENTAL

Efluente sintético de corantes alimentícios

Foram selecionados 6 corantes alimentícios sintéticos dos 11 permitidos pela ANVISA para aplicação alimentícia para simular um efluente industrial, sendo eles: amarelo tartrazina (CI 19140),

*e-mail: stulp@univates.br

amarelo crepúsculo (CI 15985), vermelho bordeaux - mistura de 95% de amarantho (CI 16185) e 5% de azul brilhante FCF (CI 42090), eritrosina (CI 45430), azul indigotina (CI 73015) e azul brilhante FCF (CI 42090); a Figura 1 apresenta suas fórmulas estruturais. Todos os corantes foram adquiridos da indústria Duas Rodas – SC e não sofreram purificação prévia. Utilizou-se uma mistura dos 6 corantes numa proporção de 30 mg L⁻¹ cada, totalizando 180 mg L⁻¹ no efluente final.

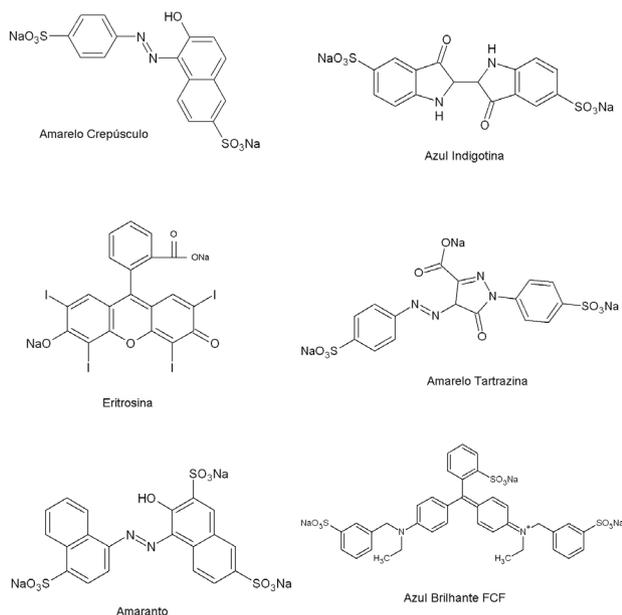


Figura 1. Fórmulas estruturais dos diferentes corantes alimentícios sintéticos constituintes do efluente sintético

Tratamento por fotólise direta e UV/H₂O₂

Tratamento em reator de fluxo laminar ascendente

Os ensaios fotoquímicos realizados no reator de fluxo laminar ascendente (Figura 2) foram conduzidos durante um período de 20 min, partindo-se de uma solução inicial de efluente de 6 L. A admissão do efluente deu-se através de uma bomba peristáltica, tendo sido executada duas vezes consecutivamente, simulando a passagem contínua do efluente por um sistema contendo duas lâmpadas de mesma potência. Procedeu-se com a incidência de radiação UV mediante o uso de lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão (Osram HQL 400 W), sem o bulbo de vidro externo, utilizando somente o filamento desta lâmpada.^{25,32} Os tratamentos foram igualmente realizados com ou sem adição do oxidante peróxido de hidrogênio 30 mmol L⁻¹.

O tempo de irradiação para sistemas contínuos não se dá em função do tempo total do experimento, uma vez que os volumes do reator e do efluente não são os mesmos. Assim, o tempo de irradiação (t) é calculado considerando-se o tempo total (t_t) do experimento desde o início até o final da irradiação, o volume útil do reator (V_u) e o volume total (V_t) de efluente a ser tratado, conforme a Equação 1:³³

$$t = t_t \times \frac{V_u}{V_t} \quad (1)$$

Como o volume útil do reator é de 630 mL, o volume total de efluente é de 6 L e o tempo total do experimento 20 min, deduz-se que o tempo de irradiação do efluente é de 2,1 min, ou seja, com vazão de 18 L h⁻¹.

