

Degradação fotocatalítica de efluentes de indústria têxtil empregando TiO_2 e Nb_2O_5 , sob irradiação visível

Veronice Slusarski Santana* e Nádia Regina Camargo Fernandes Machado

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: veronices@deq.uem.br

RESUMO. A aplicação de métodos biológicos convencionais de tratamento de efluentes têxteis está limitada pela degradação insatisfatória de alguns corantes. Assim, a fotocatalise heterogênea é uma alternativa no tratamento desse tipo de efluente. Foram realizados testes de degradação fotocatalítica em três efluentes naturais de indústria têxtil, sob irradiação visível, empregando os fotocatalisadores: TiO_2 , Nb_2O_5 puros e em combinação, através da mistura mecânica (1:1) e impregnação (5% $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$). As análises de caracterização realizadas (RTP, DRS, acidez, FTIR e análise textural) indicaram um efeito sinérgico e interação diferenciada entre os óxidos e a formação de uma nova fase no catalisador $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$. Os resultados de descoloração e mineralização mostraram que a redução de cor não está diretamente relacionada com a redução de DQO, e que a eficiência do processo fotocatalítico depende tanto do efluente a ser tratado quanto do fotocatalisador empregado, tornando-se promissor o uso do Nb_2O_5 e irradiação visível na fotodegradação de efluentes têxteis.

Palavras-chave: fotodegradação, irradiação visível, TiO_2 , Nb_2O_5 .

ABSTRACT. Photocatalytic degradation of textile effluents using TiO_2 and Nb_2O_5 , under visible irradiation. This research aims to work with photocatalysis as an alternative in the treatment of textile wastewater, because of the unsatisfactory degradation of some dyes by the conventional biological methods. Photocatalytic degradation tests were done in three natural textile effluents, under visible irradiation. The photocatalysts used were: TiO_2 and Nb_2O_5 , pure and combined with mechanical mixture (1:1) and impregnation (5% $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$). The characterization analysis (TPR, DRS, acidity, FTIR and textural analysis) indicated a synergic effect and differentiated interaction between the oxides and the formation of a new phase in the catalytic $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$. Decolorization and mineralization results showed that the color reduction is not directly related to the COD reduction and that the efficiency of the photocatalytic process depends on both, the effluent to be treated and the photocatalyst worked, showing that the use of Nb_2O_5 and visible irradiation on the photo degradation of the textile effluents is promising.

Key words: photo degradation, visible irradiation, TiO_2 , Nb_2O_5 .

Introdução

Considerando o volume descartado e a diversidade na composição, o efluente de indústria têxtil é classificado como o mais poluente de todos os setores da indústria química, uma vez que, no Brasil, a indústria têxtil utiliza 20ton/ano de corantes, nos quais cerca de 10% deles são desperdiçados nos efluentes. O descarte de efluente varia de acordo com o método de produção, entre 40 e 300 m^3 por tonelada de tecido acabado (Galindo *et al.*, 2000; Moraes *et al.*, 2000, Rott e Minke, 1999; Vandevivere *et al.*, 1998).

Devido ao caráter carcinogênico ou mutagênico de alguns corantes, aos efeitos nocivos da coloração nas águas receptoras e à resistência habitual dos efluentes à degradação biológica, tornou-se necessário estudar novas alternativas de tratamento adequado para esses tipos de efluentes (Lee *et al.*, 1999; Gouvêa *et al.*, 2000).

Nos últimos anos, vários Processos de Oxidação Avançada (POAs) foram propostos como formas alternativas de purificação de águas. Entre esses processos, a fotocatalise heterogênea tem se destacado como um método muito atrativo para a descontaminação de efluentes industriais, por ser

um processo destrutivo, por degradar inúmeros produtos químicos recalcitrantes em sistemas gasosos ou aquosos e por ser relativamente barato (Kiriakidou *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 1999; Gouvêa *et al.*, 2000).

Desde então, são inúmeros os artigos publicados sobre oxidação fotocatalítica de soluções aquosas contendo produtos químicos orgânicos específicos, principalmente corantes. No entanto, há poucos estudos sobre a oxidação fotocatalítica de efluentes têxteis naturais de plantas industriais.

