

PROCESSO UV/H₂O₂ COMO PÓS-TRATAMENTO PARA REMOÇÃO DE COR E POLIMENTO FINAL EM EFLUENTES TÊXTEIS

Maria Eliza Nagel-Hassemer*, Lucila Adriani Coral e Flávio Rubens Lapolli

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, 88010-970 Florianópolis – SC, Brasil

Maria Teresa Souza Pessoa de Amorim

Departamento de Engenharia Têxtil, Escola de Engenharia Universidade do Minho, Campus de Azúrem, 4800-058 Guimarães, Portugal

Recebido em 7/6/11; aceito em 18/11/11; publicado na web em 31/1/12

UV/H₂O₂ PROCESS AS POST-TREATMENT FOR REMOVAL OF COLOR AND POLISHING END IN TEXTILE WASTEWATER. Several problems are involved the treatment plants of textile effluents, mainly the low efficiency of color removal. This paper presents an alternative of post-treatment by UV/H₂O₂ process, for color removal in biologically treated textile effluents. The tests were performed in a photochemical reactor and samples were taken at different times to perform analyses. Using 250 mgH₂O₂.L⁻¹, 96% removal of color was verified, indicating the dyes degradation. A reduction of 84% of aromatics compounds, 90% of TSS removal, and a further reduction of the organic fraction were observed, demonstrating that the process is effective as a post-treatment of effluents from textile industries.

Keywords: textile effluents; advanced oxidation process; color removal.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao desmedido crescimento populacional e ao aumento das atividades industriais. Dentro deste contexto, deve ser dado especial destaque à contaminação das águas naturais, compartimentos que historicamente têm servido de vertedouro para uma grande variedade de resíduos domésticos e industriais.

A indústria têxtil é caracterizada por uma grande diversidade de tecnologias e processos de fabricação, utilizando um universo de matérias-primas (fibras de origem animal e vegetal, fibras sintéticas, corantes, pigmentos e produtos químicos) e um elevado consumo de água. A água de descarte oriunda dos processos químico-têxteis tem sido motivo de grande preocupação nas últimas décadas.¹

Os efluentes gerados pela indústria têxtil apresentam composição extremamente heterogênea com uma grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, o que torna seu tratamento mais difícil. Esses efluentes apresentam forte coloração, grande quantidade de sólidos suspensos, pH altamente flutuante, temperatura elevada, grandes concentrações de DQO (demanda química de oxigênio), considerável quantidade de metais tóxicos, compostos orgânicos clorados e surfactantes.

Em função das deficiências apresentadas pelos sistemas convencionais de tratamento, usualmente representados por processos biológicos e de coagulação química (pequena remoção de cor e geração de grande quantidade de lodo, respectivamente), novas alternativas de tratamento têm sido regularmente propostas, como a associação de processos biológicos e processos de oxidação avançada (POAs).²

Os POAs são caracterizados pela geração de radicais oxidantes altamente reativos em solução aquosa, em particular o radical hidroxila (\bullet OH), a partir da combinação de diferentes oxidantes químicos com uma fonte de irradiação. Os radicais hidroxila atacam a maioria das moléculas orgânicas, por apresentarem baixa seletividade. A grande

vantagem desses processos reside no fato de ser um tipo de tratamento destrutivo, ou seja, o contaminante não é simplesmente transferido de fase, mas sim, degradado através de uma série de reações químicas.^{3,4}

A associação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radiação ultravioleta (UV) tem sido amplamente estudada e aplicada no tratamento e purificação de águas de abastecimento e de águas residuárias, permitindo a degradação de uma série de contaminantes. Dentre os contaminantes estudados utilizando o processo UV/H₂O₂ podem-se citar: pesticidas e herbicidas,^{5,6} contaminantes farmacêuticos,⁷ aditivos para gasolina como o MTBE (*methyl tertiary butyl ether*),⁸ corantes têxteis,⁹⁻¹¹ entre outros. O processo UV/H₂O₂ ainda apresenta a vantagem adicional da não formação de lodo durante o tratamento, podendo também alcançar a mineralização dos compostos orgânicos.^{9,12}

