

DEGRADAÇÃO FOTOQUÍMICA H₂O₂/UV DE CORANTE TÊXTIL REATIVO

PHOTOCHEMICAL DEGRADATION UV/ H₂O₂ OF REACTIVE TEXTILE DYE

Rodrigo Alves Pereira¹; Núbia Natália de Brito²

¹Aluno de Iniciação Científica Voluntária do curso de Licenciatura em Química - Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás (UFG). E-mail: rodrigofuzzy@hotmail.com

²Química Agro-Industrial, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás (UFG). E-mail: nubiabrito@quimica.ufg.br

RESUMO

Neste estudo foi investigado o desempenho do processo fotoquímico no tratamento do corante têxtil Indosol laranja 2GL 250. Um volume de 2,0 L de solução contendo 50 mgL⁻¹ do corante reativo foi tratado em um reator fotoquímico H₂O₂/UV utilizado uma lâmpada 400 W. Em 30 minutos de tratamento foi observada a descoloração da solução na ordem 99,7% e redução da matéria orgânica de 50,0%. A redução da cor pelo processo em estudo foi comparada a um padrão definido pela literatura demonstrando que os resultados alcançados ficaram em níveis estabelecidos para descarte.

Palavras-chave: Reator. Remediação. Indústria têxtil. Reator fotoquímico.

ABSTRACT

This study investigated the performance of the photochemical process in the treatment of the orange textile dye 2GL 50. A volume of 2.0 L of solution containing 50 mgL⁻¹ of the reactive dye was treated in a photochemical reactor used UV/H₂O₂ a 400 W lamp. Within 30 minutes already observed discoloration of the solution in the order of 99.7%, and reduction of the organic matter of 50.0%. The color reduction, for the process in study, was compared to a defined standard by the literature, demonstrating that they reached results were in established levels for disposal.

Keywords: Reactor. Remediation. Textile industry. Photochemical reactor

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento das primeiras cidades, onde começou a se formar os grandes aglomerados sociais, surgiu à necessidade de um abastecimento maior de todos os tipos de produtos, incluindo principalmente tecidos de várias partes do mundo.

Nos últimos anos, o nível de compostos xenobióticos nos ecossistemas aquáticos tem aumentado de forma alarmante, como resultado da atividade antropogênica sobre o meio ambiente. Neste contexto, o setor têxtil merece destaque, sendo responsável por 15% do consumo industrial de água. Este fato, associado ao baixo aproveitamento dos insumos (especialmente corantes), faz com que a indústria têxtil seja responsável pela geração de grandes volumes de resíduos, com elevada

carga orgânica e forte coloração. Estima-se que aproximadamente 20% da carga de corantes sejam liberadas nos resíduos de tingimento durante o processamento têxtil (SILVA et al., 2012).

Esses corantes são na maioria altamente tóxicos e afetam a biota aquática das mais diferentes formas possíveis, como no processo de fotossíntese devido a proliferação de algas que contribui para não permitir a chegada da luz nos locais mais profundos, afetando toda a vida aquática e de pessoas que dependem desses locais para subsistência, sem falar na poluição visual que é provocada (GUARATINI e ZANONI, 2000; SALVADOR et al., 2012).

Propriedades dos corantes têxteis como brilho, cor visível em baixas concentrações, estrutura química estável à luz e aos ataques químicos, os tornam bastantes resistentes à degradação microbiana. As antraquinonas que possuem estruturas aromáticas fundidas e os corantes básicos, que têm cor muito brilhante e intensa, são muito resistentes à degradação e persistem nos efluentes por longo tempo (QUEIROZ e STEFANELLI, 2011).

Tem sido estudado corante têxtil do tipo reativo, que tem sido empregado nas grandes indústrias e na maioria das vezes, em tingimentos de tecidos à base de algodão, principalmente jeans e derivados, e isso se deve a sua principal característica: solúvel em água promovendo uma maior atração entre as moléculas do corante e as fibras dos tecidos (GUARATINI e ZANONI, 2000).

A estrutura dos corantes reativos apresenta pelo menos um grupamento cromóforo constituído pela ligação azo (N=N), principal responsável pela cor do tingimento. A coloração presente no efluente descartado pelas indústrias têxteis é reduzida com tratamentos que levam à clivagem das ligações azo (ARAÚJO et al., 2006). Deste modo, a utilização de Processos Oxidativos Avançados (POA) tem se tornado uma alternativa para reduzir a cor desses efluentes, que geralmente está relacionada à presença de substâncias recalcitrantes.