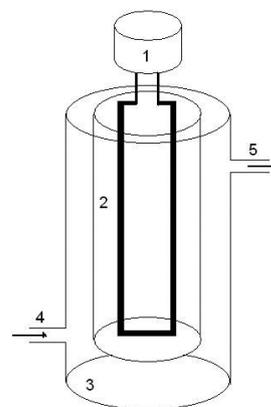


Figura 2. Esquema do reator contínuo: 1 – filamento de lâmpada UV, 2 – tubo de quartzo, 3 – célula, 4 – entrada do efluente e 5 – saída do efluente

Acompanhamento dos tratamentos

Durante a realização dos ensaios fotoquímicos com e sem presença do reagente peróxido de hidrogênio, alíquotas do efluente sintético foram coletadas periodicamente para posterior caracterização através do uso de técnicas analíticas, como demanda química de oxigênio (DQO), segundo metodologia descrita,³⁴ e espectrofotometria no UV-Visível, com o auxílio de um espectrofotômetro Perkin Elmer lambda 25 UV/Vis. Concomitantemente, monitoraram-se os valores de temperatura, pH (Digimed DM 20) e condutividade (Digimed DM 32) das soluções de efluente. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicação do processo de fotólise direta no reator contínuo

O processo de fotólise direta se deu mediante a incidência de radiação ultravioleta. Partiu-se de uma solução de 6 L de efluente bruto e fez-se a passagem deste pelo reator duas vezes consecutivamente, de modo a simular a presença de dois reatores sequenciais. Coletaram-se alíquotas do efluente durante os ensaios e prosseguiu-se com análises de temperatura, pH, condutividade, varreduras de absorvância e demanda química de oxigênio.

A Figura 3 apresenta as varreduras de absorvância na faixa do UV-Vis dos experimentos de fotólise direta.

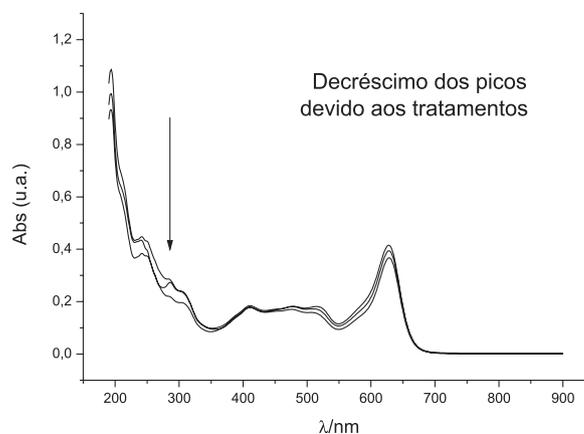


Figura 3. Espectro de absorvância das soluções de efluente de corantes alimentícios antes e após aplicação do tratamento por fotólise direta

Verificando-se os espectros, pode-se observar que há uma mínima redução dos valores de absorvância pela aplicação do processo de fotólise, em comprimentos de onda em torno de 300 nm, indicando baixa eficiência na remoção de coloração da solução de efluente de corantes alimentícios.

Considerando-se o comprimento de onda de absorção máxima como 628 nm, nos ensaios realizados, os valores de redução de coloração (absorvância) da solução de efluente foram, respectivamente, 5,09 e 11,6%, para o primeiro e para o segundo tratamento. Isto é um indicativo de que o reator contínuo deve ser revisto e melhorado ou de que as soluções de efluente devam sofrer um maior número de processos de fotólise.

Os dados experimentais obtidos para os parâmetros temperatura, pH e condutividade e demanda química de oxigênio antes e após aplicação do processo de fotólise direta são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de temperatura, condutividade, pH e demanda química de oxigênio das soluções de efluente ao longo da aplicação do processo de fotólise direta em reator contínuo

Nº de tratamentos	Temperatura (°C) ± σ	Condutividade (mS m ⁻¹) ± σ	pH ± σ	DQO (mg O ₂ L ⁻¹) ± σ
0	23,4 ± 0,2	19,4 ± 0,2	5,37 ± 0,03	31,62 ± 2,96
1	34,8 ± 0,3	20,4 ± 0,2	4,75 ± 0,02	31,58 ± 2,79
2	39,7 ± 0,2	19,2 ± 0,2	4,52 ± 0,04	29,11 ± 2,13

