

APLICAÇÃO DE PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Carlos Alberto Klimeck Gouvêa ¹
Jéssica Inácio de Sousa ²
Adriana Elaine da Costa ²

Resumo: O setor industrial têxtil descarta grandes quantidades de água decorrente do processo de tingimento contendo uma discreta cor residual. Os efluentes têxteis são tratados por processos convencionais de lodo ativado e físico-químico, contudo, esses não removem totalmente a coloração, que pode ser observada somente em grandes volumes. Desta maneira, surge a necessidade de desenvolver um processo capaz de proporcionar um tratamento final a esse efluente já tratado, mas de uma forma eficaz e econômica. Para tal, uma alternativa promissora é a aplicação de Processo Oxidativo Avançado (POA) para a remoção da cor. O presente trabalho tem como objetivo investigar as melhores condições de temperatura e de pH no uso de persulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) como catalisador no processo de geração de radicais irradiado com luz ultravioleta para o tratamento de efluente. Além disso, também foi investigada a ação conjunta da adição de peróxido de hidrogênio como fonte de radicais hidroxila. Para a investigação da eficiência do processo foi utilizada espectrofotometria de ultravioleta-visível, comparando a absorção da luz antes e após o tratamento para avaliar a eficiência. Como resultados, foi verificado que cada tipo de corante demonstrou um comportamento distinto em pH ácido e básico no que se refere à decomposição fotocatalisada. A temperatura mostrou-se extremamente eficiente na aceleração da degradação da cor para qualquer tipo de corante.

Palavras-chave: Fotocatálise. Catalisadores hidrossolúveis. Processos Oxidativos Avançados.

1. INTRODUÇÃO

Para o tratamento dos efluentes têxteis, o sistema de tratamento biológico por lodo ativado é a alternativa tecnológica com os melhores resultados apresentados devido a sua alta eficiência na remoção da matéria orgânica associada à simplicidade requerida na operação (LIMA *et al*, 2008). Porém, este processo apresenta alguns inconvenientes como a dependência às condições microbiológicas, sensibilidade à ação do meio e de agentes externos, resistência dos corantes à degradação biológica, geração de uma grande quantidade de lodo contendo um alto teor de corante adsorvido, impedindo qualquer possibilidade de reaproveitamento, elevado custo inicial e necessidade de grande área (PERALTA-ZAMORA 2010).

Como solução para a remoção da cor residual do efluente tratado, as empresas utilizam uma solução de polímero catiônico em um processo físico-químico, porém o custo desses polímeros acaba sendo elevado para que haja uma eficiente remoção de quantidade ínfima de corante na solução tratada, além de constituir matéria orgânica como carga no efluente final. A utilização de apenas processo físico-químico de coagulação, seguido de separação por flotação ou sedimenta-

¹ Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC. E-mail: gouvea@sociesc.com.br

² Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC.

ção, apresenta uma elevada eficiência na remoção de material particulado, porém a remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos se mostra deficiente. Os processos de adsorção em carvão ativado apresentam uma eficiência maior, no entanto, proporcionam uma limitação à adsorção de corantes de caráter catiônico em função da superfície química do carvão ser positiva (AL-DEGS *et al*, 2000). Diante dessa problemática, este trabalho justifica-se pela necessidade de cuidados com os recursos naturais, face ao crescente desenvolvimento do país. A coloração persistente em efluentes têxteis apresenta uma possibilidade de ser tratada por processos oxidativos avançados, com a finalidade de reutilização do efluente tratado no próprio processo fabril têxtil.

Muitos dos métodos investigados em escala laboratorial mostram-se promissores, dos quais se pode citar os que utilizam persulfato de potássio ou sódio em POA (CLAUSEN, 2006) como uma alternativa de tratamento e purificação de ambientes contaminados e, por isso, merecem ser investigados para uma aplicação em escala industrial.

O objetivo geral do presente trabalho é o de investigar as melhores condições físicas e físico-químicas de ação do persulfato de sódio na descoloração de corantes têxteis. Para isso, os objetivos específicos estão voltados para a comparação das melhores condições de descoloração de 7 diferentes corantes têxteis pela ação da radiação UV catalisada por persulfato de sódio, contemplando o efeito do pH e da temperatura na eficiência de descoloração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na indústria têxtil em geral, é empregado como tratamento dos efluentes o processo físico-químico, envolvendo a coagulação e a precipitação das impurezas presentes, seguido de tratamento biológico, via sistema de lodos ativados. Estes processos visam atingir os limites dos parâmetros de lançamento do efluente tratado disposto na Resolução CONAMA 357 de 2005 e a Resolução CONAMA 430 de 2011. Algumas empresas tratam seus efluentes na ordem inversa, ou seja, o processo de lodo ativado acontece antes do processo físico-químico, porém, a base tecnológica de tratamento é a mesma. Os processos convencionais de tratamento de efluentes industriais apresentam uma eficiência significativa na remoção de material particulado, porém possui a desvantagem de não remover toda a cor presente no efluente, causando um impacto ambiental visual e em função da toxicidade associada com a interferência em processos fotossintéticos (PERALTA-ZAMORA *et al.*, 2002). Em função desta desvantagem, processos alternativos de degradação vêm sendo estudados para permitir a mineralização dos compostos orgânicos recalcitrantes, a fim de obter CO₂ e H₂O como produtos finais do processo, objetivo dos processos oxidativos avançados (POA) (GULYAS, 1997).

Os POA têm como objetivo a geração e utilização do radical hidroxila (OH•), um forte agente oxidante capaz de desgradar compostos resistentes através da ruptura das ligações químicas e a transferência de elétrons do contaminante para o oxidante, sendo o contaminante oxida-

do e o oxidante reduzido, representando uma reação de oxidação redução. Este processo é bastante versátil, pois a geração dos radicais hidroxila pode ocorrer por vários meios e combinações entre os oxidantes, sendo cada qual apropriado para um problema específico (CAVALCANTI, 2009).