O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) frente à radiação ultravioleta pode agir degradando a matéria orgânica, por meio da geração de dois radicais hidroxilas (BRITO et al., 2010a) (eq. 1).



O principal objetivo deste estudo foi avaliar a degradação do corante reativo Indosol laranja 2GL 250, através do tratamento fotoquímico H₂O₂/UV.

2. MATERIAL E METODOS

Materiais

O corante reativo Indosol laranja 2GL 250 obtidos sob forma de pó é produzido pela empresa Daneto. Soluções aquosas contendo 50 mgL⁻¹ dos corantes foram preparadas com água destilada (Figura 1). O peróxido de hidrogênio utilizado no processo fotoquímico foi o da marca Lafan- Química Fina, 6% m/m padronizado por titulação permanganométrica.

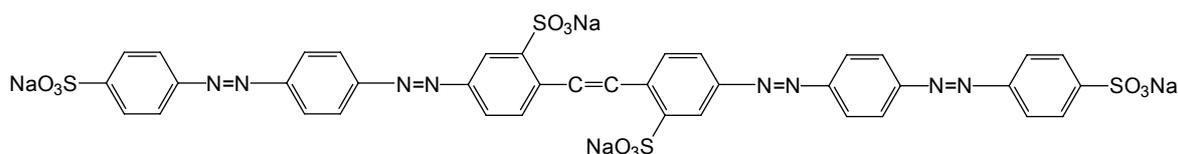


Figura 1: Estrutura Química do corante reativo Indosol laranja 2GL 250.

Fonte: Daneto - Ficha Técnica de Segurança do Produto Químico - Fispq, 2006.

Aparato Experimental

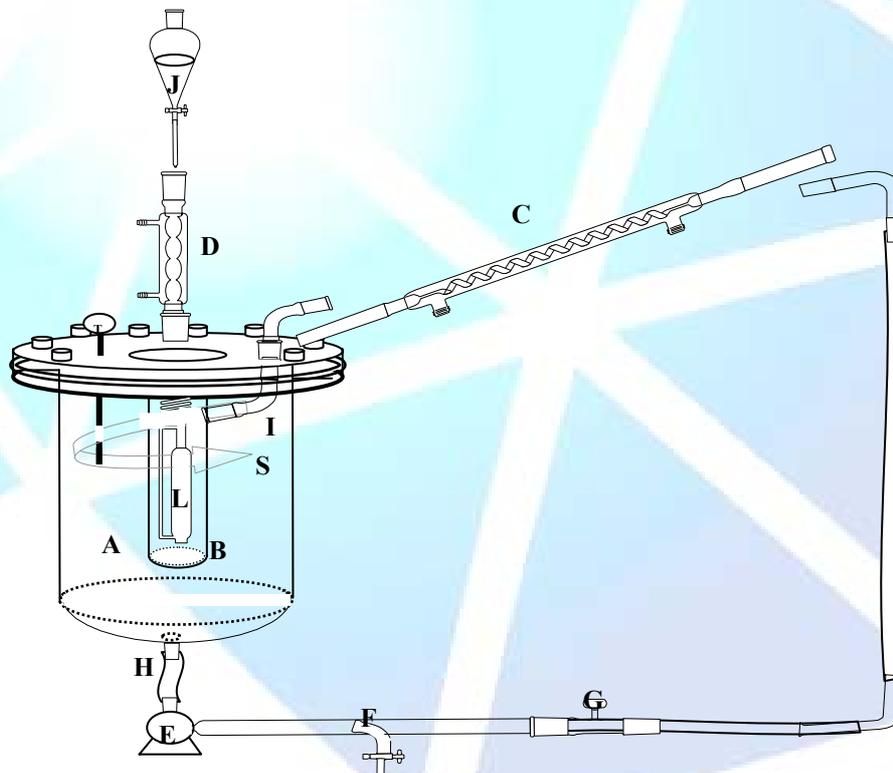
O tratamento fotoquímico foi realizado em um reator de vidro Pyrex com capacidade volumétrica de 2,0 L (90 mm de diâmetro interno, 130 mm de diâmetro externo e altura total de 150 mm) equipado com refrigeração à água e recirculação da solução de corante têxtil, conforme esquema apresentado na Figura 2.

A fonte de radiação ultravioleta foi provida por uma lâmpada de alta pressão de mercúrio (Osram HQL 400 W) pela remoção do bulbo exterior localizado no centro do reator com capacidade para emitir comprimentos de onda na região do ultravioleta (UV).

