



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Slusarski Santana, Veronice; Ossamu Mitushasi, Eduardo; Fernandes-Machado, Nádia Regina
Camargo

Avaliação da atividade fotocatalítica de Nb₂O₅

Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 1, 2010, pp. 55-61

Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226525011>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Avaliação da atividade fotocatalítica de Nb_2O_5

Veronice Slusarski Santana, Eduardo Ossamu Mitushasi 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: nadia@deq.uem.br

RESUMO. Como a fotocatálise heterogênea é um dos métodos de tratamento de efluentes mais promissores, o estudo da atividade fotocatalítica de novos catalisadores é de primordial interesse. Assim, testes de degradação de solução de sacarose parcialmente caramelizada foram realizados empregando 2 g de Nb_2O_5 e TiO_2 mássicos e Nb_2O_5 impregnado em microesferas de vidro (5,0, 10 e 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹) sob radiação UV durante 168h. TiO_2 e Nb_2O_5 foram submetidos a processo de aglomeração (tamanho de partícula: 0,210 e 0,297 mm) e calcinados a 500°C por 5h. Nb_2O_5 foi solubilizado em ácido oxálico (0,5 mol L⁻¹) a 70°C por 8h, misturado com as microesferas de vidro, seco a 110°C por 12h e calcinado a 500°C por 5h. A eficiência do processo fotocatalítico foi avaliada por espectrofotometria UV-VIS e método DNS. Os resultados mostraram que catalisadores de Nb_2O_5 são promissores para aplicação em fotocatálise, principalmente o 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹, o qual apresentou resultados semelhantes ao do TiO_2 .

Palavras-chave: fotocatálise, Nb_2O_5 , impregnação, esferas de vidro, sacarose.

ABSTRACT. Evaluation of the photocatalytic activity of Nb_2O_5 . As heterogeneous photocatalysis has proved to be one of the most promising methods for the treatment of effluents, the study of photocatalytic activity of new catalysts is of great interest. Thus, degradation tests of burnt sugar solution were conducted through using 2 g of Nb_2O_5 and TiO_2 , massic, and Nb_2O_5 impregnated in glass beads (5.0, 10 and 15% Nb_2O_5 glass⁻¹) under UV radiation for 168 hours. TiO_2 and Nb_2O_5 were submitted to the agglomeration process (particle size: 0.210 and 0.297 mm) and calcined at 500°C for 5h. Nb_2O_5 was solubilized in oxalic acid (0.5 mol L⁻¹) at 70°C for 8h, mixed with the glass beads, dried at 110°C for 12h and calcined at 500°C for 5h. The efficiency of the photocatalytic process was evaluated by UV-VIS spectrophotometry and DNS method. The results showed that catalysts of Nb_2O_5 are promising for application in photocatalysis, mainly 15% Nb_2O_5 glass⁻¹, which presented similar results to TiO_2 .

Key words: photocatalysis, Nb_2O_5 , impregnation, beads glass, sucrose.

Introdução

Nos últimos anos, a fotocatálise heterogênea, usando principalmente o TiO_2 como fotocatalisador, tem atraído a atenção de vários pesquisadores, tanto para o tratamento de efluentes quanto para o tratamento de água (CHATZISYMEON et al., 2008).

A fotocatálise é uma tecnologia de tratamento de efluentes industriais emergentes e está baseada no uso de semicondutores irradiados com radiação UV para produzir espécies altamente oxidativas, usualmente os radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) na presença de H_2O , mas também espécies de oxigênio dissociados (O^\bullet) em sistemas sem a presença de água (ARSAC et al., 2008).