O grande desafio para tornar a oxidação avançada uma tecnologia de remediação mais abrangente é atingir maiores taxas de mineralização. Fontes de baixa energia, como a radiação solar natural, não podem ser utilizadas eficientemente no tratamento da maioria dos resíduos, sendo necessária radiação com maior energia. O uso da radiação solar é pouco eficiente no processo, visto que ela possui somente uma pequena fração (5%) de radiação UV, considerando-se os grandes volumes de resíduos gerados pelo beneficiamento têxtil.^{13,14}

Em comparação com outros POAs, tais como Fenton, ozônio, UV/O₃, UV/TiO₂, etc., a fotólise do peróxido de hidrogênio apresenta algumas vantagens como a completa miscibilidade com a água, estabilidade e disponibilidade comercial. Além disso, o peróxido de hidrogênio não apresenta problemas de transferência de fase e os custos de investimento são baixos.

Os POAs podem ser empregados isoladamente ou em combinação com um tratamento prévio ou posterior. No caso de efluentes com grau de poluição mais elevado ou complexo, o dispêndio na etapa de oxidação pode ser consideravelmente reduzido através de uma combinação com outras etapas de tratamento como, por exemplo, o biológico e/ou a coagulação/floculação/sedimentação.¹⁵ A sua inserção na indústria têxtil se justifica pela potencial aplicação em processos integrados, para promoção da biodegradabilidade dos efluentes ou como métodos de polimento final com vista à reutilização da água.

*e-mail: mariaeliza@ens.ufsc.br

Pesquisas mostram que a integração de processos biológicos com os POAs tem uma significância especial no exercício da engenharia.^{16,17}

Embora muitos trabalhos atestem uma elevada capacidade dos processos oxidativos em relação à remediação de efluentes têxteis contendo corantes, poucos estudos tratam da utilização destes processos em rotinas que permitam o reuso desses efluentes. Também poucos estudos contemplam esses processos em efluentes da própria indústria, a grande maioria utiliza efluente sintético ou apenas efluente do setor de tinturaria.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do processo UV/H₂O₂ como pós-tratamento na remoção da cor remanescente do processo biológico em efluentes da indústria têxtil, assim como promover polimento final desse efluente com vistas ao reuso.

PARTE EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado no Laboratório de Reuso de Águas (LaRA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Os ensaios de degradação fotoquímica foram realizados em reator UV de bancada, apresentando volume útil de 2,3 L, e fonte de radiação policromática UV/Visível, assegurada por uma lâmpada de vapor de mercúrio de média pressão, de 250 W de potência (a intensidade média de radiação UV emitida pela lâmpada em 254 nm foi de 0,20 mW cm⁻²). A lâmpada era suportada por um tubo de quartzo, o qual era mergulhado no reator permitindo a irradiação do seu interior de forma uniforme. O reator era constituído por parede dupla de vidro para recirculação de água, evitando assim o aquecimento da lâmpada. O sistema de refrigeração consistia em um banho termostático com bomba de recirculação, o qual permitia manter a temperatura no interior do reator a 20 ± 1 °C. Para que a amostra ficasse em constante agitação durante os ensaios, o reator foi instalado sobre um agitador magnético, cuja homogeneidade do meio foi mantida com o auxílio de uma barra magnética. Os ensaios foram realizados em triplicata. O volume de amostra adicionada no reator para os ensaios foi de 2,0 L. A Figura 1 apresenta o esquema do reator de oxidação.

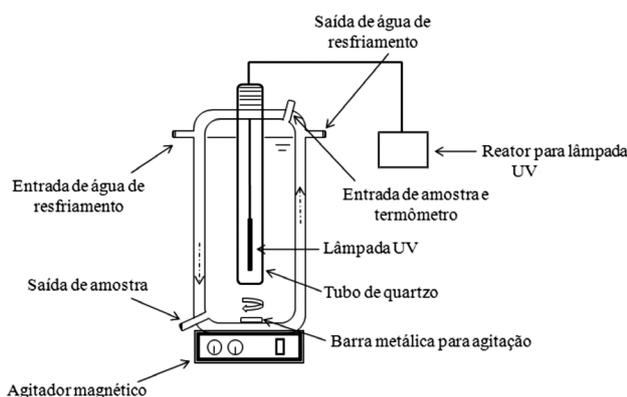


Figura 1. Representação esquemática do reator de oxidação fotoquímica

Os ensaios foram realizados em batelada, utilizando efluente já tratado biologicamente (lodos ativados) proveniente de uma indústria fabricante de tecidos de algodão e sintéticos. Os corantes utilizados no processamento têxtil durante o período da pesquisa foram os corantes reativos, ácidos e dispersos. Nos ensaios foram utilizadas diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (100, 150, 200, 250, 350 e 500 mg L⁻¹), de forma a se obter uma concentração ideal de oxidante, e tempo de irradiação UV de 60 min. A cada 15 min de tratamento, um volume de 50 mL de amostra era retirado para determinação de cor, turbidez e compostos aromáticos. Análises de COT (carbono

orgânico total), SST (sólidos suspensos totais) e espécies iônicas foram realizadas antes e após o processo oxidativo.

