



## **Influência do regime de escoamento na eliminação fotocatalítica de NO utilizando suspensão líquida a base de TiO<sub>2</sub>-anatase**

**Eduardo Borges Lied<sup>1</sup>, Ana Paula Trevisan<sup>2</sup>, Paolo Caspani<sup>3</sup>, Camilo Freddy Mendoza Morejon<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira  
([eduardolied@utfpr.edu.br](mailto:eduardolied@utfpr.edu.br))

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel ([anapaullatrevisan@gmail.com](mailto:anapaullatrevisan@gmail.com))

<sup>3</sup> Caspani Srl, Origgio, Itália ([info@caspanisrl.it](mailto:info@caspanisrl.it))

<sup>4</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo ([camilo\\_freddy@hotmail.com](mailto:camilo_freddy@hotmail.com))

### **Resumo**

Para a degradação fotocatalítica do óxido nítrico (NO) em fase gasosa foi desenvolvido um reator ao qual foi incorporado um material de fibrocimento revestido com tinta fotocatalítica de nome comercial Fotosan®. A velocidade do fluxo foi avaliada como parâmetro operacional de desempenho do reator. As taxas de conversão foram estudadas para diferentes massas de fotocatalisadores. A amostra “Fotosan A” produziu uma conversão de 75% para uma velocidade de 0,419 mg min<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Os resultados sugerem que a intensidade de escoamento do gás tem uma influência importante sobre a eficiência de degradação fotocatalítica, tendo sido observado perda de atividade fotocatalítica com a redução da turbulência.

Palavras-chave: Escoamento turbulento. Poluente gasoso. Tinta fotocatalítica.

Área Temática: Tecnologias Ambientais

## **Influence of the flow regime on the photocatalytic elimination of NO using liquid suspension based on TiO<sub>2</sub>-anatase**

### **Abstract**

*For the photocatalytic degradation of the nitric oxide (NO) in the gas phase, a reactor was developed to which a photocatalytic coating material was coated with Fotosan® commercial name. The flow velocity was evaluated as an operational parameter of reactor performance. Conversion rates were studied for different masses of photocatalysts. The "Fotosan A" sample produced a 75% conversion at a rate of 0.419 mg min<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. The results suggest that the gas flow intensity has a significant influence on the photocatalytic degradation efficiency, and loss of photocatalytic activity with the reduction of turbulence has been observed.*

*Key words: Turbulent flow. Gaseous pollutant. Photocatalytic paint.*

*Theme Area: Environmental Technologies*

### **1 Introdução**

A crescente preocupação pública com a poluição ambiental levou ao desenvolvimento de tecnologias eficazes de remoção de poluentes, que dentre os quais se destacam os processos oxidativos avançados (POAs). Entre estes POAs, um grande interesse está voltado para a



oxidação fotocatalítica devido ao seu potencial em degradar uma ampla gama de poluentes gasosos inorgânicos e orgânicos, sem exigências de energia significativas.

O uso de  $\text{TiO}_2$  para fotocatalise tem aplicação ampla e diversa, sendo que o mesmo pode ser incorporado em formulações de outros produtos, de modo a tornar mais viável tecnicamente o seu desenvolvimento e aplicação. Neste contexto, aparecem as tintas fotocatalíticas para o tratamento de poluentes gasosos. O uso de tintas com propriedades fotocatalíticas tem contado nos últimos anos com um número significativo de relatos em trabalhos da literatura nas mais diversas aplicações de tratamento de poluentes gasosos em diferentes situações, como por exemplo Maggos et al. (2007), Ângelo et al. (2014), Costa et al. (2012), Sousa et al. (2013) e Monteiro et al. (2014).

O mercado de tintas possui uma linha exclusiva de produtos com propriedades fotocatalíticas. Segundo Cimax (2017), a tecnologia fotoquímica aplicada aos materiais de construção pode ser uma ótima solução. Intensas investigações neste campo tem proporcionado as bases para uma ampla aplicação em diferentes setores industriais.