As reações que ocorrem nos POA baseiam-se na capacidade que o radical hidroxila tem de oxidar os compostos orgânicos (RH) presentes nos efluentes, através da abstração do hidrogênio. De um modo geral, para a geração do radical hidroxila utiliza-se fótons com energia suficiente para promover elétrons da banda de valência (BV) até a banda de condução (BC) de um semicondutor, através da zona intermediária chamada band gap. No momento em que estes portadores de cargas livres entram em contato com a molécula que contem oxigênio ou uma molécula de água, sucede a formação de radicais altamente reativos, entre eles o radical hidroxila. A energia do fóton ($h\nu$) que está incidindo precisa ser maior ou igual à energia do band gap (E_{bg}) do semicondutor para que essa transferência do elétron da BV para a BC aconteça. Nessa transferência de elétrons, formam-se sítios oxidantes e redutores, que provocam a oxidação dos compostos orgânicos, transformando-os em CO_2 e H_2O , assim como a redução dos metais dissolvidos no meio (GOUVÊA, 2000; CLAUSEN, 2006). Como utilizam-se fótons para a geração dos radicais hidroxila, o processo é conhecido como fotocatalítico.

Para a reação de fotocatalise em fase homogênea, o catalisador deve estar na fase líquida. Para tanto, o persulfato

de sódio (ou potássio) tem se mostrado bastante eficiente, com potencial para degradar uma ampla gama de contaminantes do solo e de água subterrânea, sendo assim, razão pela qual é recomendado em aplicações ambientais (BLOCK; BROWN; ROBINSON, 2004).

O ânion persulfato é um oxidante extremamente poderoso, também chamado de peroxissulfato, sendo utilizado como um branqueador na cosmética capilar e em componente detergentes. É também empregado como substituto do persulfato de amônio em misturas de zinco para gravura em placas de circuitos impressos e também na decapagem de cobre e outros metais. Além dos empregos mencionados, o persulfato também é usado na fabricação de corantes, na modificação de amidos, como ativador de branqueamento e como agente de desengomagem, dentre outras aplicações.

O potencial-padrão de oxidação-redução para a reação é 2,1 V, constituindo-se como uma fonte de radicais livres, o que o torna útil como iniciador de radicais para as reações de polimerização em emulsão e para cura acelerada de adesivos de formaldeído e na degradação da matéria orgânica dos efluentes (BLOCK; BROWN; ROBINSON, 2004).

A Equação (1) demonstrada seu comportamento como oxidante em meio ácido:



Quando irradiado com fótons UV, o persulfato de sódio é induzido a formar o radical sulfato, permitindo o fornecimento dos mecanismos de reação do radical livre similares aos processos do radical (Equação 2):

$S_2O_8^{2-}$ + iniciador (luz UV) \rightarrow $2SO_4^{\cdot-}$ (1)

O ânion radical sulfato ($SO_4^{\cdot-}$) ao reagir com a água, produz o radical hidroxila HO^{\cdot} , conforme Equação (3) e também forma oxigênio atômico, conforme Equação (4) (MALATO et al, 1998; MILLS & VALENZUELA, 2004).



A oxidação com persulfato apresenta vantagens com relação aos outros processos de oxidação avançada, como a rapidez com que ocorre a cinética de reação e a estabilidade do radical sulfato ser maior que a do radical hidroxila (BLOCK; BROWN; ROBINSON, 2004). O trabalho de Felix-Navarro (2013) mostra que a presença do íon prata auxilia no processo de degradação da matéria orgânica, Alguns pesquisadores têm contribuído no processo oxidativo fotocatalítico através da adição de persulfato de potássio com resultados bastante animadores quanto à velocidade de descoloração da solução e alternativas promissoras para tratamento e purificação de ambientes aquáticos contaminados por azo corante. O estudo de Clausen (2006) mostra que o pH alcalino favorece a degradação por POA utilizando o íon persulfato e o estudo de Wang (1999) que a adição de peróxido de hidrogênio potencializa a degradação, quando na faixa de 10^{-2} a 10^{-3} M. Segundo Takashima & Lucilha (2006) a descoloração do corante reativo AO7 sob radiação artificial é mais rápida quando se utiliza o persulfato isoladamente do que com a presença dos catali-

sadores dióxido de titânio (TiO_2) ou óxido de zinco (ZnO).

Desta forma, justifica-se o estudo do uso do persulfato como catalisador no tratamento de efluentes da indústria têxtil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram preparados 5 litros de amostras de cada corante têxtil na concentração de 50mg/L e armazenadas sob refrigeração à 4°C. Os corantes são do tipo reativo, Remazol e Levafix, procedentes da Clariant do Brasil Ltda., gentilmente cedidos pela empresa Dohler S/A, quais sejam: Amarelo Ouro Remazol, Azul Brilhante Remazol, Azul Levafix, Azul Turqueza Remazol, Vermelho Levafix, Vermelho Remazol e Preto Remazol. As soluções de corante foram armazenadas sob refrigeração a 4°C e ao abrigo de luz durante o período de testes para evitar decomposição.

Todos os ensaios de descoloração foram realizados em triplicata, com volume de 100 mL de solução em béquer de 600 mL, com o objetivo de manter uma altura padrão de lâmina de líquido no béquer e garantir uma penetração uniforme da radiação luminosa.

Os testes foram realizados sob agitação magnética constante (velocidade mínima do equipamento), com o auxílio de uma barra magnética.

A fonte de radiação ultravioleta foi uma lâmpada marca Phillips, de vapor de mercúrio de média pressão, sem bulbo protetor, com potência de 125W.

O catalisador empregado foi o persulfato de sódio, marca Reagem. Por ser sólido nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), antes de cada ensaio

foi previamente dissolvido na solução de corante sob agitação constante por 1 minuto, na ausência de radiação UV.