Volume de peróxido de hidrogênio (1,11 kg L⁻¹, 34% em massa, extra puro) correspondente à concentração desejada foi adicionado à amostra que, em seguida, era colocada no reator. É importante encontrar a quantidade necessária de agente oxidante, não só por motivação econômica, mas também, pela evidência do efeito inibidor que um grande excesso de peróxido poderá causar no processo, diminuindo a eficiência de degradação. O peróxido de hidrogênio apresenta baixo coeficiente de absorção molar em 254 nm, faixa UV, limitando a velocidade de formação dos radicais hidroxila; sendo a absorvidade do peróxido baixa e se as matrizes contiverem substâncias que atuem como filtros absorvendo a radiação incidente, o processo de fotodegradação é dificultado.¹⁸

Análises realizadas e métodos analíticos

As medidas de pH foram realizadas pelo método potenciométrico, através de pHmetro de bancada.

A alcalinidade foi determinada pelo método titulométrico com solução de H₂SO₄ 0,02N, conforme descrito no *Standard Methods*.¹⁹

A condutividade foi verificada pelo método da eletrometria, medida em condutivímetro portátil da Orion.

Os valores de COT foram quantificados por meio de leitura instrumental em aparelho TOC-5000A, como NPOC (carbono orgânico não purgável) que converte carbonatos inorgânicos a CO₂ com ácido, removendo-os através de borbulhamento antes da injeção da amostra no equipamento.

Os SST foram determinados pelo método 8006 – HACH, na faixa de leitura de 0 a 750 mg L⁻¹, com leitura em espectrofotômetro a 810 nm.

A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico (NTU) em turbidímetro de bancada da HACH, com limite de quantificação de 0,1 e resolução de 0,01 NTU na faixa mais baixa.

A cor e os compostos aromáticos foram avaliados espectrofotometricamente através da leitura da absorbância, utilizando espectrofotômetro Varian, modelo Cary 1E – UV/Visible, e cubetas de quartzo de 1 cm. A cor foi medida no comprimento de onda de maior absorção do efluente na faixa do Visível (511 nm) e os compostos aromáticos foram medidos na faixa UV (280 nm), em função desse comprimento de onda ser característico em absorver compostos aromáticos com substituintes que apresentem ligações duplas, como é o caso dos corantes utilizados. Nas condições experimentais pode-se aplicar a lei de Lambert-Beer entre a concentração de corante (C) e a absorbância das soluções (A).

As espécies iônicas foram identificadas pelo método da cromatografia iônica, medidas através de cromatógrafo equipado com detector de condutividade iônica e coluna AS4A-SC. O limite de detecção foi de 8 mg L⁻¹ e como fases móveis foram utilizados carbonato e bicarbonato de sódio. Para análises das amostras foram estabelecidas curvas de calibração com soluções de cloreto, nitrito, nitrato, sulfato, acetato e fosfato.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efluente têxtil estudado foi coletado após o tratamento biológico, na saída do decantador secundário da ETE da indústria. Sabendo-se que o tratamento biológico é efetivo na redução de frações orgânicas como DQO, DBO e COT, mas ineficiente na remoção da cor, pretendeu-se avaliar a eficiência do processo UV/H₂O₂ na degradação dos corantes nesse efluente. As principais características do efluente utilizado nos estudos, considerando seu estado bruto e após tratamento biológico por lodos ativados, são indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos efluentes bruto e tratado biologicamente