Maggos et al. (2007) realizaram testes de despoluição em uma área artificialmente fechada, que foi poluída por gases gerados a partir de um escapamento de carro ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ). A superfície do teto do parque de estacionamento foi coberta com tinta acrílica branca contendo  $\text{TiO}_2$ . Os resultados mostraram uma oxidação fotocatalítica significativa dos gases poluentes.

## 2 Metodologia

### 2.1 Amostras

As amostras consistem em fragmentos de telha de fibrocimento com uma das faces revestidas com pintura fotocatalítica. A preparação das amostras foi desenvolvida pela aplicação de tinta Fotosan® via nebulização com uma bomba especial de baixa pressão. Foram confeccionadas três amostras com diferentes massas de tinta Fotosan®.

As amostras denominadas Fotosan A, Fotosan B e Fotosan C foram encaminhadas ao Departamento de Química da Universidade de Torino, na Itália, para a realização dos ensaios de degradação fotocatalítica.

### 2.2 Ensaios de degradação fotocatalítica

As amostras foram colocadas em um fotorreator turbulento com um iluminador LED (365 nm) na presença de um fluxo contínuo de ar sintético suplementado com 1,0 ppm de  $\text{NO}$  (óxido nítrico) e submetido a irradiação com o lado em que a pintura está voltada para a fonte de irradiação.

A atividade fotocatalítica da amostra foi medida sem condicionamento. O reator é equipado com uma turbina para circulação de gás com uma velocidade máxima de 5000 rpm, o que equivale a  $5000 \text{ g min}^{-1}$ . A temperatura relativa e a umidade no interior do reator foram medidas com uma sonda termo-higrométrica. A área de amostra irradiada foi de  $12,6 \text{ cm}^2$ .

O fluxo de entrada do reator foi preparado com um diluidor de gás dinâmico (Entech mod 4600A), equipado com controladores de fluxo de massa de oxigênio e nitrogênio, a partir de nitrogênio, oxigênio e mistura de nitrogênio e óxido nítrico contendo 106,7 ppm de  $\text{NO}$ . Os gases são misturados em tais proporções para obter um fluxo de  $0,5 \text{ L min}^{-1}$  em condições padrão contendo 79% de  $\text{N}_2$ , 21% de  $\text{O}_2$  e 1,0 ppm de  $\text{NO}$ .

O fluxo de gás do reator foi analisado pelo sensor eletroquímico Alphasense. A incidência de potência radiante na amostra entre 300 e 400 nm foi de  $20,0 \text{ Wm}^{-2}$  e foi medido



com um espectrofotômetro Ocean Optics USB 2000 equipado com fibra óptica. O experimento é iniciado medindo a concentração de NO na mistura gasosa deixando o reator no escuro. Após a estabilização da concentração de NO fora da própria célula, a irradiação começa.

### 3 Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra o percentual de conversão de NO sob irradiação na presença de amostras de material fotocatalítico. A amostra “Fotosan A” possui a maior atividade fotocatalítica, enquanto que as amostras “Fotosan B” e “Fotosan C” exibem atividade fotocatalítica intermediária.