Previamente aos ensaios, a lâmpada de radiação UV foi ligada durante 20 minutos, sendo, após este período, todas as amostras submetidas à irradiação em uma distância de 18 centímetros entre a fonte (lâmpada) e a superfície do líquido. Para avaliar a eficiência de descoloração, a absorbância da solução foi medida em um espectrofotômetro UV-vis, marca HACK 5000, nos comprimentos de onda verificados experimentalmente como os de maior absorção de luz.

Para os cálculos de eficiência foram medidas as absorbâncias inicial (corante original) e final (após a descoloração) e aplicada a Equação (5), onde I_0 é a absorbância inicial e I é a absorbância final:

$$\text{Descoloração (\%)} = 100 - (I * 100) / I_0 \quad (5)$$

Para tornar o pH da solução ácido (3,5) utilizou-se solução 0,5 M de ácido clorídrico. Para ajuste de pH igual a 10,0 utilizou-se uma solução tampão de carbonato de sódio com bicarbonato de sódio, ambos com concentração de 5×10^{-3} M.

Todos os ensaios foram realizados com uma concentração de persulfato de sódio de 1,190 g/L (CLAUSEN, 2006), por 270 segundos, sendo que alíquotas de amostras foram coletadas em intervalos de tempos de 30, 90, 150, 210 e 270 segundos e medidas as absorbâncias para os cálculos de descoloração.

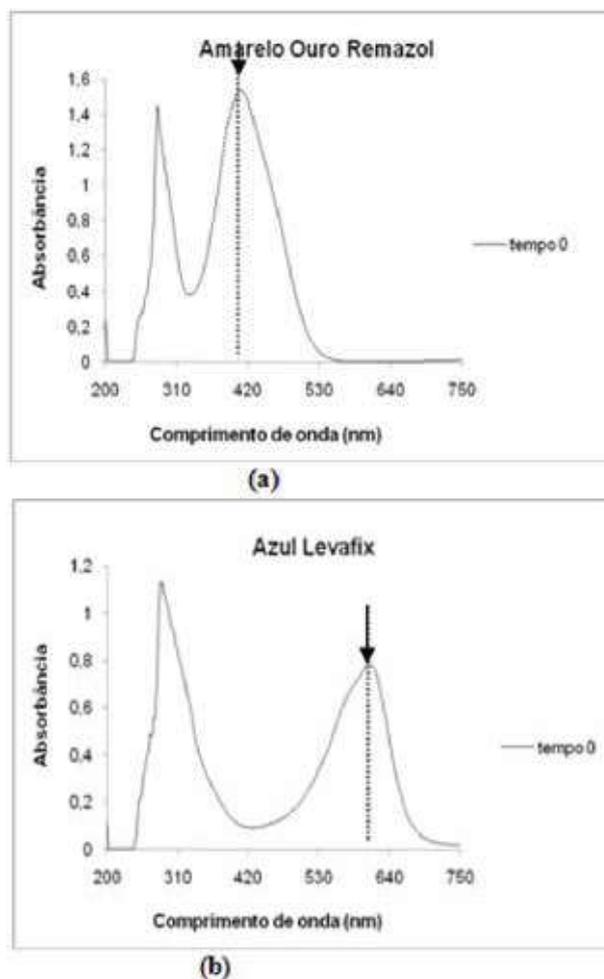
Para avaliação do efeito da temperatura, os ensaios foram conduzidos a 20°C (temperatura do ambiente) e a 60°C (temperatura de desague da máquina de tingimento), sempre com 1,190 g/L

persulfato, no mesmo tempo de 270 segundos e comparados entre si. Esses ensaios foram realizados com os mesmos 3 corantes anteriores: Azul Brilhante Remazol, Azul Turqueza Remazol e Vermelho Remazol.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na determinação dos maiores comprimentos de onda no visível foram encontrados picos de maior absorção em 408 nm para o corante Amarelo Ouro Remazol e 598 nm para o Azul Levafix (Figura 1a e b).

Figura 1 - (a) Espectro do corante Amarelo Ouro Remazol e (b) Azul Levafix

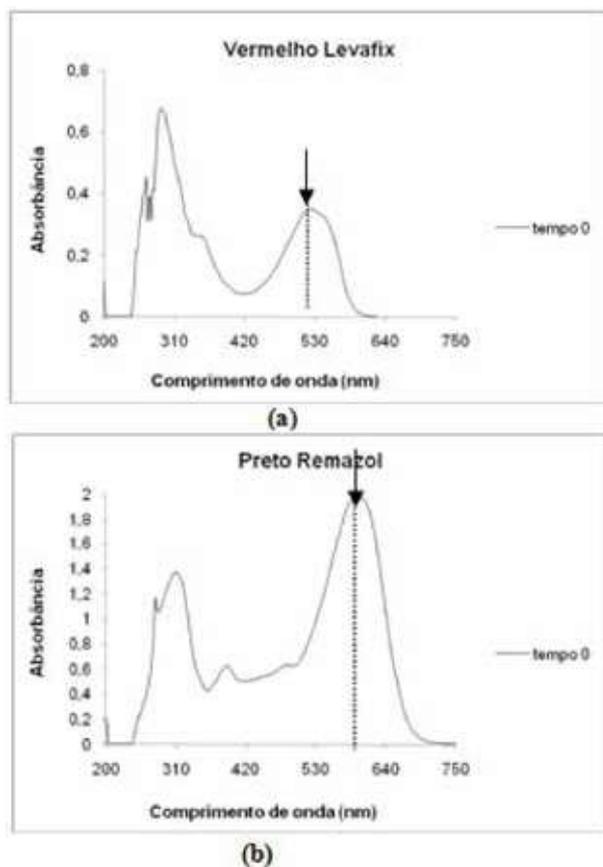


Fonte: Produção do próprio autor

ARTIGOS

Para os corantes Vermelho Levafix e Preto Remazol os comprimentos de onda encontrados foram 526 e 598 nm, respectivamente (Figura 2 a e b).