Parâmetros	Efluente bruto	Efluente após tratamento biológico
pH	10 ± 0,36	7,50 ± 0,06
Turbidez (NTU)	48 ± 10	3,40 ± 0,32
Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	1070 ± 103	763,34 ± 3,85
Condutividade (MS cm ⁻¹)	4,88 ± 0,33	7,34 ± 0,06
COT (mg L ⁻¹ C)	171 ± 51	50 ± 6
SST (mg L ⁻¹)	96 ± 25	24,5 ± 0,6
DBO ₅ (mg L ⁻¹ O ₂ *)	222 ± 18	9 ± 0,5
Cloretos (mg L ⁻¹ Cl ⁻)	1529 ± 128	1610 ± 145
Absorbância (A) λ=280 nm	3,536 ± 0,28	1,242 ± 0,06
Absorbância (A) λ=511 nm	0,280 ± 0,04	0,234 ± 0,02

*(resultado da indústria)

Como pode ser observado, o processo biológico mostrou-se bastante efetivo no tratamento do efluente têxtil, mostrando redução significativa na fração orgânica, como também nos valores de SST e turbidez. A DBO foi reduzida a um valor menor do que o máximo permitido pelo Decreto N° 14250/SC²⁰ para lançamento de efluentes, que é de 60 mg L⁻¹. Como esperado, não houve redução significativa da cor, apenas 17%, havendo, portanto, a necessidade de um pós-tratamento para a degradação dos corantes com consequente remoção de cor. A permanência de altos valores de absorbância na região ultravioleta indica que grupos aromáticos permaneceram no efluente biotratado.² Pode ser observado também que os efluentes apresentaram elevados teores de cloretos, provavelmente em função da adição de algum produto auxiliar à base de sal utilizado no processo de tingimento, como cloreto de sódio e sulfato de sódio, que são compostos inorgânicos, não absorvem luz na região UV, portanto, não influenciam no processo oxidativo.

As amostras de efluentes foram então submetidas ao processo UV e UV/H₂O₂ nas diferentes concentrações de oxidante e a Figura 2 mostra o resultado dos ensaios através da redução das absorbâncias "A", indicando a remoção da cor na Figura 2A e dos compostos aromáticos na Figura 2B. Pelos resultados pode-se observar que somente a irradiação UV não promoveu diminuição significativa desses parâmetros; o mesmo foi observado nos estudos realizados por Alaton, Balcioğlu e Bahnemann; Araújo, Yokoyama e Teixeira; Sadik e Nashed.²¹⁻²³

A degradação dos corantes e a consequente redução da cor aumentaram com o aumento da concentração inicial de H₂O₂ (Figura 2A). Entretanto, observou-se que nos ensaios realizados com concentrações de H₂O₂ de 200, 250, 350 e 500 mg L⁻¹, a eficiência de remoção após 1 h de irradiação UV foi praticamente a mesma, aproximadamente 96%. Portanto, concentrações superiores a 200 ou 250 mg H₂O₂ L⁻¹ já correspondem a um consumo em excesso do oxidante. De acordo com Aleboye, Aleboye e Moussa,²⁴ a taxa de descoloração aumenta com o aumento da dosagem inicial de H₂O₂ até um valor crítico, a qual é a ideal, e a partir dessa dosagem passa a agir como supressora dos radicais hidroxilas, inibindo o processo.

A redução dos compostos aromáticos seguiu o mesmo comportamento da cor, como pode ser visto na Figura 2B. Com 1 h de irradiação UV, foi obtida redução em torno de 84% para as concentrações de H₂O₂ de 200, 250, 350 e 500 mg L⁻¹. Observou-se, portanto, que concentrações do oxidante acima de 200 ou 250 mg L⁻¹ também não favoreceram um aumento significativo na eficiência de remoção dos compostos aromáticos.