Recentemente, novos óxidos semicondutores estão sendo estudados para aplicação na fotocatálise, principalmente aqueles óxidos que apresentam

características semelhantes às do TiO_2 , destacando a semicondutividade – energia da band gap (distância entre a banda de valência e a banda de condução). Dentre estes óxidos, tem-se o ZnO e o Nb_2O_5 , ambos empregados puros, combinados ao TiO_2 , em suspensão ou imobilizados. O ZnO é largamente estudado na degradação de corantes, puro (YASSITEPE et al., 2008) ou dopado com manganês (ULLAH; DUTTA, 2008), na degradação de lignina, combinado ao TiO_2 (KANSAL et al., 2008), enquanto que o Nb_2O_5 apresenta fotoatividade na degradação de corantes (PRADO et al., 2008), mas principalmente combinado ao TiO_2 na degradação de efluentes de indústria têxtil (SANTANA et al., 2005), da vinhaça sob radiação solar (SANTANA; FERNANDES-MACHADO, 2008) e do fenol (SANTANA; FERNANDES-MACHADO, 2002).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade fotocatalítica de catalisadores à base de Nb_2O_5 (mássicos e impregnados: 5,0, 10 e 15% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$) na degradação de solução de sacarose parcialmente caramelizada.

Materiais e métodos

Solução de caramelo

A fim de avaliar a eficiência dos catalisadores mássicos e impregnados, foram realizados testes de degradação de uma solução caramelizada, tentando simular um determinado efluente industrial, cuja principal composição seria sacarose e compostos originados de sua parcial caramelização.

No preparo da solução de caramelo, foram pesados 50 g de açúcar, levados a forno pré-aquecido a 100°C e submetidos a aquecimento gradativo até 250°C, permanecendo por 1h. O caramelo formado foi dissolvido em água deionizada e transferido para balão volumétrico de 1 L, originando uma solução de caramelo de 50 g L $^{-1}$. Testes também foram realizados com esta solução diluída 1:50 (solução caramelizada).

Catalisadores mássicos

No preparo dos catalisadores mássicos, o Nb_2O_5 (CBMM) foi lavado várias vezes com água deionizada à temperatura ambiente, com o objetivo de tirar as impurezas por meio de decantação. A mistura foi filtrada a vácuo e o material foi seco em estufa a 100°C, por uma noite. Tanto Nb_2O_5 após lavagem como TiO_2 (Kronos na forma anatase) sem nenhum tratamento foram peletizados aplicando uma pressão de 1,5 tonf cm $^{-2}$ em um peletizador fabricado no DEQ/UEM; em seguida, foi triturado e peneirado, a fim de classificar o material seguindo o tamanho das partículas (faixa utilizada entre 0,210 e 0,297 mm). Estes materiais foram calcinados a 500°C por 5h.

Catalisadores impregnados

Inicialmente Nb_2O_5 foi solubilizado em solução de ácido oxálico (0,5 mol L $^{-1}$) em agitação a 70°C por 8h. A capacidade de solubilização é de 0,5 g de Nb_2O_5 para 22,5 mL de solução de ácido oxálico.

Os catalisadores impregnados, com as seguintes cargas 5,0; 10 e 15% (em massa), foram obtidos transferindo 2,5; 5,0 e 7,5 g de Nb_2O_5 dissolvidos em ácido oxálico para um balão contendo as microesferas de vidro (47,5; 45,0 e 42,5 g, respectivamente). A água foi evaporada em

evaporador rotatório. O catalisador foi seco em estufa a 110°C por 12h e calcinado a 500°C por 5h.

Dessa forma, foram preparados catalisadores com 5,0, 10 e 15% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$.

Caracterização dos catalisadores

Os catalisadores mássicos foram caracterizados em termos de suas propriedades texturais, estruturais e morfológicas, pela análise textural, difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), respectivamente.

A análise textural foi realizada a partir de isotermas de adsorção-dessorção de nitrogênio a 77 K, obtidas em equipamento QuantaChrome Nova. Na análise de DRX foram utilizados o banco de dados JCPDS e o Difratômetro de Raios-X Rigaku Miniflex, com tubo de Cu em modo 2θ, irradiação de CuKα, tensão de 30 kV, corrente de 10 mA, velocidade 2° min $^{-1}$ e intensidade de 2.000 cps. As propriedades texturais e morfológicas foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em microscópio Shimadzu SS-550 Superscan.