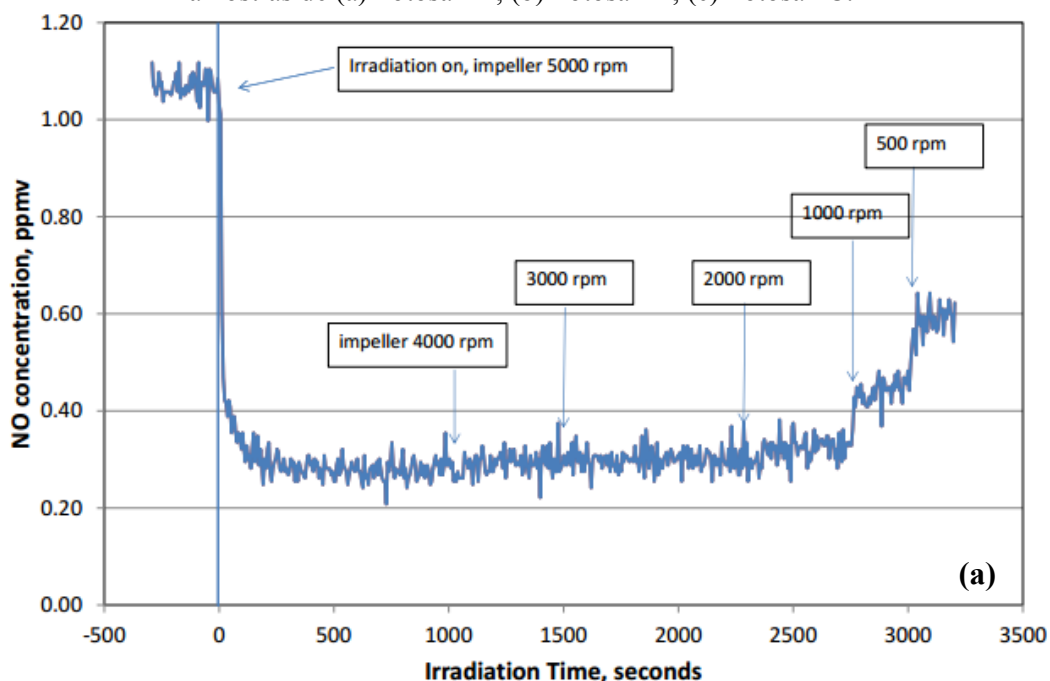
Tabela 1 – Taxa de conversão e velocidade de conversão de NO com turbina para 5000 rpm e extrapolada para turbulência infinita.

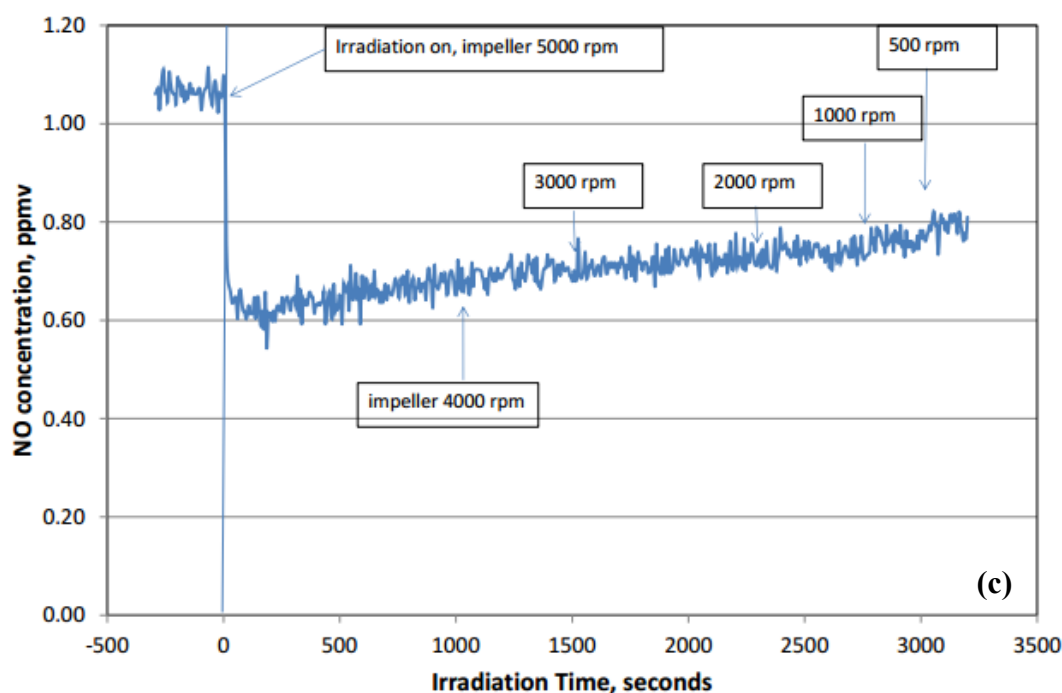
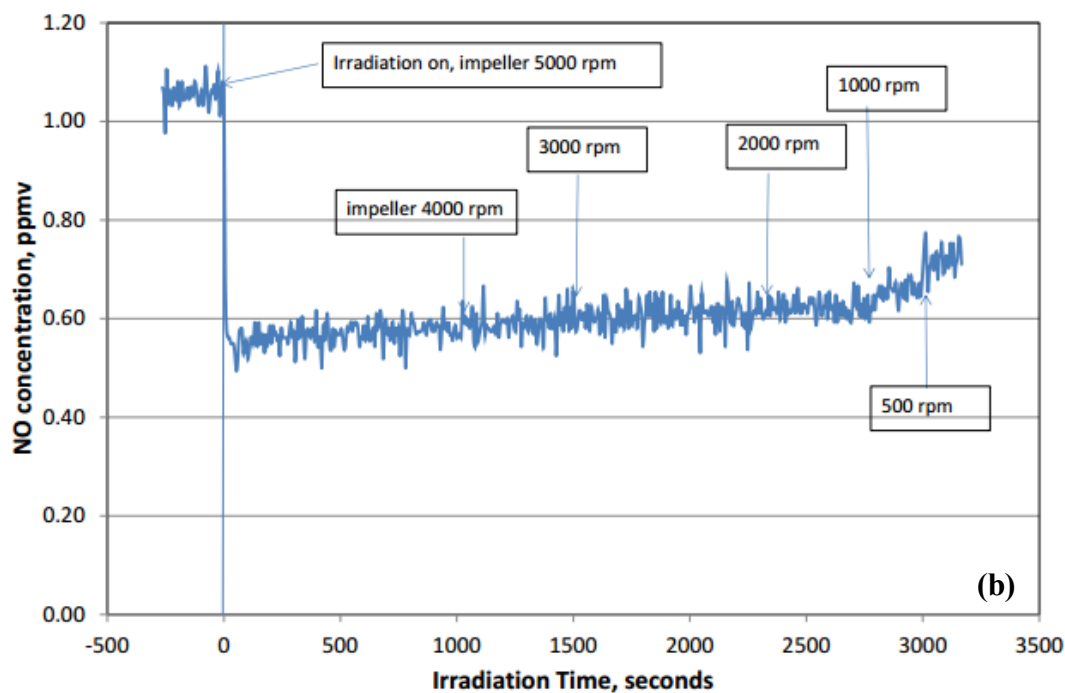
Amostra	Taxa de conversão NO com turbina a 5000 rpm (%)	Velocidade de conversão NO com turbina a 5000 rpm ( $\text{mg min}^{-1} \text{m}^{-2}$ )
Fotosan A	75	0,419
Fotosan B	46	0,257
Fotosan C	36	0,200