Em relação ao pH e à condutividade pode-se dizer que os

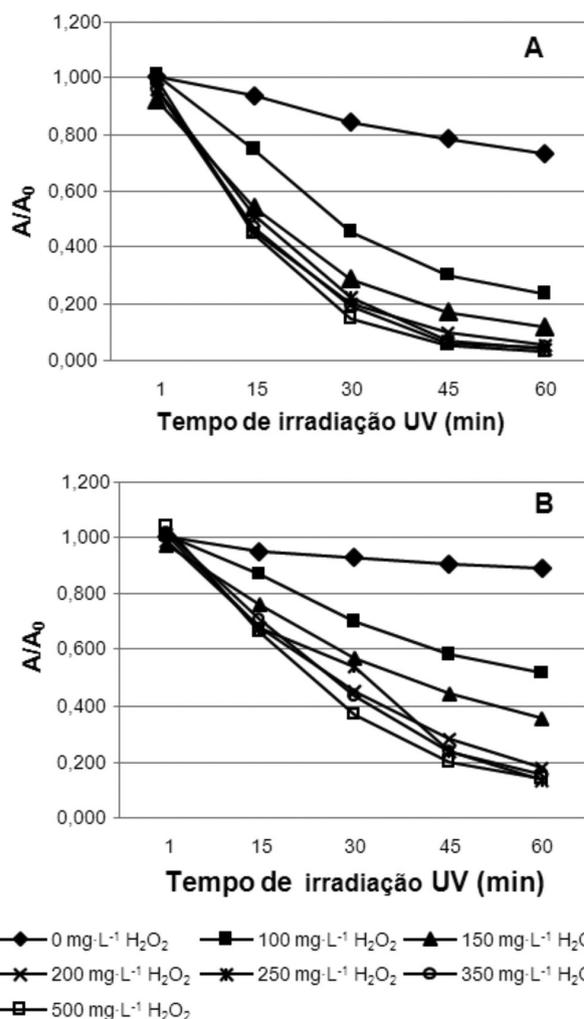


Figura 2. A – Degradação da cor em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂ (λ = 511 nm, A₀ = 0,234); B – degradação dos compostos aromáticos em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂ (λ = 280 nm, A₀ = 1,242)

resultados foram consistentes, pois se verificou uma diminuição do pH e um aumento da condutividade durante o processo fotoquímico, indicando que houve uma evolução de espécies iônicas na solução (o pH do efluente tratado biologicamente se encontrava em torno de 7,50 e após o processo oxidativo passou para 7,10). A redução do pH é associada à produção de ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos durante o processo fotoquímico, como indicado em vários estudos na literatura.^{12,25} Durante 1 h de irradiação UV a alcalinidade permaneceu praticamente a mesma em todos os ensaios, observando-se uma leve diminuição com o aumento da concentração de peróxido, acompanhando o pH (resultados não apresentados).

Medidas de turbidez também foram realizadas durante o processo oxidativo. Como destacam Tang e Chen,²⁶ a elevada turbidez de um efluente é uma condição restritiva para os processos fotoquímicos, pois reduz a capacidade de penetração da luz no efluente inibindo a produção de radicais •OH, prejudicando o processo de descoloração. A Figura 3 mostra a redução da turbidez em função do tempo de irradiação UV e da concentração de H₂O₂. Pelos resultados, a redução da turbidez foi pequena para todos os ensaios, mas deve-se observar que a mesma já se encontrava com baixo valor, em torno de 3,4 NTU. Nas maiores concentrações de H₂O₂ testadas (350 e 500 mg L⁻¹), verificou-se inicialmente um aumento da turbidez, prejudicando a eficiência final. A utilização de H₂O₂ acima de 200 ou 250 mg L⁻¹

não propiciou aumento significativo na eficiência de remoção após 60 min de irradiação UV. Com essas concentrações obteve-se remoção de turbidez em torno de 23% após 1 h de tratamento. Essa remoção se torna significativa dependendo do uso que for dado para o efluente tratado, podendo contribuir significativamente para o reuso da água na própria planta de tratamento podendo, assim, chegar à descarga zero.

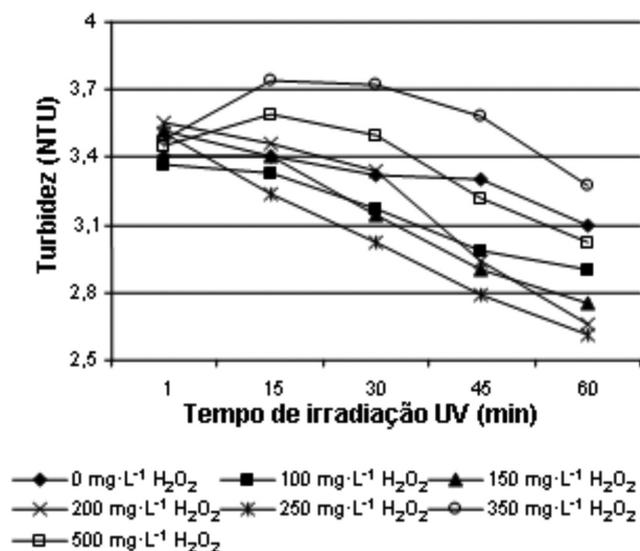


Figura 3. Redução da turbidez em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂ (T₀ = 3,40 NTU)