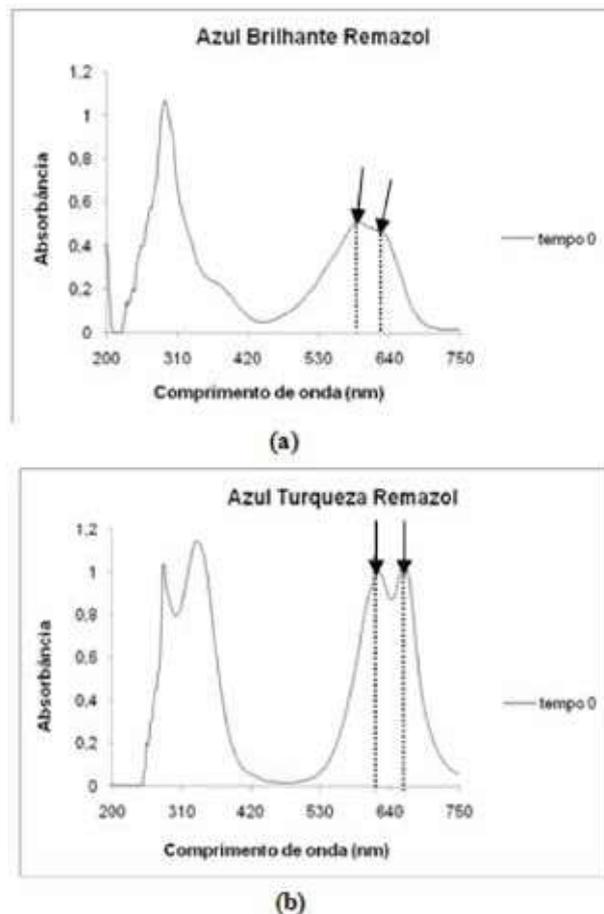
Figura 2 - (a) Espectro do corante Amarelo Ouro Remazol e (b) Azul Levafix



Fonte: Produção do próprio autor

Para os corantes Azul Brilhante Remazol os comprimentos de onda encontrados foram 588 e 628 nm e, para o corante Azul Turqueza Remazol, 612 e 668 nm (Figura 3 a e b).

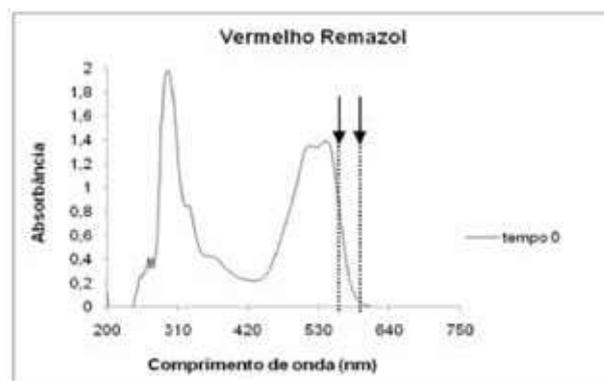
Figura 3 - (a) Espectro do corante Azul Brilhante Remazol e (b) Azul Turqueza Remazol



Fonte: Produção do próprio autor

Por fim, para o corante Vermelho Remazol foram encontrados os comprimentos de onda de 504 nm e 556 nm (Figura 4).

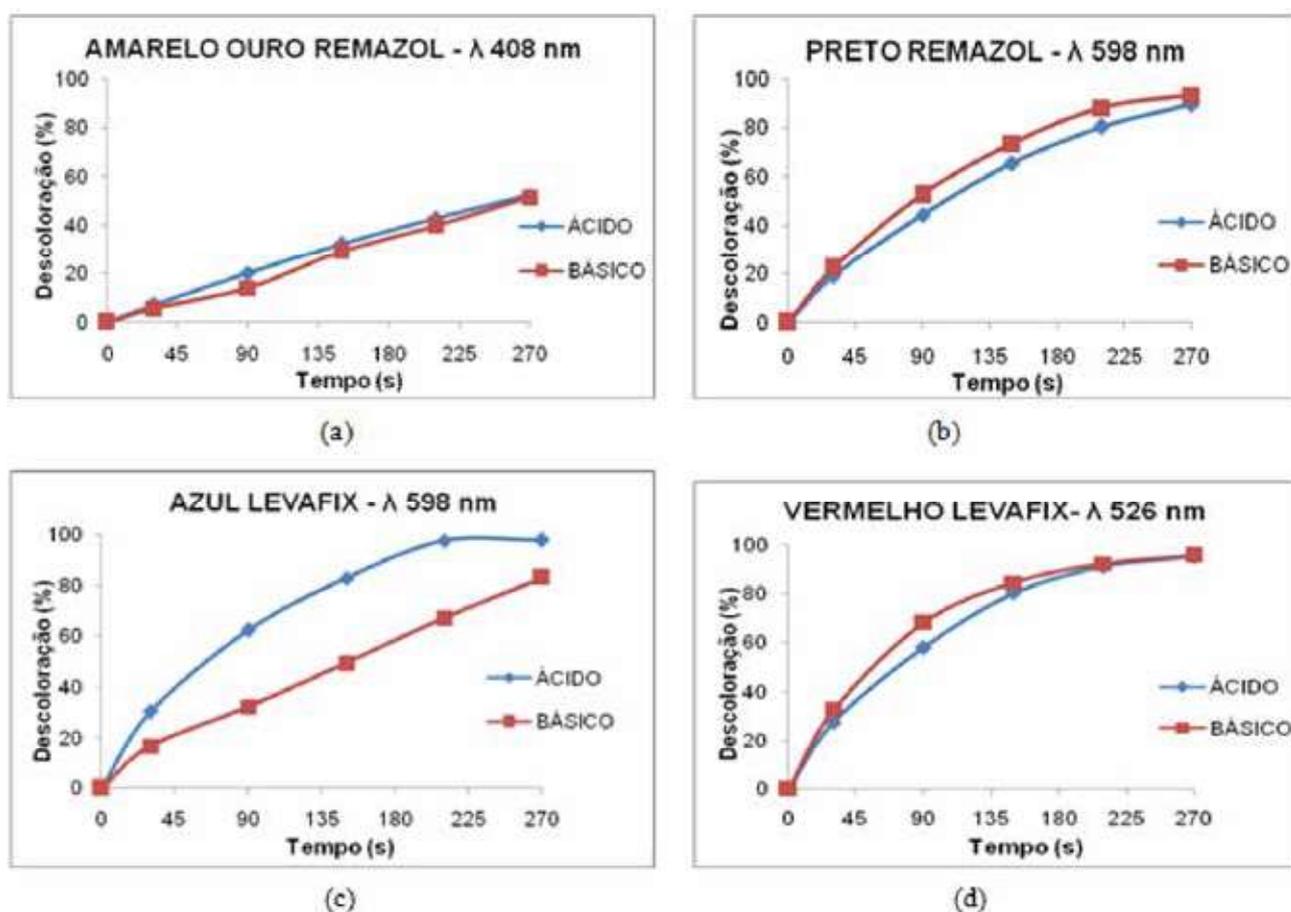
Figura 4 - Espectro do corante Vermelho Remazol