Verifica-se que a temperatura do efluente após o tratamento por fotólise direta se encontra dentro do permitido pela legislação, isto é, menor que 40 °C (Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA – RS),³⁵ porém os valores de pH estão em desconformidade, sendo que deveriam estar entre pH 6,0 e 9,0 (CONSEMA – RS),³⁵ havendo necessidade de correção do mesmo. Para a condutividade pode-se perceber que não há variação significativa, demonstrando que a quantidade média de moléculas dissolvidas continua praticamente a mesma, reforçando a hipótese de que o tratamento por fotólise direta não é eficiente no tratamento dos efluentes sintéticos estudados.

Em relação aos ensaios de demanda química de oxigênio (Tabela 1), verifica-se que o valor da DQO reduziu em 8%, após o segundo tratamento, atingindo 29,11 mg O₂ L⁻¹, o que condiz com a remoção de coloração, a qual teve uma redução de 11,6%.

Aplicação do processo conjugado (UV/H₂O₂) no reator contínuo

De modo similar aos ensaios de fotólise direta, procedeu-se com a incidência de radiação ultravioleta, porém na presença do oxidante (processo conjugado). Durante a realização dos experimentos de UV/H₂O₂, coletaram-se alíquotas do efluente que foram submetidas a análises de temperatura, condutividade, pH e demanda química de oxigênio, conforme se pode observar na Tabela 2.

Avaliando a Tabela 2, pode-se verificar que houve abaixa-

Tabela 2. Dados de temperatura, condutividade, pH e demanda química de oxigênio das soluções de efluente durante a aplicação do processo UV/H₂O₂

Nº de tratamentos	Temperatura (°C) ± σ	Condutividade (mS m ⁻¹) ± σ	pH ± σ	DQO (mg O ₂ L ⁻¹) ± σ
0	24,3 ± 0,2	19,2 ± 0,1	5,69 ± 0,05	31,62 ± 2,96
1	34,3 ± 0,2	81,3 ± 0,1	3,97 ± 0,03	25,57 ± 2,87
2	41,2 ± 0,2	105,1 ± 1,4	3,57 ± 0,04	19,42 ± 2,85

mento dos valores de pH do meio e aumento da condutividade, isto pode ser devido ao fato de o número médio das moléculas orgânicas dissolvidas ou carregadas eletricamente ter aumentado, provavelmente pela quebra das ligações (degradação) promovida pelo tratamento. Quanto aos valores de pH, há uma necessidade de neutralização prévia para que se possa fazer o lançamento deste efluente em algum corpo receptor.

A temperatura final do efluente ficou um pouco elevada em relação ao padrão permitido pela legislação (<40 °C),³⁵ entretanto este parâmetro pode ser corrigido durante a aplicação do tratamento, com aplicação de processos de resfriamento, ou até mesmo posteriormente a este.

Além do acompanhamento destes parâmetros, também se realizaram varreduras espectrofotométricas ao longo da região do UV-Vis, de modo a monitorar a diminuição da coloração das soluções do efluente de corantes alimentícios além do seu perfil na região do UV, que é indicativa da presença de compostos orgânicos.

Na Figura 4 estão contidos os espectros de absorvância do efluente antes e após aplicação dos experimentos de UV/H₂O₂.

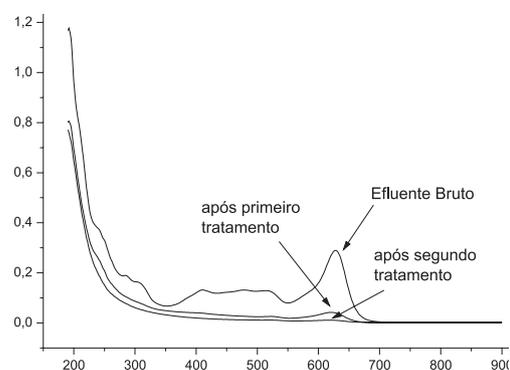


Figura 4. Espectro de absorvância das soluções de efluente de corantes alimentícios durante a aplicação do processo UV/H₂O₂ no reator contínuo

Observando-se o perfil da absorvância do efluente no comprimento de onda de 628 nm, pode-se verificar que a adição do oxidante (peróxido de hidrogênio) acarreta um decréscimo maior dos valores de absorvância em relação ao tratamento por fotólise direta. Assim, há um indicativo de efeito sinérgico do oxidante com incidência de irradiação UV.