Os experimentos foram processados utilizando refrigeração à água permitindo controlar a temperatura. A agitação do processo foi mantida contínua por meio da recirculação da solução de corante têxtil através de uma bomba hidráulica (Invensys Bav 1115-02U 220 V 60 Hz 34 W).

Metodologia

Os experimentos de fotodegradação foram realizados à temperatura de 50⁰C e o tempo final de reação foi de 30 minutos. A reação iniciava-se pela adição de 20 mL de H₂O₂ a 6% na solução de 50 mg.L⁻¹ do corante reativo Indosol laranja 2GL 250, e posterior ligação da lâmpada de vapor de mercúrio.



- A: Câmara reação fotocatalítica
- B: Tubo de Quartzo para abrigo da lâmpada UV
- C: Condensador para refrigeração a água
- D: Condensador para saída de gases
- E: Bomba hidráulica para recirculação
- F: Torneira para coleta de amostras
- G: Regulador da Vazão de Recirculação
- H: Saída de efluente para recirculação
- I: Entrada de efluente
- J: Funil para Controle de entrada de H₂O₂
- L: Lâmpada UV
- T: Termômetro
- S: Sentido de movimento do efluente dentro do reator.

Figura 2: Esquema do Reator Fotoquímico utilizado no tratamento. Fonte: Brito et al., 2007

Na avaliação da eficiência do tratamento fotoquímico do corante têxtil reativo foram empregados os parâmetros: peróxido de hidrogênio residual, cor, pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal e nitrato.

O peróxido de hidrogênio residual foi determinado de acordo com procedimento adaptado de OLIVEIRA et al., (2001), baseado na reação entre peróxido de hidrogênio e o íon vanadato (VO_3^-) em meio ácido. A reação leva à formação de íon peroxovanádio VO_2^{3+} de coloração avermelhada que absorve fortemente em 446 nm. A coloração verdadeira do corante têxtil foi determinada de acordo com a absorbância no comprimento de onda máximo na região do visível (400 nm) utilizando espectrofotômetro Fenton (alfa-700 plus).

A determinação dos valores de pH do corante têxtil foi realizada de acordo com método potenciométrico utilizando medidor de pH 1500 Intelligent meter, aferido nos valores padrões de pH 4,0 e 7,0 conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition (APHA, 1998).

A análise de (DQO) foi realizada de acordo com o método Colorimétrico utilizando bloco digestor RD 125 e fotômetro Photometer –system MP 100, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (5220 D), 20th Edition (APHA, 1998).

As análises de nitrogênio amoniacal e nitrato foram realizados de acordo com o método colorimétrico, utilizando espectrofotômetro Fenton (alfa-700 plus), conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition (APHA, 1998).

A partir dos resultados obtidos foram realizados os experimentos: utilização H_2O_2 em estudo e um tubo de vidro pyrex com o objetivo de aproveitar somente a radiação na faixa do visível (300-800 nm); utilização somente da radiação ultravioleta (UV) sem H_2O_2 ; utilização somente da radiação visível sem H_2O_2 e utilização somente H_2O_2 sem emissão de fótons.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Otimização do processo fotoquímico utilizando H_2O_2 /UV

Para dar início aos estudos utilizou-se uma solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 6% (± 20 volumes) em um tempo de tratamento fixado em 30 minutos. Construiu-se um planejamento fatorial onde foi observada a redução da cor, através do espectro de máxima absorbância na região do visível (400 nm) do corante reativo Indosol laranja 2GL 250 na concentração de 50 mgL^{-1} e pH 5,0. No planejamento fatorial foram experimentados dois níveis, um nível menor (-) e outro maior (+) para as variáveis: volume de H_2O_2 , temperatura e vazão de recirculação interna (Tabela 1).

Tabela 1: Planejamento Fatorial 2³. Otimização do tratamento fotoquímico para redução da cor do corante laranja 2GL 250. Condições: Volume do corante têxtil tratado 2,0 Litros, tempo de tratamento 30 minutos e lâmpada de 400 W. Comprimento de onda de 400 nm.