O COT é uma medida da quantidade de carbono orgânico que pode ser oxidado a CO₂ e a sua determinação avalia a taxa de mineralização, que é um importante indicador da efetividade do processo. A Figura 4 mostra os valores de COT e a eficiência de remoção com 60 min de tratamento nas diferentes concentrações aplicadas de peróxido de hidrogênio. Nos ensaios em que foram utilizadas concentrações de H₂O₂ de 100, 150 e 200 mg L⁻¹, a redução de COT foi pequena após 1 h de irradiação UV, mas aumentando essas concentrações para 250, 300 e 500 mg L⁻¹, foram obtidas remoções em torno de 56%.

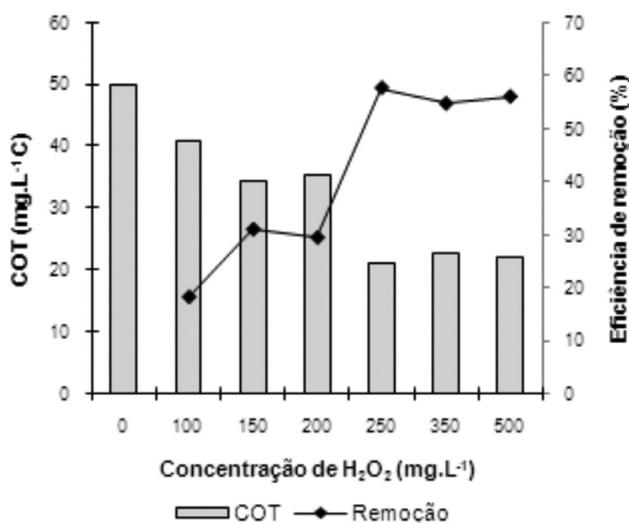


Figura 4. Remoção e eficiência de remoção do COT após 1 h de irradiação UV, em função da concentração de H₂O₂

A baixa redução de COT pode ser explicada pelo fato que durante a descoloração, novas substâncias orgânicas podem ter sido formadas (não identificadas), as quais não são coloridas, mas que necessitam de

maior tempo para sua degradação.²⁷ A presença de COT na solução após um longo tempo de irradiação UV indica que o produto final não pôde ser completamente mineralizado em CO₂, sendo importante investigar simultaneamente o processo de mineralização. Geralmente, a mineralização se inicia somente quando a descoloração se encontra praticamente completa.⁹

A elevada remoção de cor e a limitada remoção de matéria orgânica também foram observadas por Kurbus, Le Marechal e Voncina.²⁷ A descoloração pode ser explicada pela capacidade do processo fotoquímico em quebrar as duplas ligações dos compostos orgânicos, fazendo com que as moléculas percam a habilidade de absorver luz na região do Visível. Já a baixa remoção de matéria orgânica é devida à oxidação incompleta dos compostos orgânicos, fazendo com que a mineralização total não aconteça. A mineralização completa acontece quando se obtém alta eficiência de remoção da carga orgânica do efluente, através da transformação da carga inicial em subprodutos inertes, geralmente menos tóxicos, ou mesmo a CO₂ e H₂O.^{2,28}

Análises de SST foram realizadas nas amostras após o processo fotoquímico. A Figura 5 apresenta os valores de SST e a eficiência de remoção após 1 h de tratamento, em função da concentração de H₂O₂. O melhor resultado foi obtido nos ensaios em que se utilizou 250 mg H₂O₂ L⁻¹, com uma remoção de 90%. O aumento da concentração de H₂O₂ aumentou a eficiência de remoção até este ponto, tendo-se, para concentrações superiores, uma diminuição na eficiência de remoção de SST. Concentrações de H₂O₂ superiores àquelas consideradas ideais ao processo implicam num acúmulo do oxidante no meio reacional, que passa a agir como supressor dos radicais hidroxilas, resultando numa diminuição da eficiência de remoção dos parâmetros.²⁵