Uma análise mais detalhada do perfil da unidade de absorvância normalizada em diferentes comprimentos de onda (400, 450, 500, 550 e 628 nm) é apresentada na Figura 5.

A partir da Figura 5, verifica-se que em todos os comprimentos de onda avaliados houve diminuição dos valores de absorvância após

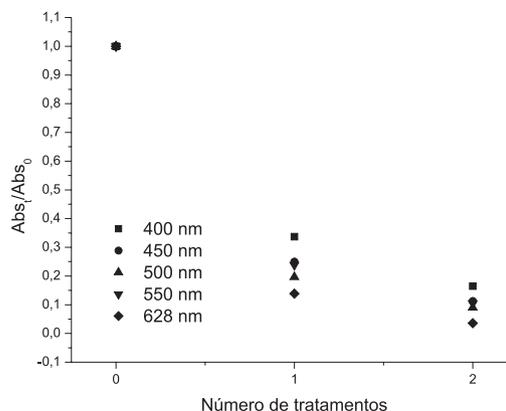


Figura 5. Perfil da absorvância normalizada em diferentes comprimentos de onda ao longo da aplicação do processo UV/H₂O₂ no reator contínuo

o tratamento UV/H₂O₂, sendo que esta redução foi acentuada após o segundo tratamento. Houve redução de 96,4% no comprimento de onda de absorção máxima (628 nm) para o sistema UV/H₂O₂, indicando resultados favoráveis de descoloração quando da utilização deste tratamento.

Análises de demanda química de oxigênio foram realizadas periodicamente durante os ensaios de degradação fotoquímica, de modo a monitorar a concentração de matéria orgânica apresentada pela solução de efluente de corantes alimentícios (Tabela 2).

Ao analisar estes valores, verifica-se novamente que há um maior decréscimo para os ensaios de UV/H₂O₂. O percentual de redução da demanda química de oxigênio foi de 38,56%, resultado este favorável se comparado ao sistema de fotólise direta, onde a redução foi de 8% (Tabela 1).

Aplicação de H₂O₂ às soluções de efluente bruto

Com a finalidade de verificar se a diminuição da absorbância (coloração) e demanda química de oxigênio estava ocorrendo pelo efeito sinérgico da união ultravioleta e peróxido de hidrogênio e não apenas pela presença de H₂O₂, realizaram-se ensaios contendo somente o oxidante peróxido de hidrogênio na concentração de 30 mmol L⁻¹ no efluente bruto, não se prosseguindo com a irradiação de ultravioleta.

Durante o período de repouso, coletaram-se alíquotas do efluente que foram analisadas por leituras espectrofotométricas no comprimento de onda de 628 nm, uma vez que neste ocorreram picos de maior intensidade de absorbância. Os resultados obtidos são ilustrados na Figura 6, que apresenta a plotagem da absorbância em função do tempo de ensaio.

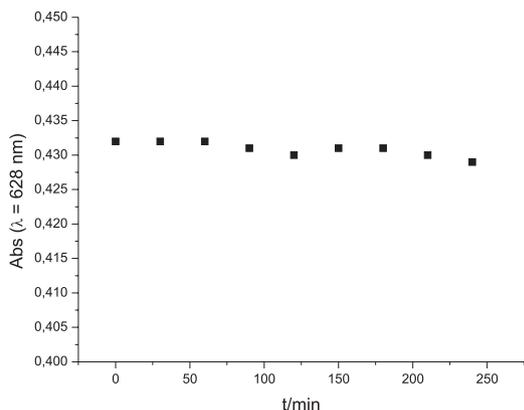


Figura 6. Variação da absorbância no sistema H₂O₂ 30 mmol L⁻¹/efluente bruto em função do tempo

Conforme se pode observar, a absorbância da solução se mantém constante ao longo do tempo, indicando que somente a presença do oxidante peróxido de hidrogênio não é suficiente para que haja uma modificação do sistema, indicando a necessidade da aplicação de radiação UV para que isto possa ser alcançado.