Comparando os resultados apresentados na literatura para a degradação fotocatalítica de efluentes sintéticos (Gonçalves *et al.*, 1999; Qu *et al.*, 1998; Vinodgopal *et al.*, 1996; Zang *et al.*, 1998) e naturais (Peralta-Zamora *et al.*, 1998; Santana, 2002) observou-se uma maior facilidade em degradar efluentes sintéticos, além de que a descoloração é muito mais rápida que a mineralização do efluente a CO_2 e H_2O .

Assim, este trabalho visa estudar a degradação fotocatalítica de três efluentes naturais de indústria têxtil (Efluentes I, II e III), utilizando quatro catalisadores (TiO_2 , Nb_2O_5 , $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$ e $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$) e irradiação visível. O monitoramento da degradação desses efluentes foi realizado por espectrofotometria UV-VIS e demanda química de oxigênio (DQO).

Material e métodos

Utilizou-se TiO_2 comercial (Quimbrasil), que passou por um tratamento, no qual foi lavado, filtrado a vácuo, secado, peletizado, peneirado (faixa utilizada 0,210 e 0,297mm) e calcinado à $300^\circ\text{C}/6\text{h}$ e a $400^\circ\text{C}/4\text{h}$. Utilizou-se, também, Nb_2O_5 (CBMM), o qual passou por um tratamento idêntico. Na preparação do catalisador por mistura mecânica ($\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$) tomou-se o TiO_2 e o Nb_2O_5 após a secagem, na proporção 1:1, e realizou-se apenas uma mistura manual, que foi, então, peletizado, peneirado e calcinado nas mesmas condições do TiO_2 . Na preparação do catalisador por impregnação ($\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$) realizou-se a impregnação de 5% de Nb_2O_5 em TiO_2 . O Nb_2O_5 , após a secagem, foi dissolvido em ácido oxálico 0,5mol/L, sob intensa agitação à 66°C durante 8h, sendo, então adicionado ao TiO_2 já tratado termicamente. O solvente foi evaporado à $80^\circ\text{C}/24\text{h}$ em banho termostático com agitação. O material foi peletizado, peneirado e calcinado nas mesmas condições do TiO_2 .

Todos os catalisadores foram caracterizados pelo método BET para determinar a área superficial específica, volume total e diâmetro médio de poros, acidez/basicidade por decomposição de isopropanol,

espectroscopia de reflectância difusa (DRS), redução à temperatura programada (RTP) e espectroscopia de absorção ao infravermelho (FTIR).

Os efluentes naturais foram coletados em uma tinturaria de malha em dias diferentes, logo com composições diferentes. Os Efluentes I e II foram coletados no tanque de homogeneização, sendo o Efluente I composto por cerca de 70% de cores claras e 30% de cores escuras, e o Efluente II por uma mistura de corantes ácidos, reativos e diretos. O Efluente III foi coletado na saída do tanque de tingimento, onde estava sendo processado o tingimento com um único corante (corante direto).

A unidade de degradação foi montada previamente (Santana, 2002), sendo um fotorreator composto de um béquer de vidro de 2L resfriado por água através de uma camisa externa, agitação magnética, borbulhamento de ar, coletor de amostras e um béquer de vidro de 1L, colocado internamente para separar a fonte de iluminação da solução. Foi utilizada, como fonte de energia luminosa, uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão, de 250W, emitindo luz visível (mantendo-se a proteção de vidro para barrar a irradiação UV).

Adicionou-se 1L de efluente no béquer de 2L juntamente com 0,5g de catalisador (ao se trabalhar com os Efluentes I e II) ou com 1,0g de catalisador (ao se trabalhar com o Efluente III), colocando em funcionamento a bomba para o borbulhamento de ar numa vazão de $50\text{ cm}^3/\text{min}$, agitação magnética, água de refrigeração e a lâmpada. Alíquotas de 10mL foram retiradas através do coletor de amostras, em intervalos de 60min durante 360min, centrifugadas por 25min a 6500 rpm, filtradas e analisadas por espectrofotometria UV-VIS (Shimadzu UV-VIS 1203). A primeira e a última amostra foram, ainda, submetidas à análise de DQO (HACH DR/2010) para verificar a real mineralização do processo de degradação.

Resultados e discussão

Caracterização dos catalisadores

A análise textural, realizada em equipamento QuantaChrome NOVA - 1200 Ver. 6.10, revela que os catalisadores preparados pela combinação dos óxidos apresentam propriedades intermediárias às dos óxidos puros, e que o TiO_2 não apresenta microporos (Tabela 1), comprovado pelo resultado da área superficial de microporos e por apresentar um diâmetro médio de poros elevado.