Fonte: Produção do próprio autor

Inicialmente, são apresentados os resultados dos corantes que tiveram a eficiência de degradação determinada em apenas um comprimento de onda. Foram estes, o Amarelo Ouro Remazol, Preto Remazol, Azul Levafix e Vermelho Levafix. Fotodegradados em valores de pH diferentes, o Amarelo Remazol e o Azul Levafix apresentaram eficiências de degradação favorecidas com o meio ácido, enquanto que os corantes Preto Remazol e Vermelho Levafix apresentaram degradação favorecida pelo pH alcalino (Figura 5 a, b, c e d).

Figura 5 - Comparativo de descoloração (a) Amarelo Ouro Remazol, (b) Preto Remazol, (c) Azul Levafix e (d) Vermelho Levafix em pH ácido e básico degradado com persulfato de sódio em função do tempo



Fonte: Produção do próprio autor

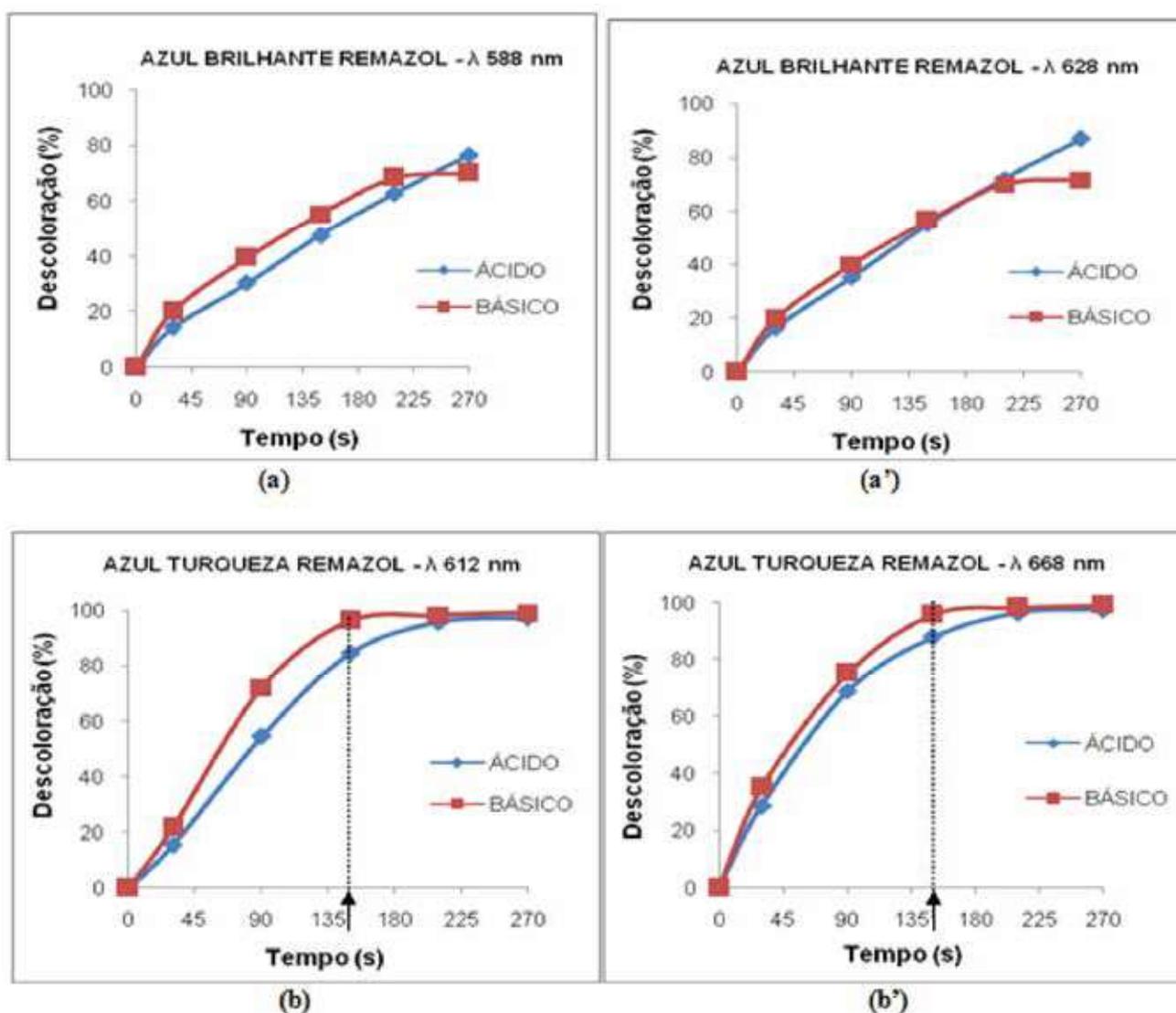
Ao serem observados os comportamentos de degradação em pH ácido e básico fica evidente que cada corante, em função de seu respectivo grupo cromóforo, tem uma reatividade com os radicais sulfato e hidroxila distintos, não sendo possível firmar posicionamento que um pH favorece a fotodegradação catalisada mais que outro.