Procedimento experimental

O teste fotocatalítico foi realizado em batelada num reator com sistema de refrigeração por circulação de água em camisa externa, utilizando um banho termostático (temperatura média de 25°C), aeração (50 mL min $^{-1}$), agitação magnética e irradiação com lâmpada de vapor de mercúrio de 250W (emitindo preferencialmente radiação UV – sem a proteção de vidro), conforme esboço ilustrado na Figura 1.

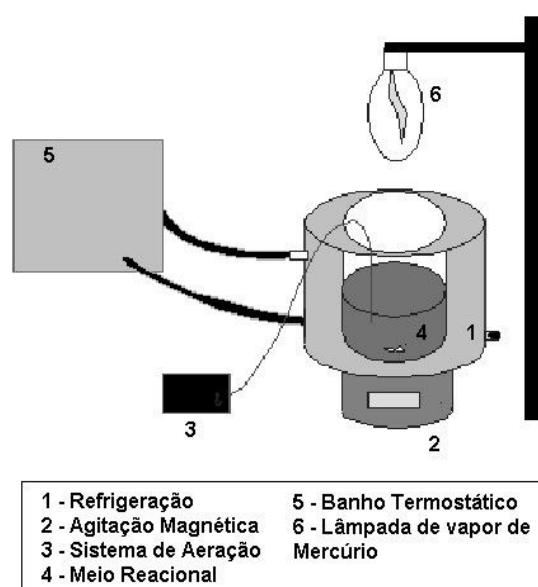


Figura 1. Unidade reacional de degradação fotocatalítica sob radiação artificial.

Os testes consistiram em irradiar a solução de caramelo (50 g L^{-1}) contendo 2 g do Nb_2O_5 mássico em suspensão ou 2 g dos catalisadores impregnados em microesferas de vidro (5,0, 10 e 15% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$) durante 24h; após 0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 18 e 24h de reação, as amostras foram coletadas e centrifugadas para separar o catalisador da solução tratada. Quando se trabalhou com os catalisadores mássicos dispersos na solução, as amostras foram ainda filtradas com filtro Millipore 0,45 μm . Em seguida, foram analisadas em relação à redução de absorção a 230 nm e em relação à quantidade de açúcares redutores (DNS), sendo necessária uma diluição das amostras de 1:50 para poderem ser lidas por espectrofotometria.

O método do DNS baseia-se na redução do ácido 3,5-dinitrosalicílico a ácido 3-amino-5-nitrosalicílico com oxidação do grupo aldeído do açúcar a grupo carboxílico, com o desenvolvimento de coloração avermelhada. A intensidade da cor é proporcional à concentração de açúcares redutores e é lida espectrofotometricamente em 540 nm.

O reagente DNS constitui na mistura dos seguintes compostos: ácido dinitrosalicílico, solução de tatarato de sódio e potássio (sal de Rochelle), fenol, bissulfito de sódio e hidróxido de sódio (SILVA et al., 2003).

Em uma segunda etapa de testes, o meio reacional consistiu na solução de caramelo diluída 1:50, contendo 2 g dos catalisadores mássicos (Nb_2O_5 e TiO_2) em suspensão ou 2 g dos catalisadores impregnados (5,0 e 15% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$), sendo irradiada durante 168h. As amostras foram coletadas em intervalos regulares de 24h, centrifugadas, filtradas e analisadas da mesma maneira (por DNS e espectrofotometria UV-VIS).

Resultados e discussão

Caracterização dos catalisadores

Com o objetivo de verificar as propriedades texturais dos catalisadores mássicos (TiO_2 e Nb_2O_5), foram construídas isotermas de adsorção de N_2 . Notou-se que as características texturais dos dois óxidos utilizados são semelhantes. Trata-se de materiais pouco porosos (TiO_2 apresenta um volume de poros de $1,613 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, enquanto o Nb_2O_5 apresenta $3,090 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ de volume de poros), com baixa microporosidade e com diâmetro médio de poros característico de materiais mesoporosos (48 e 79 \AA para TiO_2 e Nb_2O_5 , respectivamente). A área específica do TiO_2 é de $13 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, já Nb_2O_5 apresenta um valor

levemente superior ($16 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). A semelhança textural é importante, pois garante a não-influência dessas propriedades nas diferenças catalíticas encontradas nos testes fotocatalíticos.