Tabela 1. Área superficial específica e volume de poros

Catalisador	Área superficial específica (m ² /g)	Volume total de poros (cm ³ /g)	Diâmetro médio de poros (Å)	Área superficial externa (m ² /g)	Área superficial de microporos (m ² /g)	Volume de microporos (cm ³ /g)
TiO ₂	11	0,029	111,5	12	0	0,000
Nb ₂ O ₅	48	0,076	63,3	33	15	0,016
Nb ₂ O ₅ -TiO ₂	38	0,076	48,3	15	23	0,015
Nb ₂ O ₅ /TiO ₂	20	0,019	39,7	6	14	0,009

Pela reação teste de decomposição do isopropanol, foram determinadas a acidez e a basicidade relativa dos catalisadores (Tabela 2). O Nb₂O₅ converteu mais isopropanol, sendo principalmente conversão em propeno e água, reação que ocorre sobre os sítios ácidos. A acidez específica média dos catalisadores TiO₂ e Nb₂O₅ apresenta valores muito próximos, entretanto como a acidez é determinada por unidade de área, o Nb₂O₅ possui um caráter ácido superior ao do TiO₂. A combinação desses dois óxidos, no preparo dos catalisadores Nb₂O₅-TiO₂ e Nb₂O₅/TiO₂, ocasiona uma redução considerável na acidez específica, indicando que há uma sinergia entre os dois óxidos e um aumento no caráter básico. A variação observada no caráter ácido e básico do Nb₂O₅-TiO₂ após o tratamento térmico, deve-se à formação de uma nova fase, produto da interação entre os óxidos, também evidenciada nos resultados de DRS e RTP.

Tabela 2. Acidez por decomposição de isopropanol

Catalisador	Acidez específica média (mmol propeno/hm ²)	Basicidade específica média (μmol acetona/hm ²)	Conversão (%)
TiO ₂	25	271	52
Nb ₂ O ₅	28	21	99
Nb ₂ O ₅ -TiO ₂	13	155	56
Nb ₂ O ₅ /TiO ₂	11	345	34

A análise de DRS, realizada na região entre 200 e 800nm, determinou os máximos de absorção dos quatro fotocatalisadores, resultados apresentados na Tabela 3. Ambos os óxidos apresentam máximos na mesma região, 221 e 354nm para o TiO₂ e 221 e 311nm para o Nb₂O₅. O catalisador Nb₂O₅-TiO₂ apresenta uma absorção extra na região de 272nm, evidenciando a existência de uma nova fase e a mudança de coordenação dos cátions. A interação entre os óxidos no catalisador Nb₂O₅/TiO₂ ocasiona um deslocamento dos picos de absorbância e uma redução em torno de 60% no valor da absorbância, correspondente ao 1º máximo em relação ao TiO₂. Um outro resultado importante é que os máximos de absorção acontecem na faixa limite do visível, evidenciando uma fotossensibilização e não fotoexcitação quando submetidos à irradiação visível.

Através do perfil de redução, obtido por RTP, foi quantificado o consumo de hidrogênio, assim como

determinada a percentagem de redução de cada catalisador (Tabela 4). Pode-se observar que o consumo de H₂ foi muito maior para o Nb₂O₅ do que para o TiO₂, enquanto que os catalisadores Nb₂O₅-TiO₂ e Nb₂O₅/TiO₂ apresentaram uma redução de 40% e 50%, respectivamente, no consumo referente ao TiO₂ e um aumento drástico no consumo de H₂ em relação ao Nb₂O₅, principalmente para o Nb₂O₅/TiO₂.

Tabela 3. Posição dos máximos de absorbância obtidos na análise de DRS

Catalisador	1º máximo (nm)	Absorbância	2º máximo (nm)	Absorbância
TiO ₂	221	0,03626	354	0,04763
Nb ₂ O ₅	221	0,04034	311	0,03378
Nb ₂ O ₅ -TiO ₂ *	225	0,04349	353	0,05927
Nb ₂ O ₅ /TiO ₂	224	0,01382	365	0,04229