Parâmetros		Nível (-)		Nível (+)	
Volume de H ₂ O ₂ (6%)		20 mL		40 mL	
Temperatura		40°C		50°C	
Vazão recirculação interna		800 mLmin ⁻¹		1200 mLmin ⁻¹	
Testes	Volume H ₂ O ₂	Temperatura	Vazão recirculação	Absorbância	%redução de cor
1	-	-	-	0,008	99,52
2	-	-	+	0,006	99,64
3	-	+	-	0,008	99,52
4	-	+	+	0,005	99,70
5	+	-	-	0,011	99,34
6	+	-	+	0,006	99,64
7	+	+	-	0,012	99,28
8	+	+	+	0,011	99,34

Por meio do Planejamento Fatorial (apresentado na Tabela 1), pôde-se observar no experimento 4, onde foram empregados 20 mL de H₂O₂, temperatura de 50 °C e vazão de recirculação interna 1200 mLmin⁻¹ a porcentagem máxima de redução da cor do corante reativo Indosol laranja 2GL 250 (50 mgL⁻¹, pH 5,0) foi de 99,70% (Figura 3).

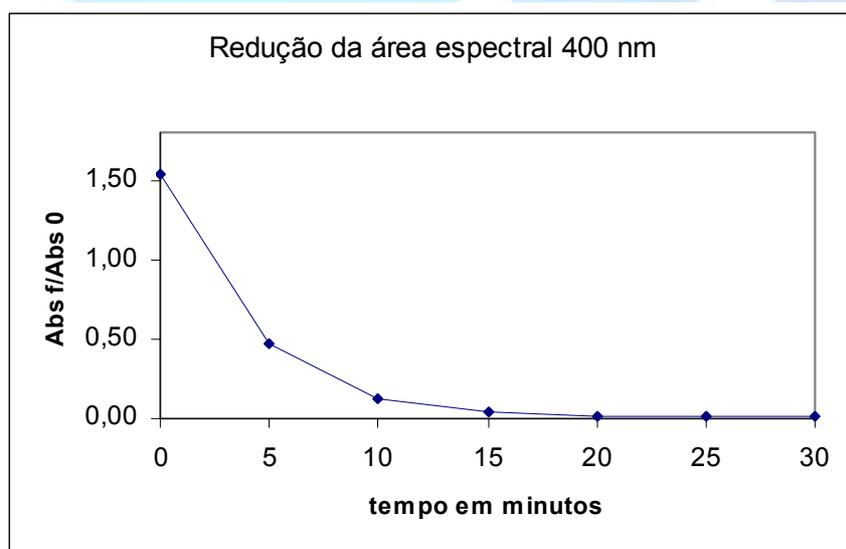


Figura 3 - Estudo do decaimento da área espectral durante o tratamento fotoquímico do corante reativo (50 mgL⁻¹) H₂O₂/UV

Importante observar quando adicionado o volume de 40 mL de H_2O_2 que o desempenho do processo H_2O_2/UV foi praticamente o mesmo em relação a adição do volume de 20 mL, provavelmente devido à competição do H_2O_2 que age “capturando” radicais reativos hidroxilas $\cdot OH$ para formar um radical menos reativo $HO_2\cdot$ (eq. 2-4) (BRITO et al., 2010b).



A partir dos resultados obtidos realizaram-se outros quatro experimentos (Figura 4):

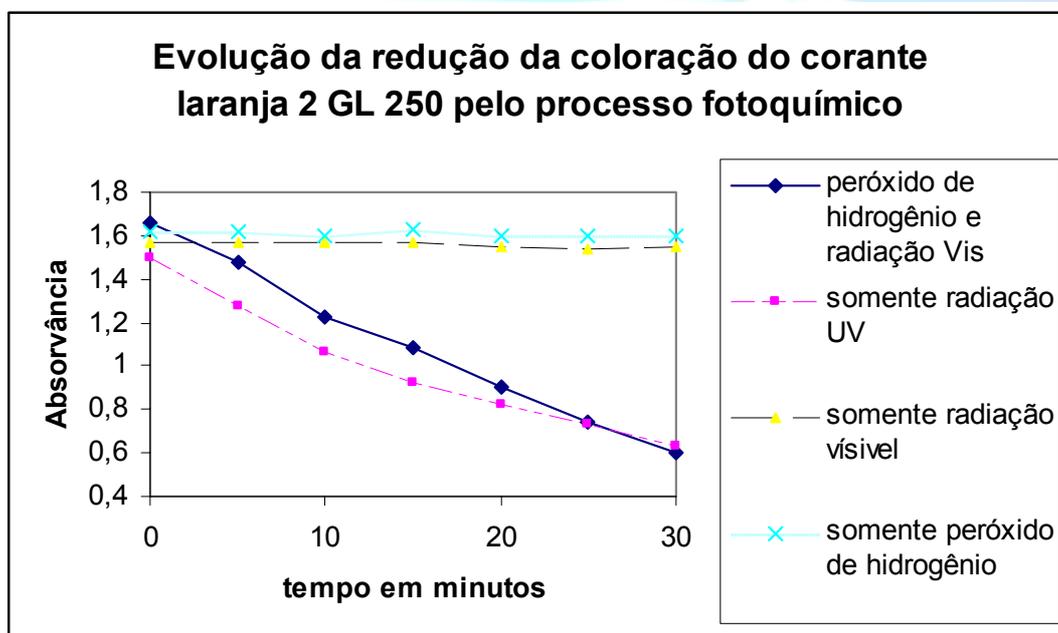


Figura 4 - Evolução do tratamento fotoquímico do corante têxtil reativo (50 mgL^{-1})