A análise de DRX (Figura 2) dos catalisadores mássicos mostrou que o TiO_2 apresenta-se na forma anatase com estrutura tetragonal, segundo o banco de dados JCPDS, enquanto a fase cristalina em que o pentóxido de nióbio se encontra é a hexagonal (JCPDS), indicando as mesmas características da estrutura cristalina do catalisador sintetizado por Paulis et al. (1999) e calcinado a 500°C.

Esta análise não pode ser realizada nos catalisadores impregnados, no entanto acredita-se que, como a calcinação ocorreu na mesma temperatura (500°C), Nb_2O_5 apresenta-se na mesma estrutura cristalina.

Pela microscopia eletrônica de varredura, pode-se avaliar a porosidade, o tamanho das partículas e a uniformidade do material. Pode-se observar na Figura 3 que o Nb_2O_5 é um catalisador poroso, intercalando aglomerados de partículas com formas esferoidais não-uniformes e algumas partículas de formato irregular. Nesta micrografia, observou-se uma estrutura com partículas irregulares de aproximadamente 5,8 μm e aglomerados de partículas com tamanho entre 0,29 e 5 μm , faixa relativamente menor que a encontrada por Prado et al. (2008), que ficou entre 2 e 20 μm . A micrografia do TiO_2 evidencia também um catalisador poroso e maior uniformidade em suas partículas esferoidais, com tamanho de 0,3 μm aproximadamente.

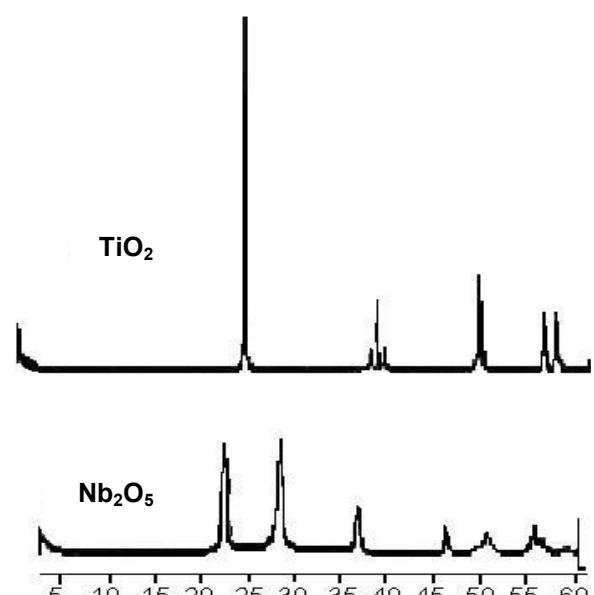
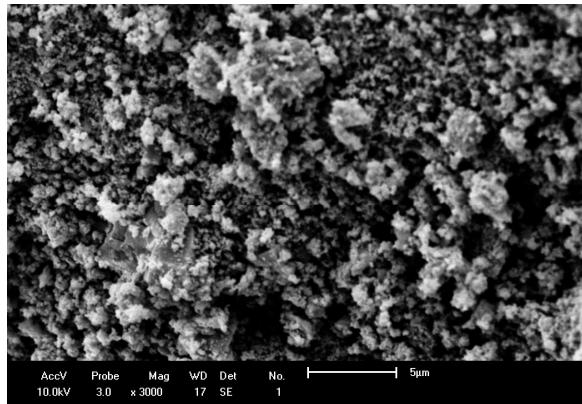
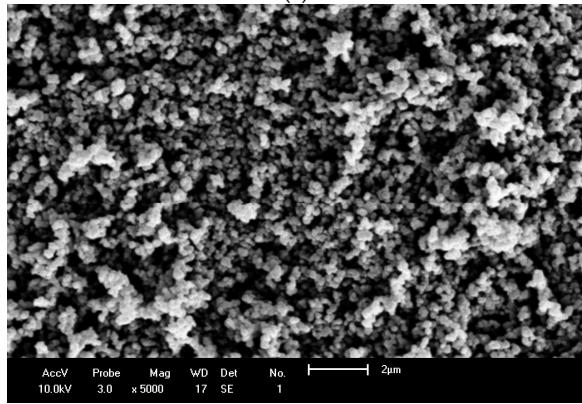


Figura 2. DRX dos catalisadores mássicos.