* Apresenta também um máximo extra em 272nm, cujo valor da absorbância é 0,04635

Tabela 4. Redução à temperatura programada

Catalisador	Massa de catalisador (g)	Consumo de H ₂		% de redução	
		TiO ₂ (μgH ₂ /gTiO ₂)	Nb ₂ O ₅ (μgH ₂ /gNb ₂ O ₅)	TiO ₂ → Ti ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅ → NbO ₂
TiO ₂	0,2520	56,67	-	0,22	-
Nb ₂ O ₅	0,0509	-	283,10	-	3,76
Nb ₂ O ₅ -TiO ₂	0,2516	34,13	926,91	0,13	12,33
Nb ₂ O ₅ /TiO ₂	0,2506	28,56	5952,81	0,11	79,25

A temperatura máxima de redução para o TiO₂ e Nb₂O₅ foi de 615 e 931°C, respectivamente. Verificou-se que houve um deslocamento na temperatura máxima de redução para o Nb₂O₅-TiO₂ (602°C) e para o Nb₂O₅/TiO₂ (577°C), referente ao TiO₂, indicando uma facilidade de redução do TiO₂. No entanto houve uma diminuição na quantidade reduzida (Tabela 4), mostrando que o efeito sinérgico entre os óxidos ocorre de forma diferenciada e gera uma fase extra no catalisador preparado por mistura mecânica.

Os catalisadores também foram analisados por FTIR entre 400 e 4000 cm⁻¹ em uma resolução de 4cm⁻¹ (Figura 1). A região de vibração característica do TiO₂ ocorre entre 400-680 cm⁻¹, com um pico adicional em 1089 cm⁻¹. O Nb₂O₅ apresenta dois picos de vibração característicos em 642 e 1650 cm⁻¹ e um ombro em 941 cm⁻¹. O Nb₂O₅-TiO₂ apresenta os picos de vibração característicos dos dois óxidos

puros com um leve deslocamento, porém pode-se observar que houve o desaparecimento do pico em 1089cm^{-1} , referente ao TiO_2 , e o ombro do Nb_2O_5 . A ocorrência de um pico extra em 2360cm^{-1} confirma a existência de uma nova fase, verificada na análise de DRS e acidez. A interação entre os óxidos, no catalisador $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$, ocasionou o deslocamento do pico característico do Nb_2O_5 para 549cm^{-1} , bem como o desaparecimento de todos os picos de vibração característicos referentes ao TiO_2 e Nb_2O_5 .

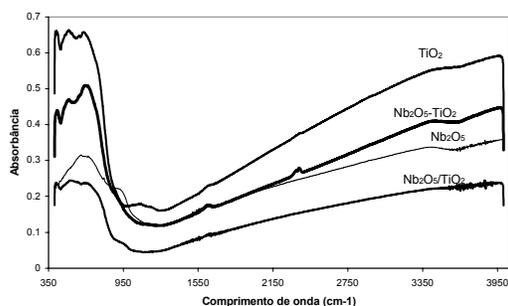


Figura 1. Resultados da análise de FTIR para os catalisadores

Degradação fotocatalítica de efluentes naturais

Após submeter os efluentes I, II e III a uma varredura por espectrofotometria UV-VIS, verificou-se que os picos de absorbância máxima ocorrem em 550, 620 e 310 nm, respectivamente, utilizados no acompanhamento da degradação.

Os resultados obtidos nos processos de degradação do Efluente I empregando TiO_2 , Nb_2O_5 e $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$ podem ser observados na Tabela 5. Como a descoloração pode não estar relacionada diretamente com a mineralização, foi realizada a análise de DQO das amostras inicial e final. Pode-se observar que o Nb_2O_5 gerou a maior descoloração (40%) neste efluente, enquanto que a maior redução de DQO foi obtida com o $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$ (36%). Esses resultados comprovam que a redução de cor não está diretamente relacionada com a redução de DQO, ou vice-versa. Isso pode ser explicado porque a cor está associada a um grupo cromóforo da molécula de corante e, se a degradação ocorre parcialmente, gerando uma molécula orgânica intermediária sem o grupo cromóforo, há redução de cor sem redução de DQO. O comportamento do catalisador mistura mecânica evidencia o efeito sinérgico da mistura já verificado nas caracterizações realizadas.

Pelo monitoramento do processo de degradação, verificou-se que houve redução dos valores de absorbância na primeira hora de tratamento, sendo que os demais valores permaneceram praticamente

constantes e existe uma atenuação do pico de absorbância característico.