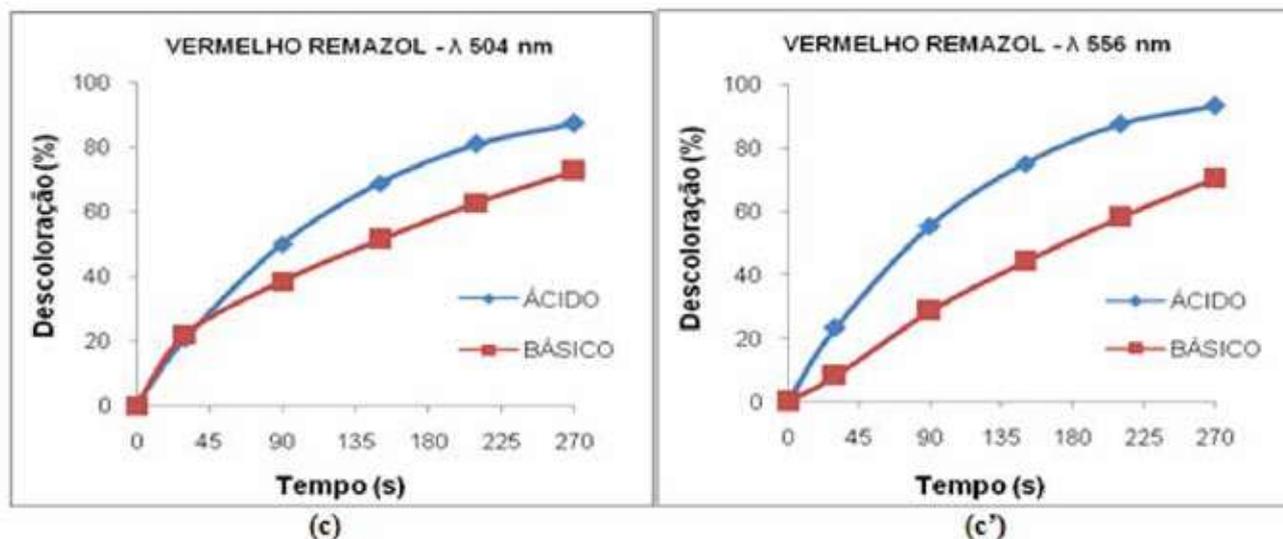
Para os corantes que apresentam dois picos de absorção da luz em comprimentos de onda do visível, Azul Brilhante Remazol, Azul Turquesa Remazol e Vermelho Remazol, observam-se comportamentos de degradação maiores em função do comprimento de onda medido, ou seja, em função do cromóforo (Figura 6).

ARTIGOS

O corante Azul Brilhante Remazol apresentou coloração mais rápida em pH básico, porém essa descoloração ocorreu até um patamar e parou de descolorir, permanecendo uma cor residual. No pH ácido, essa descoloração foi um pouco mais lenta, mas ao longo do tempo toda a cor residual desapareceu. Quando observada a descoloração do corante Azul Turqueza Remazol, em pH básico a descoloração total ocorreu em 140 minutos, fato que só ocorreu em 225 minutos no pH ácido. Por fim, o corante Vermelho Remazol apresentou maior facilidade de descoloração durante todo o tempo do ensaio.

Figura 6 - Comparativo de descoloração do corante Azul Brilhante Remazol (a) em pH ácido e (a') em alcalino, Azul Turqueza Remazol (b) em ácido e (b') em alcalino, Vermelho Remazol (c) em ácido e (c') em alcalino