Avaliação cinética

Os ensaios realizados neste estudo tiveram aumento de uma ordem de grandeza no valor da constante cinética de degradação (do primeiro para o segundo tratamento), em comparação a ensaios realizados com filamentos de lâmpadas de 250 W (não apresentados), indicando que o aumento da potência da lâmpada influencia de maneira positiva o sistema. Os valores obtidos para o primeiro e segundo tratamento foram $k_1 = 5,866 \times 10^{-5} \text{ min}^{-1}$ e $k_2 = 6,715 \times 10^{-4}$

min^{-1} , respectivamente (Tabela 3), em termos de redução de coloração do sistema (medidas de absorbância). Avaliando os dados relativos à descoloração do processo (redução de valores de absorbância), verifica-se que o processo de fotólise direta segue cinética de primeira ordem, já que $\ln(\text{Abs}_t/\text{Abs}_0)$ versus tempo possui comportamento linear, com $R = -0,99788$. Para o sistema UV/H₂O₂ o comportamento foi igualmente de primeira ordem.

Tabela 3. Dados de cinética de descoloração obtidos experimentalmente para os ensaios de fotólise direta e UV/H₂O₂ em reator contínuo

Tratamentos	k_1/min^{-1}	k_2/min^{-1}
Fotólise direta	$2,614 \times 10^{-3}$	$3,083 \times 10^{-3}$
UV/H ₂ O ₂	$9,870 \times 10^{-2}$	$8,313 \times 10^{-2}$

Utilizando o tratamento UV/H₂O₂, percebe-se que há uma diminuição dos valores das constantes cinéticas de descoloração para o segundo tratamento (k_2), indicando que é mais difícil tratar o efluente após a aplicação do primeiro tratamento. Isto também pode estar relacionado com a razão radicais hidroxila/poluente, que provavelmente é alterada, modificando assim a velocidade das reações. Nota-se também que existe um efeito sinérgico quando se utiliza o oxidante H₂O₂ no sistema, pois há um acréscimo dos valores das constantes cinéticas de descoloração, sendo uma ordem de grandeza maior em relação aos tratamentos sem a presença de oxidante.

Quanto à avaliação das constantes cinéticas em termos de DQO (degradação de matéria orgânica), os dados podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4. Dados de cinética de DQO obtidos experimentalmente para os ensaios de fotólise direta e UV/H₂O₂ em reator contínuo

Tratamentos	k_1/min^{-1}	k_2/min^{-1}
Fotólise direta	$5,866 \times 10^{-5}$	$6,715 \times 10^{-4}$
UV/H ₂ O ₂	$1,060 \times 10^{-2}$	$9,479 \times 10^{-3}$

As constantes cinéticas de DQO, durante o processo de fotólise direta, apresentaram-se muito baixas, uma vez que praticamente não houve redução da concentração desta; mas, pode-se visualizar um aumento de uma ordem de grandeza no valor da constante cinética de degradação no segundo tratamento realizado.

Para o segundo tratamento, no processo UV/H₂O₂, há uma diminuição dos valores das constantes cinéticas, indicando que existe uma maior dificuldade de degradação do efluente, que pode ser um indicativo do grande consumo de radicais hidroxila na primeira etapa do tratamento (k_1).

Avaliação da eficiência energética dos tratamentos

Na Tabela 5 tem-se os valores calculados das eficiências energéticas³⁶ dos sistemas de tratamento estudados, em termos de eficiência energética por m³ (EE/O). As eficiências foram calculadas em termos de redução de coloração dos sistemas e de decréscimo da DQO após a realização dos tratamentos por fotólise direta e UV/H₂O₂.