Tabela 5. Descoloração e mineralização do Efluente I após 360 min de tratamento fotocatalítico

Catalisador	Descoloração (%)	Redução de DQO (%)
TiO_2	34	12
Nb_2O_5	40	29
$\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$	33	36

Submetendo o Efluente II ao processo de degradação, empregando os quatro catalisadores, observou-se que o catalisador que apresentou maior descoloração foi o Nb_2O_5 (42%), valor bem acima dos demais que ficaram em torno de 27% (Tabela 6). Pela análise de DQO, verificou-se que o Efluente II sofreu uma mineralização bem menor que o Efluente I. O catalisador que apresentou maior redução de DQO foi o TiO_2 . Esse resultado confirma o encontrado no Efluente I, que para cada tipo de efluente há um catalisador mais adequado, ou seja, o mecanismo de degradação está intimamente relacionado ao tipo de catalisador utilizado.

Tabela 6. Descoloração e mineralização do Efluente II após 360min de tratamento fotocatalítico

Catalisador	Descoloração (%)	Redução de DQO (%)
TiO_2	24	12
Nb_2O_5	42	8
$\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$	29	3
$\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$	27	5

A partir do monitoramento do processo de degradação foi possível observar uma leve degradação do material pela atenuação do pico característico, como pode ser observado na Figura 2.

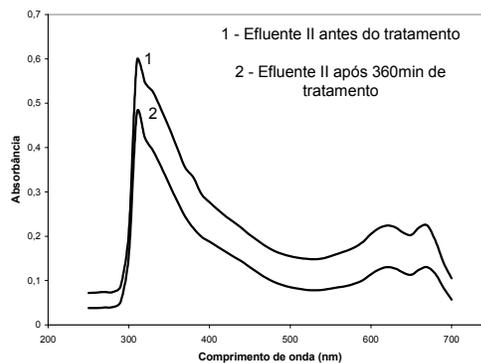


Figura 2. Espectro de varredura do Efluente II após 360min de tratamento utilizando 0,5g de Nb_2O_5

Os resultados obtidos nos processos de degradação do Efluente III, empregando 1,0 g de catalisador, podem ser observados na Tabela 7.

Pode-se verificar que todos os catalisadores apresentaram a mesma eficiência, em torno de 27%, e uma maior redução de absorbância durante a primeira hora de tratamento. Pelo monitoramento do processo de degradação do Efluente III observou-se uma leve degradação do material após 360min de tratamento (ver Figura 3). Realizou-se análise de DQO para verificar a real mineralização do processo e observou-se uma redução de DQO desprezível, em torno de 4%, para todos os catalisadores, com exceção do $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ que apresentou uma redução de DQO de 14%. Pode-se, então, afirmar que não há diferença sensível na atividade dos catalisadores frente a esse efluente natural.

Tabela 7. Descoloração e mineralização do Efluente III após 360min de tratamento fotocatalítico

Catalisador	Descoloração (%)	Redução de DQO (%)
TiO_2	29	6
Nb_2O_5	27	4
$\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$	29	3
$\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$	26	14

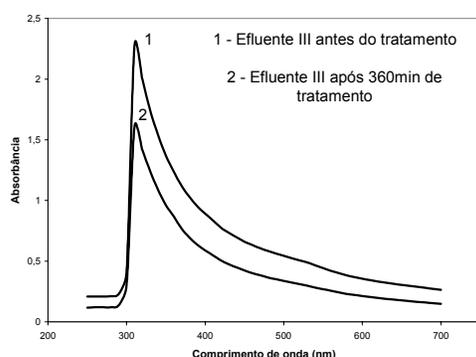


Figura 3. Espectro de varredura do Efluente III após 360min de tratamento usando 1,0g de $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$

Comparando os resultados obtidos na degradação de um efluente sintético (Santana, 2002), constituído pelo mesmo corante encontrado no Efluente III, observa-se que é muito mais fácil degradar uma solução sintética (descoloração de 81%) que um efluente natural (descoloração de 29%), pois este apresenta uma carga orgânica elevada e grande número de interferentes como aditivos, surfactantes e fibras de malhas, que dificultam a penetração da luz e reduzem a eficiência do processo de degradação.

Conclusão

A partir das análises de caracterização foi possível identificar algumas características peculiares de cada

um dos catalisadores relevantes à atividade fotocatalítica.