(a)



(b)

Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura: (a) Nb_2O_5 e (b) TiO_2 .

Atividade photocatalítica

A primeira etapa de testes foi realizada com a solução de caramelo de 50 g L^{-1} sob 24h de irradiação, utilizando o Nb_2O_5 mássico e o Nb_2O_5 impregnado (5,0, 10 e 15% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$).

Os resultados de absorbância normalizada (Absorbância/Absorbância Inicial) a 230 nm estão apresentados na Figura 4; os resultados da concentração normalizada (Concentração/Concentração Inicial) dos açúcares redutores obtida por DNS encontram-se na Figura 5.

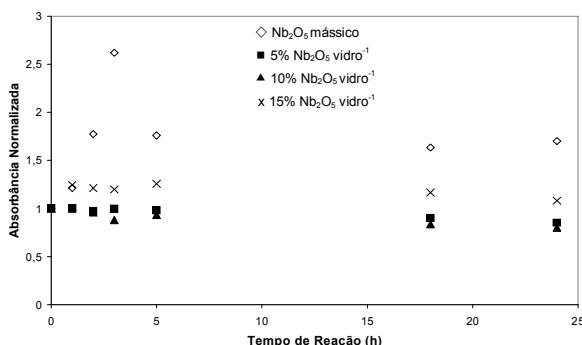


Figura 4. Absorbância normalizada a 230 nm em 24h de reação para os diferentes catalisadores.

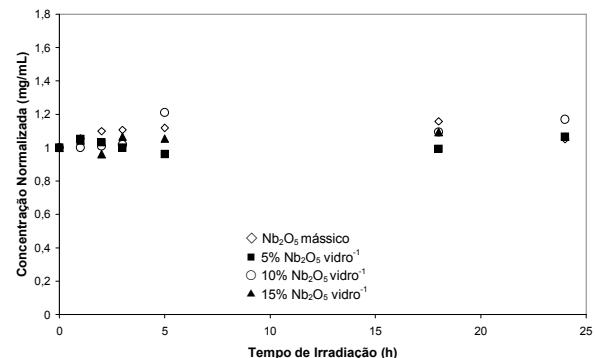


Figura 5. Concentração dos açúcares redutores em 24h de reação para os diferentes catalisadores.

Avaliando a Figura 4, observa-se leve redução de absorbância para os catalisadores 5,0% e 10% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$, leve aumento para o 15% Nb_2O_5 vidro $^{-1}$ e comportamento completamente aleatório para o Nb_2O_5 mássico. Verificou-se, ainda, que o Nb_2O_5 mássico não foi eficiente no processo de degradação da sacarose, em termos de redução de absorbância normalizada a 230 nm, já que ocasionou aumento de 70,1% na absorbância normalizada, com um pico máximo na terceira hora de reação (162% de aumento).

Fala-se em redução de absorbância normalizada por esta estar sendo avaliada a 230 nm. A redução de cor efetiva, faixa do espectro visível, foi eficiente para todos os catalisadores, a solução passou de uma coloração marrom para incolor com aproximadamente 2h de reação.

Os catalisadores impregnados indicaram ser mais eficientes. O aumento da concentração de Nb_2O_5 de 5,0 para 10% ocasionou aumento na redução de absorbância normalizada a 230 nm (passando de 14,8 para 20,0% de redução). Já o aumento para 15% prejudicou a eficiência do processo, não sendo observada redução e sim aumento da absorbância normalizada a 230 nm, em torno de 20%. Nota-se então teor máximo ótimo de 10% de Nb_2O_5 sobre as microesferas de vidro, já que pela ausência de poros no vidro um aumento no teor do Nb_2O_5 gera camadas sobrepostas crescentes, o que favorece as perdas para a solução reagente. Além disso, por causa da baixa porosidade do Nb_2O_5 , verificada pela análise textural, camadas sobrepostas de Nb_2O_5 não aumentam a quantidade de catalisador disponível para reação.