Verifica-se que, para este reator, a adição de peróxido de hidrogênio favorece as reações de degradação, uma vez que há um decréscimo de uma ordem de grandeza para a descoloração, em comparação ao processo de fotólise direta. Já no caso da redução de DQO, pode-se observar que há casos onde ocorre uma diminuição de duas ordens de grandeza.

No sistema de tratamento UV/H₂O₂, quando se compara o primeiro tratamento com o segundo, nota-se que geralmente ocorre um

Tabela 5. Valores de eficiência energética por m³ (EE/O) para os processos de fotólise em reator de fluxo contínuo com e sem adição de peróxido de hidrogênio

Tratamentos	EE/O (kWh m ⁻³)			
	Abs ₁	Abs ₂	DQO ₁	DQO ₂
Fotólise direta	978,887	829,921	40264,613	1237,331
UV/H ₂ O ₂	25,922	30,775	241,383	269,909

aumento do consumo energético, em função da formação de outras moléculas, ou seja, compostos intermediários mais recalcitrantes, já que a presença do oxidante (H₂O₂) ainda é observada após o segundo tratamento.

Analisando os resultados obtidos, em termos de eficiência energética e cinética, verifica-se que o sistema UV/H₂O₂ no reator em fluxo contínuo é um tratamento eficiente em termos de redução de coloração, bastando otimizar parâmetros de célula para que seja aumentada a eficiência de degradação de matéria orgânica deste sistema. Isto pode ser obtido, por exemplo, utilizando-se lâmpadas de maiores potências ou, ainda, colocando um maior número de células sequenciais de tratamento. Uma outra opção é diminuir a lâmina de efluente, diminuindo o volume da célula de tratamento.

CONCLUSÕES

Os ensaios de fotólise direta no reator em fluxo laminar ascendente mostraram-se bastante ineficientes na redução da coloração e da matéria orgânica da solução do efluente, tendo apresentado redução máxima de 11,6 e 8% para valores de absorvância e demanda química de oxigênio através do sistema com lâmpada de 400 W de potência.

Verificou-se que para os ensaios de UV/H₂O₂ no reator em fluxo contínuo obtiveram-se resultados satisfatórios, sendo que este chegou a reduzir a coloração do efluente em 96,4% e a DQO em 38,56% na presença de oxidante H₂O₂ 30 mmol L⁻¹.

Demonstrou-se que a capacidade de degradação das soluções de corante se deveu pela combinação da incidência de radiação ultravioleta e do oxidante peróxido de hidrogênio, uma vez que este último sozinho não conseguiu reduzir os valores de absorvância (coloração) do efluente.

Por outro lado, o reator em fluxo contínuo pode ter seus parâmetros otimizados, podendo-se melhorar a sua eficiência de degradação em relação aos valores de demanda química de oxigênio.