Observou-se que a mistura de dois óxidos (TiO_2 e Nb_2O_5), com caráter ácido, ocasionou uma redução de acidez nos catalisadores preparados por mistura mecânica e por impregnação, indicando uma sinergia entre os dois óxidos. Essa variação no caráter ácido e básico do catalisador $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$ foi atribuída à formação de uma nova fase, produto da interação entre os óxidos durante o tratamento térmico, evidenciada também pelas análises de RTP, FTIR e DRS.

Os resultados de DQO evidenciaram que a redução de cor está associada à redução de DQO, apesar de não haver correspondência direta. No entanto, observou-se comportamento distinto para cada efluente utilizado. Para o Efluente I, o catalisador $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$ foi o que apresentou valores numéricos mais próximos entre redução de cor e mineralização do efluente, podendo-se inferir que nesse caso não há subproduto orgânico. Já para os demais efluentes, não houve essa proximidade, indicando que a eficiência do processo de degradação depende da interação entre efluente e catalisador e da quantidade de interferentes presente no efluente, ou seja, melhores resultados são obtidos em sistemas diluídos.

Logo, os catalisadores utilizados apresentaram capacidade de descoloração dos efluentes naturais sob irradiação visível, em condições práticas, o que torna promissor o emprego do Nb_2O_5 puro, mas principalmente combinado ao TiO_2 , como fotocatalisador no processo de degradação fotocatalítica de efluentes de indústria têxtil. Por outro lado, a utilização de radiação visível revela que, mesmo apenas fotossensibilizados, os catalisadores são capazes de degradar efluentes têxteis, o que facilita o processo tornando-os mais viáveis para utilização industrial.

Referências

- GALINDO, C. *et al.* Photodegradation of the Aminoazobenzene Acid Orange 52 by three advanced oxidation processes: UV/ H_2O_2 , UV/ TiO_2 and VIS/ TiO_2 . Comparative mechanistic and kinetic investigations. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, Amsterdam, v.130, p.35-47, 2000.
- GONÇÁLVES, M.S.T. *et al.* Photochemical treatment of solutions of azo dyes containing TiO_2 . *Chemosphere*, Amsterdam, v.39, n.5, p.781-786, 1999.
- GOUVÊA, C.A.K. *et al.* Semiconductor-assisted photocatalytic degradation of reactive dyes in aqueous solution. *Chemosphere*, Amsterdam, v.40, p.433-440, 2000.
- KIRIAKIDOU, F. *et al.* The effect of operational parameters and TiO_2 -doping on the photocatalytic

- degradation of azo-dyes. *Catal. Today*, Amsterdam, v.54, p.119-130, 1999.
- LEE, B.N. *et al.* Photocatalytic decolorization of methylene blue in aqueous TiO₂ suspension. *Environm. Engin. Sci.*, v.16, n.3, p.165-175, 1999.
- MORAES, S.G. *et al.* Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. *Chemosphere*, Amsterdam, v.40, p.369-373, 2000.
- PERALTA-ZAMORA, P. *et al.* Evaluation of ZnO, TiO₂ and supported ZnO on the photoassisted remediation of black liquor, cellulose and textile mill effluents. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 36, n. 9, p.2119-2133, 1998.
- QU, P. *et al.* TiO₂-assisted photodegradation of dyes: a study the two competitive primary processes in the degradation of RB in an aqueous TiO₂ colloidal solution. *J. Mol. Cat. A: Chem.*, Amsterdam, v.129, p.257-268, 1998.
- ROTT, U.; MINKE, R. Overview of wastewater treatment and recycling in the textile processing industry. *Wat. Sci. Tech.*, v.40, n.1, p.137-144, 1999.
- SANTANA, V.S. *Estudo da descoloração de efluentes de indústrias têxteis, sintéticos e naturais, pela ação fotocatalítica de óxidos semicondutores.* 2002. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.
- VANDEVIVERE, P. C. *et al.* Treatment and resue of wastewater from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, Chichester, v.72, p. 89-302, 1998.
- VINODGOPAL, K. *et al.* Environmental photochemistry on semiconductor surfaces: photosensitized degradation of a textile azo dye, acid orange 7, on TiO₂ particles using visible light. *Environm. Sci. Technol.*, Columbus, v.30, p.1660-1666, 1996.
- ZANG, F. *et al.* TiO₂-assisted photodegradation of dye pollutants II. Adsorption and degradation kinetics of eosin in TiO₂ dispersions under vsible light irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, Amsterdam, v.15, p.147-156, 1998.

Received on October 15, 2002.

Accepted on December 07, 2002.