O aumento na absorbância normalizada pode ser atribuído ao aumento na quantidade de compostos que absorvem nesse comprimento de onda, ou seja, os compostos intermediários que absorvem nesse comprimento de onda são formados durante o processo photocatalítico pela degradação da glicose e frutose.

Uma outra justificativa seria que o aumento do teor de Nb_2O_5 impregnado gera material com pouca aderência ao vidro, que pode soltar-se durante o teste e interferir na leitura da absorbância. O mesmo acontece com o teste realizado com catalisador mássico que pode ter permanecido mesmo após centrifugação e filtragem, interferindo nos resultados.

Verificou-se, nos resultados apresentados na Figura 5, que houve aumento na concentração de açúcares redutores para os quatro catalisadores, principalmente com o 10% Nb_2O_5 vidro⁻¹ (aumento de 16,96%). Poder-se-ia pensar em interferência apenas de sólidos em suspensão, como discutido anteriormente, pois ambos os métodos utilizados para acompanhamento da degradação usam método espectrofotométrico, que é sensível a sólidos em suspensão. Mas verificou-se que este aumento pode ser justificado pela transformação, primeiro, da sacarose presente na solução em glicose e frutose (compostos que são analisados no DNS), com posterior degradação da glicose e frutose formadas, o que reforça a ideia de mais compostos intermediários absorvendo a 230 nm.

Para comprovar esta teoria, realizou-se uma segunda etapa de testes, nos quais o tempo de reação passou de 24 para 168h. O efluente parcialmente caramelizado seguiu o mesmo procedimento de preparo, porém agora foi realizada uma diluição 1:50 na solução de 50 g L⁻¹ de caramelo. Isso foi feito para evitar erros que poderiam ocorrer durante a diluição de cada amostra coletada, como foi citado anteriormente. Realizou-se também um teste com o TiO_2 mássico.

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados de absorbância normalizada e concentração normalizada em função do tempo de reação, respectivamente.

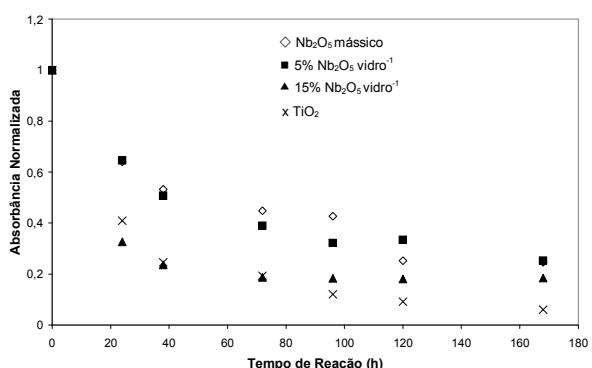


Figura 6. Absorbância normalizada a 230 nm da solução diluída em 168h de reação para os diferentes catalisadores.

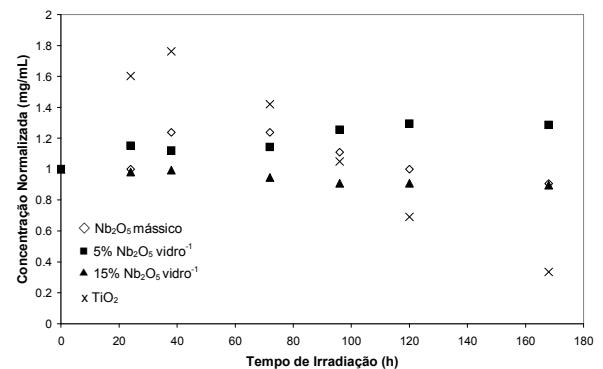


Figura 7. Concentração dos açúcares redutores na solução diluída em 168h de reação para os diferentes catalisadores.