Os resultados utilizando H_2O_2 e o tubo de pyrex comprovaram uma porcentagem de redução da coloração em torno de 64,0%, bem inferior quando se usa o tubo de quartzo (99,7%). Este experimento demonstra a importância da radiação ultravioleta (UV) (mais energética) para provocar a completa clivagem do peróxido de hidrogênio e a necessidade do seu uso para potencializar o processo fotoquímico (Figura 4).

Com os experimentos mostrados na Figura 3, pode-se observar que uma parte da degradação fotoquímica realizou-se por meio da absorção da radiação que ocorre em comprimento de onda abaixo de 290 nm, mostrando a importância do aproveitamento da radiação ultravioleta (UV).

O experimento sem a utilização de H_2O_2 demonstrou que somente a ação da radiação ultravioleta (fotólise direta) na maioria das vezes não é capaz de promover a fotodegradação completa do substrato e geralmente provoca apenas algumas modificações na sua estrutura. Torna-se importante ressaltar, no entanto, que somente a radiação ultravioleta proporcionou uma eficiência

na remoção da cor em torno de 62,0%, enquanto que utilizando H_2O_2 e radiação ultravioleta a porcentagem de eficiência é praticamente a mesma (64,0%).

No experimento sem a utilização de H_2O_2 , a fim de verificar somente a ação da radiação na faixa do visível (Figura 4), não foi possível verificar a oxidação da estrutura do corante têxtil atingindo um máximo de eficiência na redução da cor de 7,6%.

Por meio de testes utilizados pôde-se verificar que sem o uso de radiação a porcentagem de redução da cor foi em torno de 4,19%, diminuindo drasticamente em relação aos testes anteriores. Este estudo vem comprovar que a metodologia ora em estudo é um processo fotoquímico e não puramente químico, indicando também que somente a presença do oxidante peróxido de hidrogênio não é suficiente para que haja uma modificação no sistema, demonstrando a necessidade da aplicação de radiação ultravioleta (UV) para que isto possa ser alcançado (Figura 4), resultados semelhantes encontrados por outros autores (MARMITT et al., 2010).

Além disto, foi possível observar a queda da absorbância com sequencial aumento do valor da mesma, provavelmente devido à geração de intermediários mais coloridos que a matriz inicial em estudo, de acordo com o citado por Subtil et al., 2009). Sendo assim diante dos dados obtidos pode-se verificar a melhor otimização do tratamento fotoquímico que pode ser visualizado na Figura 5.

A combinação de peróxido de hidrogênio com a radiação ultravioleta UV é necessária para produzir radicais OH e iniciar a reação de oxidação da ligação azo do corante (N=N), além de proporcionar a quebra das ligações dos compostos orgânicos policíclicos que alternam simples e duplas ligações “abrindo” a molécula reduzindo, assim, a presença de cor nas soluções.

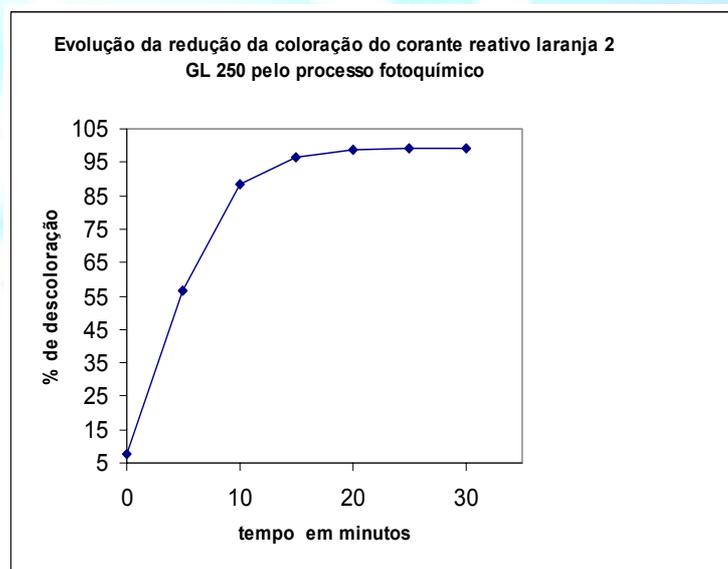


Figura 5 - Estudo da evolução do tratamento fotoquímico do corante reativo (50 mgL^{-1}) H_2O_2 /UV