A amostra Fotosan A exibiu atividade fotocatalítica com valores de eficiência na degradação de NO na faixa de 75% numa velocidade de conversão de  $0,419 \text{ mg min}^{-1} \text{m}^{-2}$ . As demais amostras apresentam menor atividade fotocatalítica devido a quantidade de tinta impregnada ser também menor, de modo que fica evidente a correlação positiva entre eficiência e massa de fotocatalisador.

As Figuras 1 (a), (b) e (c) mostram as tendências das concentrações de NO ao longo do tempo durante os ensaios de atividade fotocatalítica. Nestes ensaios foram variados os valores de turbulência (velocidades de rotação da turbina), com o objetivo de verificar a influência do regime de escoamento na atividade fotocatalítica.

Figura 1 – Evolução temporal das concentrações de NO durante as várias fases de teste para as amostras de (a) Fotosan A, (b) Fotosan B, (c) Fotosan C.





Como é possível notar nas Figuras 1 (a), (b) e (c), as concentrações de NO reduzem gradualmente com o tempo após o início da irradiação (“irradiation on”). Este comportamento sugere a ocorrência significativa do fenômeno da degradação de  $\text{H}_2\text{S}$  pela reação de fotocatalise.

Os testes realizados com a tinta Fotosan® mostram que o tempo de resposta foi de aproximadamente 5 min (Fotosan A) e aproximadamente 2 min para as amostras Fotosan B e Fotosan C. Esses resultados sugerem que a quantidade de fotocatalisador impregnada exerce influência sobre a cinética de degradação do óxido nítrico. Brancher et al. (2016) utilizando fibra de vidro impregnada com  $\text{TiO}_2$  observou que o tempo de estabilização das concentrações de  $\text{H}_2\text{S}$  foi atingido após 15 min.