Avaliando a Figura 6, observa-se decaimento exponencial da absorbância normalizada, obtendo-se reduções expressivas nas primeiras 64h de reação. Para o teste com Nb_2O_5 mássico, é possível perceber a melhora no processo de degradação pela maior diluição do efluente. Com 24h, a redução foi de 36,0%, o que não foi observado no teste da etapa anterior. Com o tempo de reação aumentado, a redução de absorbância normalizada a 230 nm alcançou 75,4%. O aumento da redução da absorbância provocado pela diluição do efluente pode ser comprovado também pelos testes com os catalisadores impregnados (5,0 e 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹), em 24h a redução de absorbância normalizada salta de 14,8 para 35,0% com o 5,0% Nb_2O_5 vidro⁻¹. Já com o catalisador 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹, o progresso é ainda maior, passando de 8,0 para 67%, evidenciando maior facilidade em degradar soluções diluídas. Nota-se ainda o efeito da inversão da sacarose presente no resultado de redução de açúcares redutores. O aumento da concentração de Nb_2O_5 no catalisador impregnado melhorou a redução de absorbância normalizada; com 5,0% Nb_2O_5 vidro⁻¹ apresentou uma redução de absorbância de 74,8% com 120h, e o 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹ apresentou 81,5% com 168h de reação.

Já no caso da concentração de açúcares (Figura 7) pode-se observar um aumento do nível de glicose na solução até 72h para Nb_2O_5 mássico, com posterior queda, resultando numa redução global de açúcares de apenas 9,3% com 168h. Pode-se então inferir o que está acontecendo: na parte inicial do teste ocorre a hidrólise da sacarose não-caramelizada, formando glicose e frutose; assim, nas primeiras horas, a formação de açúcares redutores é maior que a sua degradação, por isso o método DNS mostra um aumento de açúcares. Depois, com a redução da maior parte da sacarose, observa-se redução de açúcares redutores. Levando-se em conta o teor máximo de açúcares redutores presente no efluente

sintético, a redução foi de 27,0%. Em relação aos catalisadores impregnados, o 5,0% Nb_2O_5 vidro⁻¹ apresentou-se o menos eficiente com aumento na concentração de açúcares redutores (28,6%). Já o aumento do teor de Nb_2O_5 (de 5,0 para 15%) ocasionou melhora significativa na eficiência do processo (redução de 10,3% na concentração de açúcares redutores). Este resultado é levemente superior ao apresentado pelo Nb_2O_5 mássico.

A Figura 7 também apresenta os resultados do teste realizado com o catalisador TiO_2 mássico. Nota-se que este catalisador é mais ativo que Nb_2O_5 , impregnado ou mássico. A quantificação dos açúcares redutores ainda apresenta aumento significativo no início, porém em 168h sua degradação é superior. Verificou-se cerca de 94,0% de redução de absorbância normalizada a 230 nm (Figura 6) e 66,3% de redução na concentração de açúcares redutores no mesmo tempo. Levando-se em conta o máximo de concentração, a redução foi de 82%.

Os resultados evidenciam a elevada eficiência do TiO_2 , comprovada também em vários trabalhos na literatura; também indicam, porém, que é possível obter um catalisador à base de Nb_2O_5 impregnado com características fotocatalíticas próximas ou até superiores às do TiO_2 , necessitando apenas de um estudo mais aprofundado das melhores condições de operação, já que até 72h de reação o catalisador 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹ apresentou a mesma eficiência fotocatalítica que o TiO_2 , tanto em termos de absorbância (Figura 6) quanto em termos de concentração (Figura 7).

Ademais, pelos resultados confirma-se a necessidade de um tempo maior de reação para que primeiro a sacarose possa ser convertida em glicose e frutose, para posteriormente estas serem degradadas; e quanto mais diluída a solução, mais fácil é a sua degradação.