O poder oxidante do peróxido de hidrogênio não é suficiente para promover a degradação dos corantes reativos, necessitando da presença de radiação na faixa do ultravioleta (UV) para que ocorra a degradação dos corantes. A razão de descoloração é favorecida pela presença de H_2O_2 , devido aos radicais hidroxilas gerados durante as reações fotoquímicas (ARAÚJO et al., 2006). Assim há um indicativo de efeito sinérgico do oxidante com incidência de radiação na faixa do ultravioleta (UV) (MACHADO e STULP, 2010).

Após o melhor resultado, foi realizada a varredura do comprimento de onda do corante têxtil reativo tratado frente àquela do corante “in natura” (Figura 6). A principal evidência de acompanhamento do fenômeno de descoloração referiu-se ao desaparecimento da banda de absorção a 487 – 500 nm, decorrente da quebra da ligação azo (-N=N-) (SALGADO et al., 2009).

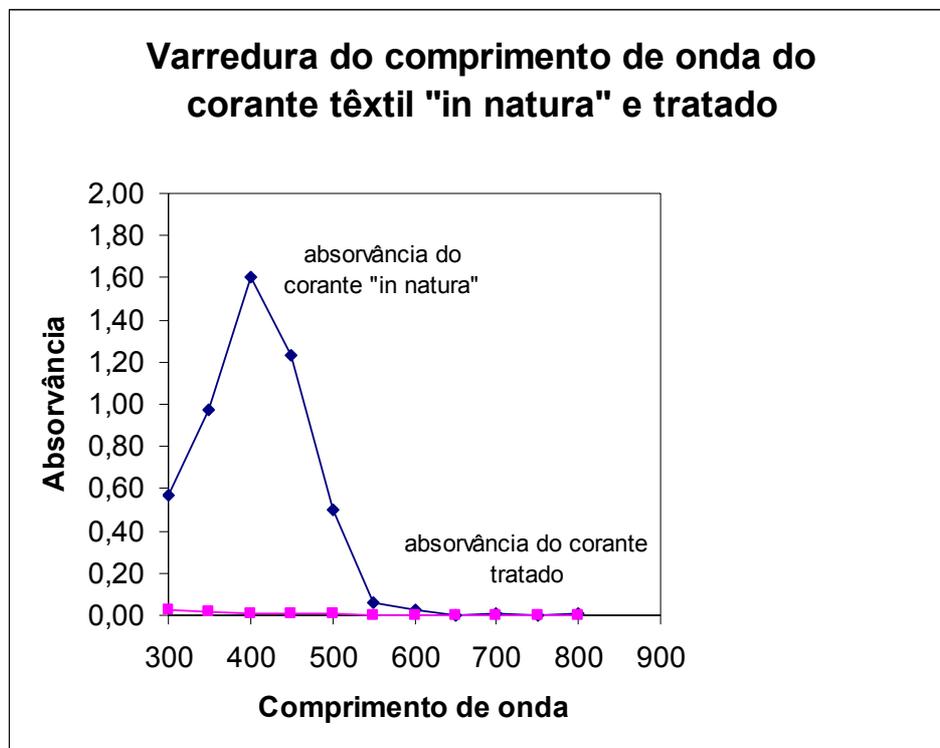


Figura 6. Varredura do comprimento de onda do corante têxtil “in natura” e tratado

Amorim et al. (2009) conseguiram redução da coloração em torno de 100,0% do corante RR195 (100 mgL^{-1}), durante 50 minutos de tratamento utilizando $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. MACHADO e STULP, 2010 obtiveram redução na coloração do corante rodamina B de 99,99%, no entanto, a concentração utilizada foi de 20 mgL^{-1} de corante bem menor do que a concentração utilizada neste estudo (50 mgL^{-1}).

Jacobs e Peralta-Zamora (2012) obtiveram remoção de cor do corante azul QR 19 (50 mgL^{-1}) em solução aquosa na ordem de 90,0% utilizando processo fotoeletroquímico na presença de sulfato de sódio, durante 60 minutos. Lenhard et al. (2010) obtiveram descoloração acima de 90,0% para 100 mgL^{-1} do corante preto intenso durante 6 horas de tratamento fotocatalítico (TiO_2/UV).