Com relação a influência do regime de escoamento, foi possível avaliar que a diminuição da turbulência afetou negativamente a performance de degradação do NO. As Figuras 1 (a), (b) e (c) mostram que a redução da rotação do “impeller” da turbina que produz o fluxo favoreceu a diminuição da atividade fotocatalítica, pois ficou claro que a redução de 4000 rpm para 500 rpm induziu a perda de eficiência na redução das concentrações de NO.

Ahmad et al. (2016) corrobora com as considerações anteriores ao afirmar que o aumento da vazão aumenta a turbulência, fator que pode ajudar a ultrapassar as limitações de transferência de massa para a fotocatalise heterogênea sólido-gás, embora o aumento da vazão para além do valor ótimo pode ter um efeito prejudicial na atividade fotocatalítica. Portanto existe um “tradeoff” entre a vazão e a eficiência fotocatalítica que merecem atenção nas avaliações para conseguir a máxima eficiência fotocatalítica.

#### 4 Conclusão

Nos testes de degradação fotocatalítica foram obtidas eficiências de até 75% para uma velocidade de 5000 rpm e concentração de entrada de NO de 1,0 ppm.

A quantidade de massa de fotocatalisador impregnada sobre o material de fibrocimento influenciou a eficiência fotocatalítica, tendo em vista que a amostra (Fotosan A) com maior massa apresentou maior atividade fotocatalítica.

Os resultados sugerem que a velocidade tem uma influência importante na degradação, pois a diminuição do regime turbulento acarretou na perda de atividade fotocatalítica para as três amostras utilizadas nos ensaios de degradação.

#### 5 Referências

AHMAD, R.; AHMAD, Z.; KHAN, A.U.; MASTOI, N.R.; ASLAM, M.; KIM, J. *Photocatalytic systems as an advanced environmental remediation: Recent developments, limitations and new avenues for applications*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 2016; 4:4143–4164.

ÂNGELO, J.; ANDRADE, L.; MENDES, A. *Highly active photocatalytic paint for NO<sub>x</sub> abatement under real-outdoor conditions*. **Applied Catalysis A: General**. 2014; 484:17–25.  
BRANCHER, M.; FRANCO, D.; LISBOA, HM. *Photocatalytic oxidation of H<sub>2</sub>S in the gas phase over TiO<sub>2</sub>-coated glass fiber filter*. **Environmental Technology**. 2016; 37: 2852-2864.

CIMAX. *Pintura Ecosystem*. Disponível em: <  
[http://www.rossomoro.com/ecologia/cimax/docs/brochure\\_cimax.pdf](http://www.rossomoro.com/ecologia/cimax/docs/brochure_cimax.pdf)> Acesso: 20/05/2017.

COSTA, A.; CHIARELLO, GL.; SELLI, E.; GUARINO, M. *Effects of TiO<sub>2</sub> based photocatalytic paint on concentrations and emissions of pollutants and on animal performance in a swine weaning unit*. **Journal of Environmental Management**. 2012; 96:86-90.

MAGGOS, T.; BARTZIS, JG.; LIAKOU, M.; GOBIN, C. *Photocatalytic degradation of NO<sub>x</sub> gases using TiO<sub>2</sub>-containing paint: A real scale study*. **Journal of Hazardous Materials**. 2007; 146:668-673.

MONTEIRO, RAR.; LOPES, FVS.; SILVA, AMT.; ÂNGELO, J.; SILVA, GV.; MENDES, AM.; BOAVENTURA, RAR.; VILAR, VJP. *Are TiO<sub>2</sub>-based exterior paints useful catalysts*



*for gas-phase photooxidation processes? A case study on n-decane abatement for air detoxification. **Applied Catalysis B: Environmental.** 2014; 147:988-999.*

SOUSA, VM.; MANAIA, CM.; MENDES, A.; NUNES, OC. *Photoinactivation of various antibiotic resistant strains of Escherichia coli using a paint coat. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.** 2013; 251:148-153.*