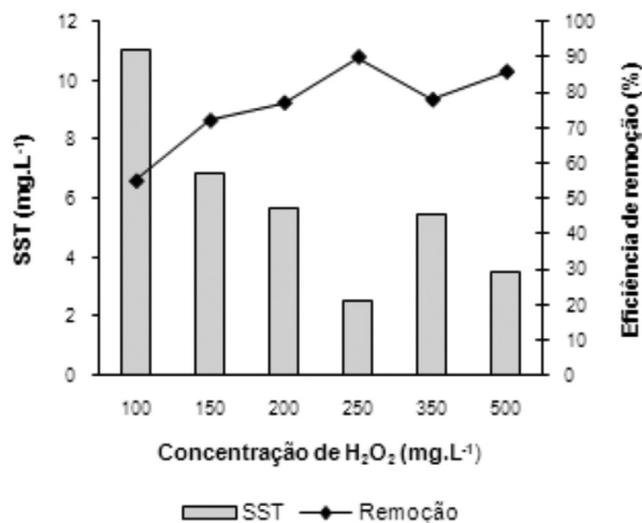


Figura 5. Remoção e eficiência de remoção dos SST após 1 h de irradiação UV, em função da concentração de H₂O₂ (SST₀ = 24,50 mg L⁻¹)

Análises de cromatografia iônica do efluente após o tratamento biológico indicaram, além de cloreto e sulfato, a presença de nitrato, provavelmente resultante do processo biológico, embora em pequena concentração (1,53 mg L⁻¹). O efluente foi submetido ao processo fotoquímico e a Figura 6 mostra o resultado das análises da cromatografia iônica após 1 h da irradiação UV nas diferentes concentrações de H₂O₂ testadas. Após o processo oxidativo, não foi verificado o aparecimento do nitrato para todas as concentrações de H₂O₂ testadas. As concentrações de cloreto e sulfato não sofreram mudanças significativas em todos os ensaios realizados.

É importante salientar também que grande parte do custo associado ao processo proposto está representado pela necessidade de fontes

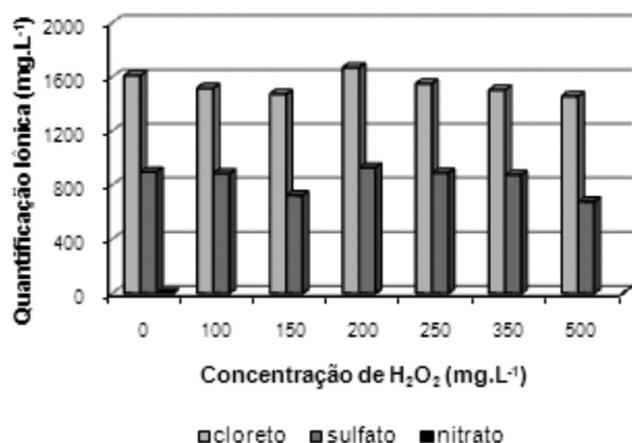


Figura 6. Concentrações dos principais ânions nas amostras antes e após 1 h de tratamento fotoquímico, em função da concentração de H₂O₂.

artificiais de radiação. Zanella e colaboradores² comentam em seu trabalho que um equipamento para tratamento contínuo de resíduos foi desenvolvido recentemente, o qual, operando com 4 lâmpadas a vapor de mercúrio de 125 W, permite o tratamento de aproximadamente 1 m³ de resíduo em 8 h de operação. Nestas condições, o custo energético é equivalente ao consumo de 4 lâmpadas de iluminação pública, o que corresponde a valores inferiores a R\$1,00. Nas condições em que o referido equipamento funciona (vazão de 2 L min⁻¹), o tempo de retenção não ultrapassa 10 min. Para um tempo de tratamento de 1 h, como proposto neste trabalho, haveria a necessidade de ampliação de escala, que poderia ser viabilizada pelo uso de lâmpadas de 250 W, implicando no aumento proporcional do custo do tratamento.

CONCLUSÕES

O processo oxidativo UV/H₂O₂ aplicado no efluente tratado biologicamente mostrou ser uma técnica promissora como pós-tratamento dos efluentes da indústria têxtil para a degradação dos corantes e consequente remoção de cor.

A dosagem de peróxido de hidrogênio influencia o processo de oxidação, tendo-se obtido melhores eficiências de remoção em uma concentração determinada de oxidante.

Com uma aplicação de 250 mg H₂O₂L⁻¹ em 60 min de irradiação UV, o processo UV/H₂O₂ apresentou eficiência de remoção de cor de 96%, evidenciando a degradação dos corantes.