REFERÊNCIAS

- Prado, M. A.; Godoy, H. T.; *Quim. Nova* **2007**, *30*, 268.
- Barros, F. A. R.; Stringheta, P. C.; *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento* **2006**, *36*, 18.
- Prado, M.; Abujamra, F.; Godoy, H.; *Analytica* **2003**, *5*, 31.
- Abrantes, S.; Amorim, J. R.; Oliveira, S. M.; Bastos, P. A.; Nery, V. V. C.; Bazilio, F. S.; *Analytica* **2007**, *27*, 30.
- Vidotti, E. C.; Rollemberg, M. C.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 230.
- Constant, P. B. L.; Stringheta, P. C.; Sandi, D.; *Boletim do Centro de Processamento de Alimentos* **2002**, *20*, 203.
- Catanho, M.; Malpass, G. R. P.; Motheo, A. J.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 983.
- <http://www.anvisa.gov.br>, acessada em Agosto 2008.
- Guaratini, C. C. I.; Zanoni, M. V. B.; *Quim. Nova* **2000**, *23*, 71.
- Lau, K.; McLean, W. G.; Williams, D. P.; Howard, C. V.; *Toxicol. Sci.* **2006**, *90*, 178.
- Moutinho, I. L. D.; Bertges, L. C.; Assis, R. V. C.; *Braz. J. Biol.* **2007**, *67*, 141.
- Behnajady, M. A.; Modirshahla, N.; Hamzavi, R.; *J. Hazard. Mater.* **2006**, *133*, 226.
- Andrade, R. C. B.; Souza, M., F. L.; Couto, E. C. G.; *Quim. Nova* **1998**, *21*, 424.
- Kunz, A.; Peralta-Zamora, P.; Moraes, S. G.; Durán, N.; *Quim. Nova* **2002**, *25*, 78.
- Aleboye, A.; Olya, M. E.; Aleboye, H.; *J. Hazard. Mater.* **2009**, *162*, 1530.
- Akceylan, E.; Bahadir, M.; Yilmaz, M.; *J. Hazard. Mater.* **2009**, *162*, 960.
- Almeida, E.; Assalin, M. R.; Rosa, M. A.; Durán, N.; *Quim. Nova* **2004**, *27*, 818.
- Britto, J. M.; Rangel, M. C.; *Quim. Nova* **2008**, *31*, 114.
- Aleboye, A.; Olya, M. E.; Aleboye, H.; *Chem. Eng. J. (Amsterdam, Neth.)* **2008**, *137*, 518.
- Fernández-Alba, A. R.; Hernando, D.; Agüera, A.; Cáceres, J.; Malato, S.; *Water Res.* **2002**, *36*, 4255.
- Rodríguez, M.; Sarria, V.; Esplugas, S.; Pulgarin, C.; *J. Photochem. Photobiol., A* **2002**, *151*, 129.
- Sarria, V.; Parra, S.; Adler, N.; Péringier, P.; Benitez, N.; Pulgarin, C.; *Catal. Today* **2002**, *76*, 301.
- Brunelli, T. F. T.; Guaraldo, T. T.; Paschoal, F. M. M.; Zanoni, M. V. B.; *Quim. Nova* **2009**, *32*, 67.
- Santana, M. H. P.; Da Silva, L. M.; Freitas, A. C.; Boodts, J. F. C.; Fernandes, K. C.; De Faria, L. A.; *J. Hazard. Mater.* **2009**, *164*, 10.
- Silva, C. P.; Marmitt, S.; Haetinger, C.; Stulp, S.; *Eng. Sanit. Ambient.* **2008**, *13*, 73.
- Paschoal, F. M. M.; Anderson, M. A.; Zanoni, M. V. B.; *J. Braz. Chem. Soc.* **2008**, *19*, 803.
- Beati, A. A. G. F.; Rocha, R. S.; Oliveira, J. G.; Lanza, M. R. V.; *Quim. Nova* **2009**, *32*, 125.
- Rocha, R. S.; Beati, A. A. G. F.; Oliveira, J. G.; Lanza, M. R. V.; *Quim. Nova* **2009**, *32*, 354.
- Salgado, B. C. B.; Nogueira, M. I. C.; Rodrigues, K. A.; Sampaio, G. M. M. S.; Buarque, H. L. B.; Araújo, R. S.; *Eng. Sanit. Ambient.* **2009**, *14*, 1.
- Lucas, M.; Jeremias, P. F. P. T.; Andreus, J.; Barcellos, I. O.; Peralta-Zamora, P.; *Quim. Nova* **2008**, *31*, 1362.
- Chen, C. C.; Lu, C. S.; Fan, H. J.; Chung, W. H.; Jan, J. L.; Lin, H. D.; Lin, W. Y.; *Desalination* **2008**, *219*, 89.
- Silva, C. P.; Marmitt, S.; Haetinger, C.; Stulp, S.; *WSEAS Transactions on Systems* **2008**, *7*, 793.
- Nogueira, R. F. P.; Modé, D. F.; *Eclética Química* **2002**, *27*, 169.
- APHA - American Public Health Association; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed., American Public Health Association: USA, 2005.
- http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/consema_resolucao_lista_ano.jsp?ANO=2006, acessada em Julho 2009.
- Bolton, J. R.; Bircher, K. G.; Tumas, W.; Tolman, C. A.; *Pure Appl. Chem.* **2001**, *73*, 627.