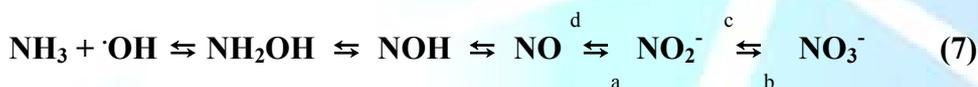
Sendo assim, os resultados encontrados neste estudo referindo-se à descoloração são promissores, além disto, após todo o tratamento fotoquímico realizado foi possível verificar que não houve variação do pH que ficou em torno de 5,0 e após o tratamento, não houve resíduo de H_2O_2 quando o tratamento foi estendido para 120 minutos.

A porcentagem de eficiência na redução de DQO foi de 50,0%, comprovando que além da ruptura do grupamento cromóforo, indicado pela remoção de cor nas soluções, o sistema $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ foi capaz de oxidar corantes reativos em intermediários facilmente degradados a CO_2 , H_2O e sais inorgânicos, de acordo com Araújo et al. (2006).

Não houve formação de nitrato nem de nitrogênio amoniacal. A concentração do íon nitrato está diretamente relacionada aos processos redox sobre as ligações azo (-N=N-). Pode-se esperar que não houve conversão total dos intermediários nitratos produzidos ao longo dos diferentes

mecanismos oxidativos empregados e, ainda, uma eventual decomposição do nitrato nas condições reacionais dos meios em estudo, de acordo com Salgado et al. (2009).

Segundo Brito et al. (2010 b), o fato do corante têxtil não apresentar concentração de nitratos após o tratamento fotoquímico também pode ser explicada pelo mecanismo proposto na “**equação 7**”, sendo que, as reações nos sentidos de “a” e “b” são desfavoráveis em relação às dos sentidos “c” e “d” (eq. 7). Ou seja, as velocidades das reações nos sentidos de “c” e “d” são maiores do que as velocidades das reações nos sentidos de “a” e “b”. Com isso, haverá um aumento da concentração da espécie química “NO” e o caminho da decomposição desta espécie pode seguir um curso mais favorável, possivelmente o apresentado na “equação 6” com a formação das espécies “N₂O” e “N₂”.



Quanto ao nitrogênio amoniacal é possível que tenha ocorrido a oxidação da amônia quando formada neste processo sem a geração de íons nitritos ou nitratos como era de se esperar. Um mecanismo proposto está apresentado nas equações 5 e 6.

A Figura 7 mostra uma comparação espectrofotométrica do corante têxtil tratado fotoquimicamente em alguns comprimentos de onda em relação a valores de padrão permitido referente a efluentes têxteis para descarte, segundo Guaratini e Zanoni (2000). Após 30 minutos de tratamento fotoquímico os resultados ficaram em níveis estabelecidos para descarte.

Segundo as citações de Brito et al. (2007), os resultados aqui encontrados podem ser expressivos, porque corantes têxteis reativos apresentam toxicidade para biota aquática ou podem ser biologicamente transformados em espécies tóxicas e poderiam causar interferência em processos fotossintéticos naturais.

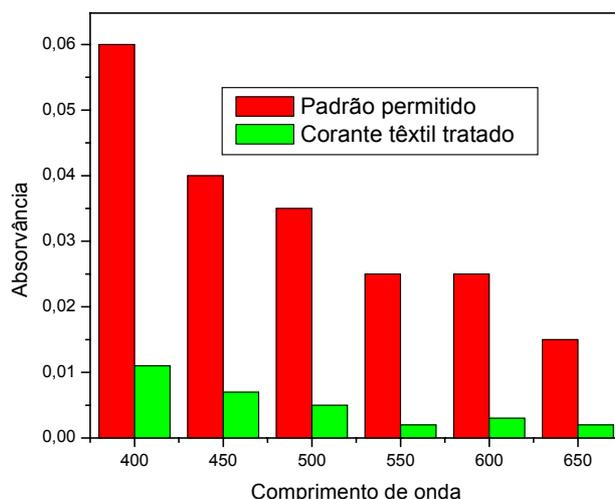


Figura 7 - Análise espectrofotométrica da amostra de um corante têxtil comparada a um padrão definido

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho apresentado, foi possível concluir que o processo H_2O_2/UV é tecnicamente eficiente para o tratamento dos efluentes aquosos originados de corantes têxteis. Em geral, após o término da reação fotoquímica, em torno de 50,0% de DQO e 99,7% da coloração foram removidos, mesmo na solução de corante têxtil contendo elevadas concentrações desses contaminantes.