O processo apresentou ainda remoção de 84% de compostos aromáticos, 56% de COT, 90% de SST e 23% de turbidez remanescentes, utilizando 250 mg H₂O₂L⁻¹ em 60 min de irradiação UV.

O processo fotoquímico aplicado após o tratamento biológico foi bastante efetivo, visto que as concentrações dos parâmetros já se encontravam reduzidas (as substâncias foram biodegradadas), e utilizou pequena concentração de oxidante. A reutilização desse efluente tratado no processo industrial levará a uma redução significativa no consumo de água e terá um impacto ambiental e econômico positivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) e Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, pela disponibilização de infraestrutura para realização dos ensaios, e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- Guise, L. M. T.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade do Minho, Portugal, 2003.
- Zanella, G.; Scharf, M.; Vieira, G. A.; Peralta-Zamora, P.; *Quim. Nova* **2010**, *33*, 1039.
- Benitez, F. J.; Acero, J. L.; Real, F. J.; *J. Hazard Mater.* **2002**, *B89*, 51.
- Lafi, W. K.; Al-Qodah, Z.; *J. Hazard Mater.* **2006**, *B137*, 489.
- Benitez, F. J.; Acero, J. L.; Real, F. J.; Maya, C.; *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **2004**, *79*, 987.
- Chelme-Ayala, P.; El-Din, M. G.; Smith, D. W.; *Water Res.* **2010**, *44*, 2221.
- Yuan, F.; Hu, C.; Hu, X.; Qu, J.; Yang, M.; *Water Res.* **2010**, *43*, 1766.
- Alnaizy, R.; Ibrahim, T. H.; *Desalination and Water Treatment* **2009**, *10*, 291.
- Galindo, C.; Jacques, P.; Kalt, A.; *J. Adv. Oxid. Technol.* **1999**, *4*, 400.
- Shu, H. Y.; Shang, M. C.; *J. Hazard. Mater.* **2005**, *B125*, 96.
- Shu, H. Y.; Shang, M. C.; Fan, H. J.; *J. Hazard Mater.* **2004**, *B113*, 201.
- Neamtu, M.; Siminiceanu, I.; Yediler, A.; Kettrup, A.; *Dyes Pigm.* **2001**, *53*, 93.
- Mourão, H. A. J. L.; Mendonça, V. R.; Malagutti, A. R.; Ribeiro, C.; *Quim. Nova* **2009**, *32*, 2181.
- Nogueira, R. F. P.; Jardim, W. F.; *Quim. Nova* **1998**, *21*, 69.
- Kunz, A.; Peralta-Zamora, P.; Moraes, S. G.; Durán, N.; *Quim. Nova* **2002**, *25*, 78.
- Associação Federal das Empresas do Setor de Gás e Água da Alemanha; *Comunicado Técnico N° 19*, Grupo de Trabalho Oxidação por Via Úmida, 1997.
- Raj, C. B. C.; Quen, H. L.; *Chem. Eng. Sci.* **2005**, *60*, 5305.
- Malik, P. K.; Sanyal, S. K.; *Sep. Purif. Technol.* **2004**, *36*, 167.
- APHA; *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA), 21th ed., WPCF: New York, 2005.
- Governo do Estado de Santa Catarina, Conselho de Meio Ambiente; *Decreto N°14.250*, 1981.
- Alaton, I. A.; Balcioglu, I. A.; Bahnemann, D. W.; *Water Res.* **2002**, *36*, 1143.
- Araújo, F. V. F.; Yokoyama, L.; Teixeira, L. A. C.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 11.
- Sadik, W. A.; Nashed, A. W.; *J. Chem. Eng.* **2008**, *137*, 525.
- Aleboye, A.; Aleboye, H.; Moussa, Y.; *Dyes Pigm.* **2003**, *57*, 67.
- Shu, H. Y.; Shang, M. C.; *J. Hazard Mater.* **2005**, *B125*, 244.
- Tang, C.; Chen, V.; *Water Res.* **2004**, *38*, 27.
- Kurbus, T.; Le Marechal, A. M.; Voncina, D. B.; *Dyes Pigm.* **2003**, *58*, 245.
- Almeida, E.; Assalin, M. R.; Rosa, M. A.; *Quim. Nova* **2004**, *27*, 818.