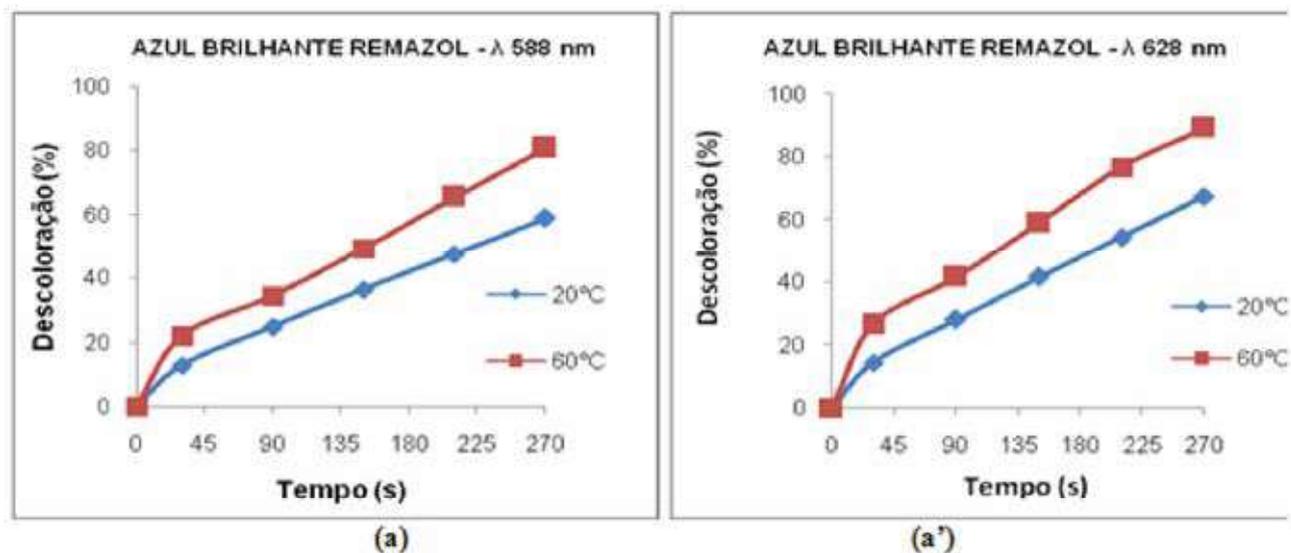


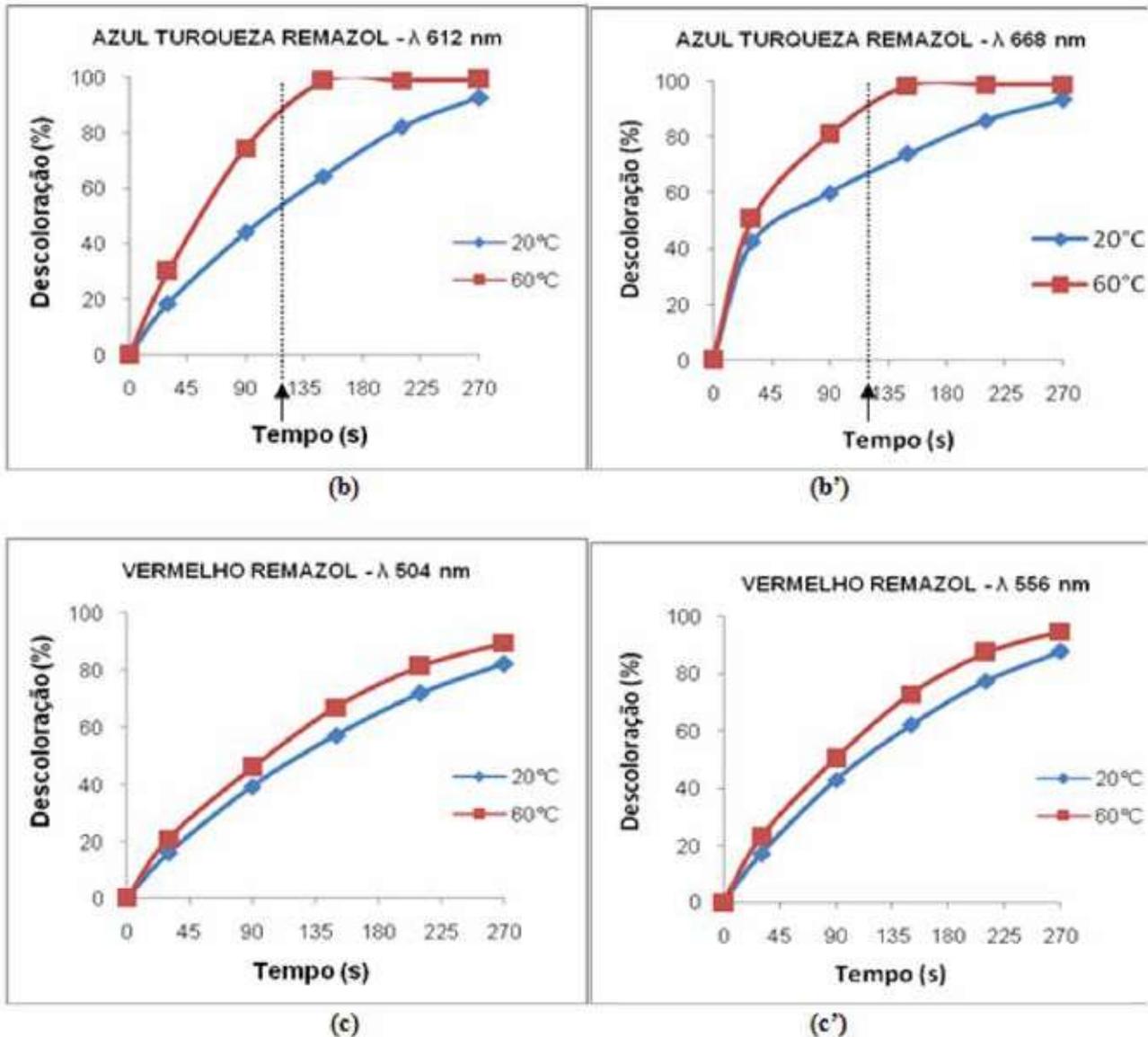
Fonte: Produção do próprio autor

Assim, igualmente ao observado no outro grupo de corantes, o pH auxilia a reatividade de alguns cromóforos, não permitindo afirmar que o meio ácido ou básico é mais adequado, contrariamente ao afirmado no trabalho de Clausen (2006).

Os ensaios de fotodegradação a 60° C foram comparados com os mesmos ensaios realizados na temperatura de 20° C, tendo sido realizados com os mesmos três corantes do ensaio de degradação na presença de peróxido de hidrogênio (Figura 7).

Figura 7 - Comparativo de decoloração dos corantes a 20°C e a 60°C Azul Brilhante Remazol com persulfato de sódio em (a) em 588 nm e (a') em 628 nm, Azul Turquesa Remazol (b) em 612 nm e (b') 668 nm, Vermelho Remazol (c) 504 nm e (c') em 556 nm





Fonte: Produção do próprio autor

Da observação da Figura 7, constata-se que a temperatura exerce um efeito positivo na degradação da cor dos efluentes, muito provavelmente por fornecer mais energia ao sistema, favorecendo a hidrólise homolítica das ligações oxigênio-oxigênio do persulfato e também pelo aumento da cinética entre as moléculas no meio aquoso. Considerando que o efluente é descartado a quente pelas máquinas de tingimento, temperatura ao redor de 60° C, o estudo em temperaturas elevadas é bastante recomendado.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados experimentais obtidos, entende-se que não é possível afirmar que a decoloração em pH básico é sempre mais eficiente do que no meio ácido, uma vez que cada tipo de cromóforo apresentou reatividade distinta em função da concentração de íons H⁺ no meio.