O sistema UV/ H_2O_2 deve ser investigado em conjunto com outra tecnologia para que seja economicamente viável, podendo resultar em um efluente com boa qualidade e potencial de reuso.

A redução dos custos pode ser alcançada utilizando-se o oxidante para promover a oxidação parcial dos compostos químicos com subsequente tratamento biológico. Isto porque, o oxidante promove a quebra de moléculas refratárias com a formação de compostos mais simples, contribuindo para a maior eficiência do tratamento biológico posterior e consequentemente a produção de efluente final com melhor qualidade.

5. REFERÊNCIAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA. **Standard Methods for the Water and Wastewater**. 20 ed. New York: APHA, 1998. 1569p.

AMORIM, C.C.; LEÃO, M.M.D.; MOREIRA, R.F.P.M. Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n.4, p. 543-550, 2009.

ARAÚJO, F.V.F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L.A.C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H_2O_2/UV . **Química Nova**, v. 29, n. 1, p.11-14, 2006.

BRITO, N.N.; PATERNIANI, J.E.S.; BROTA, G.; PELEGRINI, R. tratamento fotoquímico de percolado de aterro sanitário. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.1, n.1, p. 19-25, 2010 a.

BRITO, N.N.; PATERNIANI, J.E.S.; BROTA, G.; PELEGRINI, R. Ammonia removal from leachate by photochemical process using H_2O_2 . **Revista Ambiente e Água**, v. 5, n.2, p. 10-19, 2010 b.

BRITO, N.N.; SALES, P.; PELEGRINI, R. Photochemical treatment of industrial textile effluent containing reactive dyes. **Environmental Technology**, v.28, p.321-328, 2007.

DANETO, Corantes e produtos Químicos. **Ficha técnica de segurança do produto químico**, (LARANJA INDOSOL 2GL 250), 2006.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 23, n.1, p. 71-78, 2000.

JACOBS, L.C.V.; PERALTA-ZAMORA, P.G. Degradação fotoeletroquímica do corante azul QR 19 em solução aquosa. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 895-899, 2012.

LENHARD, D.C.; SANTOS, A.Z.; FONTANA, V.C.; TAVARES, C.G. Foto-oxidação catalítica aplicada ao tratamento de efluentes para obtenção de água para reuso na indústria têxtil. **Holos Environment**, v. 10, n.1, p. 26-41, 2010.

MACHADO, V.R.; STULP, S. Avaliação do processo de oxidação em fluxo de efluente sintético proveniente do tingimento de gemas contendo o corante rodamina B. **Revista de Destaques Acadêmicos**, v. 2, n. 4, p. 39-45, 2010.

MARMITT, S.; PIROTTA, L.V.; STULP, S. Aplicação de Fotólise Direta e UV/H₂O₂ a Efluente Sintético Contendo Diferentes Corantes Alimentícios. **Química Nova**, v. 33, n. 2, p. 384-388, 2010.

OLIVEIRA, M.C.; NOGUEIRA, R.F.P.; NETO, J.A.G.; JARDIM, W.F. e ROHWEDDER, J.J.R. Sistema de injeção em fluxo espectrofotométrico para monitorar peróxido de hidrogênio em processo de fotodegradação por reação foto-fenton. **Química Nova**, v. 24, n. 2, p. 188-190, 2001.

QUEIROZ, B.P.V.; STEFANELLI, T. Biodegradação de corantes têxteis por *Anabaena flos-qual*. **Revista Engenharia Ambiental Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 26-35, 2011.

SALGADO, B.C.B.; NOGUEIRA, M.I.C.; RODRIGUES, K.A., SAMPAIO, G.M.M.S.; BUARQUE, H.L.B.; ARAÚJO, R.S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2009.

SALVADOR, T.; MARCOLINO JR, L.H.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes têxteis e remediação de resíduos de tingimento por processo de fenton, foto-fenton e eletro-fenton. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 932-938, 2012.

SILVA, M.C.; CORRÊA, A.D.; TORRES, J.A.; AMORIM, M.T.S.P. Descoloração de corantes industriais e efluentes têxteis simulados por peroxidase de nabo. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 889-894, 2012.

SUBTIL, E.L.; MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. Avaliação do desempenho do sistema UV/ H₂O₂ no tratamento de efluentes provenientes do processo de tratamento térmico de emulsões de água e óleo. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 3, p. 169-180, 2009.

Manuscrito recebido em: 05/05/2012
Revisado e Aceito em: 21/04/2013