Conclusão

Os resultados obtidos mostram que o processo fotocatalítico é capaz de degradar soluções de sacarose, principal composto presente em diversos efluentes. Dentre os catalisadores à base de Nb_2O_5 avaliados, verificou-se que, para a solução diluída 1:50 e 168h de reação, o Nb_2O_5 mássico apresentou 75,4% de redução de absorbância normalizada a 230 nm e 9,3% de redução na concentração de açúcares redutores; já o 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹ apresentou 81,5% de redução de absorbância normalizada, resultado próximo ao do TiO_2 mássico (94,0%), e 10,3% de redução de açúcares, contra

66,4% do TiO_2 , o mais fotoativo. No entanto, também pode-se observar que é possível obter um catalisador à base de Nb_2O_5 impregnado com características fotocatalíticas próximas ou até superiores às do TiO_2 , necessitando apenas de um estudo mais aprofundado das melhores condições de operação, já que até 72h de reação o catalisador 15% Nb_2O_5 vidro⁻¹ apresentou a mesma eficiência fotocatalítica que o TiO_2 . O estudo, portanto, indicou que é possível trabalhar com degradação fotocatalítica com catalisadores impregnados, o que viabiliza a reação em reatores tradicionais como o de leito fixo apenas com a inclusão de janelas para a irradiação.

Agradecimentos

À CBMM, pela amostra de ácido nióbico (HY340) fornecida.

Referências

- ARSAC, F.; BIANCHI, D.; CHOVELON, J. M.; CONCHON, P.; FERRONATO, C.; LAIR, A.; SLEIMAN, M. Photocatalytic degradation of organic pollutants in water and in air. An analytical approach. *Materials Science and Engineering*, v. 28, n. 5-6, p. 722-725, 2008.
- CHATZISYMEON, E.; STYPAS, E.; BOUSIOS, S.; XEKOUKOULOTAKIS, N. P.; MANTZAVINOS, D. Photocatalytic treatment of black table olive processing wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, v. 154, n. 1-3, p. 1090-1097, 2008.
- KANSAL, S. K.; SINGH, M.; SUD, D. Studies on TiO_2/ZnO photocatalysed degradation of lignin. *Journal of Hazardous Materials*, v. 1-2, n. 153, p. 412-417, 2008.
- PAULIS, M.; MARTÍN, M.; SORIA, D. B.; DÍAZ, A.; ODRIZOZOLA, J. A.; MONTES, M. Preparation and characterization of niobium oxide for the catalytic aldol condensation of acetone. *Applied Catalysis A*, v. 180, n. 1-2, p. 411-420, 1999.
- PRADO, A. G. S.; BOLZON, L. B.; PEDROSO, C. P.; MOURA, A. O.; COSTA, L. L. Nb_2O_5 as efficient and recyclable photocatalyst for índigo carmine degradation. *Applied Catalysis B*, v. 82, n. 3-4, p. 219-224, 2008.
- SANTANA, V. S.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Degradação fotocatalítica de efluentes de indústrias têxtil empregando TiO_2 e Nb_2O_5 , sob irradiação visível. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 24, n. 6, p. 1681-1686, 2002.
- SANTANA, V. S.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Photocatalytic degradation of the vinasse under solar radiation. *Catalysis today*, v. 133-135, p. 606-610, 2008.
- SANTANA, V. S.; ALBERTON, A. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Influence of luminous intensity on textile effluent photodegradation. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 27, n. 1, p. 1-6, 2005.

SILVA, R. N.; MONTEIRO, V. N.; ALCANFOR, J. X.; ASSIS, E. M.; ASQUIERI, E. R. Comparação de métodos para determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 337-341, 2003.

ULLAH, R.; DUTTA, J. Photocatalytic degradation of organic dyes with manganese-doped ZnO nanoparticles. **Journal of Hazardous Materials**, v. 1-3, n. 156, p. 194-200, 2008.

YASSITEPE, E.; YATMAZ, H. C.; ÖZTÜRK, C.; ÖZTÜRK, K.; DURAN, C. Photocatalytic efficiency of ZnO plates in degradation of azo dye solutions. **Journal**

of Photochemistry and Photobiology Chemistry A, v. 198, n. 1, p. 1-6, 2008.

Received on June 17, 2008.

Accepted on September 18, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.