É possível afirmar que a temperatura influencia positivamente na degradação fotocatalítica, uma vez que a descoloração foi sempre mais rápida na temperatura de 60° C, quando comparado com 20°C. Considerando que na indústria o deságue do efluente sai em temperatura elevada, a descoloração por esse processo merece ser estudada de forma mais detalhada.

Por fim, pelo fato do efluente têxtil conter grandes quantidades de sais dissolvidos (sulfato e cloreto de sódio), sua descoloração e subsequente reuso em novos tingimentos não representa apenas um benefício ambiental, mas também uma economia considerável de insumos.

APPLICATION OF ADVANCED OXIDATIVE PROCESS IN THE TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENTS

Abstract: *The textile industry discards large amounts of water due to the dyeing process containing a slight residual color. The textile effluents are treated by conventional processes of activated sludge and physical-chemical. However, these do not completely remove the color completely and it can be observed only in large volumes. It is mandatory to develop a process capable of giving a final polish to this already treated effluent, but effective and economically available. In this direction, a promising alternative is the application of Advanced Process Oxidative (POA) for color removal. The present study aims to investigate the best conditions of temperature and pH on the use of sodium persulfate (Na₂S₂O₈) as a catalyst in the generation of radicals process irradiated with ultraviolet light. Furthermore, it was also investigated the addition of hydrogen peroxide as a source of hydroxyl radicals over the persulfate catalyst. To evaluate the efficiency of the process was used ultraviolet-visible spectrophotometry, comparing the absorption of light before and after treatment to evaluate the efficiency. As a result, each dye showed a different decomposition behavior in acidic and basic solution. The temperature was extremely effective in accelerating the degradation of color for any type of dye.*

Keywords: *Photocatalysis; Soluble catalysts; Advanced Oxidation Processes.*

REFERÊNCIAS

AL-DEGS, Y; KHRAISHEH, M. A. M; ALLEN, S. J; AHMAD, M. N. **Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent.** Revista Elsevier, Belfast, Water Research, v. 34, p. 927-935. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 08 mar. 2013.

BLOCK, Philip A.; BROWN, Richard A.; ROBINSON, David. **Novas tecnologias de ativação para oxidação química In Situ com persulfato de sódio.** Ata da quarta conferência internacional de remediação de compostos clorados e recalcitrantes, 2004. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas>>. Acesso em: 08 mar. 2013.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais.** 2. ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009.

CLAUSEN, Débora Nobile. **Degradação fotocatalítica do azocorante Direct Red 23 (DR23) em suspensão de dióxido de titânio.** Londrina: UEL, 2006. Tese (Mestrado em Química dos Recursos Naturais) – Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina/PR, Londrina, 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.uel.br/>>. Acesso em: 08 mar. 2013.

ARTIGOS

FELIX-NAVARRO, Rosa María; LIN, Shui Wai; ZIZUMBO-LÓPEZ, Arturo; PÉREZ-SICAIROS, Sergio; REYNOSO-SOTO, ESPINOZA-GÓMEZ, Edgar Alonso; HERIBERTO, José. **1,4-Dioxane Degradation Using Persulfate Ion and Ag(I) Ion**. J. Mex. Chem. Soc. 2013, 57(2), 127-132, 2013.

GOUVÊA, Carlos Alberto Klimeck. **Remediação de efluentes derivados da indústria têxtil e papelaria utilizando fotocatalise heterogênea. Desenvolvimento, caracterização e otimização de fotocatalisadores**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia na área de concentração em Engenharia e Ciência de Materiais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GULYAS, H. **Processes for the Removal of Recalcitrant Organics from Industrial Wastewaters**. Revista Elsevier, Hamburg, Water Science Tech. England, v.36, p.9-16, 1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 07 mar. 2013.

LIMA, C. A. A.; SANTOS, J. A. C. ; SANTOS, S. C. ; FASSINO, S. **Microbiology as operational support for optimization of textiles effluent treatment plants for activated sludge**. Alfenas, 2008. Disponível em: <<http://www.life-battle.bologna.enea.it/>>. Acesso em: 02 mar.2013.

MALATO, S.; BLANCO, J.; RICHTER, C.; BRAUN, B.; MALDONADO, M. I. **Enhancement of the rate of solar photocatalytic mineralization of organic pollutants by inorganic oxidizing species**. Revista Elsevier, Tabernas Almería, Applied Catalysis B: Environmental, v.17, p. 347-356, 1998. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

MILLS, A.; VALENZUELA, M. A. **The photo-oxidation of water by sodium persulfate, and other electron acceptors, sensitised by TiO₂**. Journal of Photochemistry and Photobiology a: Chemistry, p. 25-34, 2004.

PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L; MORAES, S.G; DURÁN, N. **Degradação Enzimática de Corantes Têxteis**. *Revista Química Têxtil*, nº 68, p.32-38, 2002.

PERALTA-ZAMORA Patricio, *Photoelectrochemical or Electrophotochemical Processes?*, J. Braz. Chem. Soc., Vol. 21, No. 9, 1621-1625, 2010.

TAKASHIMA, Keiko; LUCILHA, Adriana Campano. **Efeito do íon persulfato na descoloração do azo corante acid orange 7**. 2006. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T0728-1.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2013.

WANG, Yongbing; HONG, Chia-Swee. **Effect of hydrogen peroxide, periodate and persulfate on photocatalysis of 2-chlorobiphenyl in aqueous TiO₂ suspensions**. Water Research, Vol. 33, Issue 9, p. 2031–2036, 1999