



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

# APARATO PARA AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE REATORES FOTOQUÍMICOS QUANTO À CAPTAÇÃO E O ESPALHAMENTO DA RADIAÇÃO INCIDENTE

BRAVO PF<sup>1</sup>, RAMOS B<sup>1\*</sup> e TEIXEIRA ACSC<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: ramos.bruno@usp.br

**RESUMO** – *O projeto visa contribuir com a geração de informações sobre o espalhamento de fótons em reatores fotoquímicos microestruturados por meio do desenvolvimento de uma metodologia confiável, reprodutível e de fácil utilização para a medição da distribuição espacial dos fótons irradiados, possibilitando estudar sua captação em reatores microestruturados com leito fixo de esferas de diferentes materiais e tamanhos, sistematizando assim, o entendimento dos efeitos dos materiais constituindo do reator na sua eficiência de captação fotônica. De posse de uma descrição detalhada desses efeitos, é possível conseguir projetar reatores com condições ótimas de irradiação e, por conseguinte, mais econômicos e eficientes.*

## 1. INTRODUÇÃO

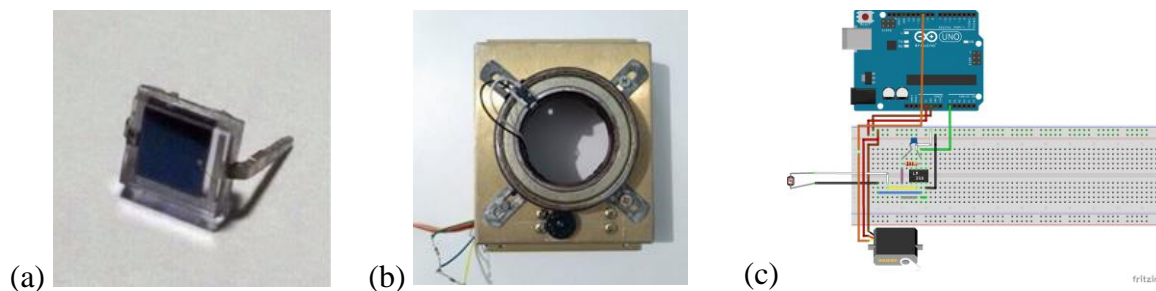
Fotoquímica e fotocatalise têm recebido bastante atenção em tempos recentes, para as mais diversas aplicações: substituição a reações térmicas; reações orgânicas de alta demanda energética (Oelgemöller, 2016; Narayanam & Stephenson, 2011); degradação de poluentes e remediação de corpos d'água (Graça *et al.*, 2017); e, mais recentemente, fotorredução de dióxido de carbono a metano (Kočí *et al.*, 2017) ou metanol (Gusain *et al.*, 2016), ou *water splitting* para síntese de hidrogênio (Staykov *et al.*, 2016), atualmente chamados de *combustíveis solares* (House *et al.*, 2015). Para uma aplicação eficaz desses processos, é necessário o desenvolvimento de reatores fotoquímicos que, além de contar com catalisadores eficientes, tenham um projeto adequado para maximizar a captura dos fótons irradiados.

Um dos primeiros e mais importantes passos para o projeto de reatores eficazes é a compreensão do destino dos fótons irradiados a partir do momento que atingem as paredes do reator – se são transmitidos ou refletidos, se o grau de refração produz zonas de penumbra, se as reflexões são especulares ou difusas etc. – e como esses fenômenos afetam a(s) taxa(s) de reação. De posse de uma descrição detalhada dessas correlações, é possível conseguir projetar reatores com condições ótimas de irradiação e, por conseguinte, mais econômicos e eficientes. Neste trabalho, apresentamos um novo dispositivo desenvolvido com objetivo de

facilitar a medição da radiação espalhada a partir do contato da radiação incidente com o corpo do reator, utilizando fotodiodos e um microcontrolador programável.

## 2. METODOLOGIA

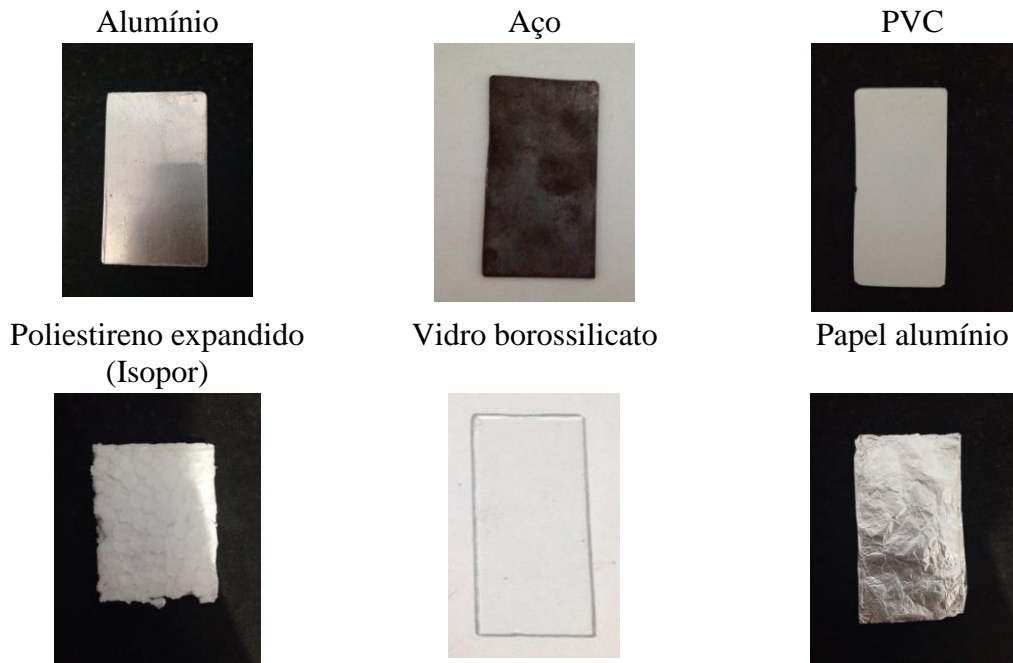
Foram utilizados um microcontrolador Arduíno, um sensor fotovoltaico da marca Vishay, modelo BPW34, com  $7,5 \text{ mm}^2$  de área sensível a radiação e faixa de operação entre 430 e 1100 nm (Figura 1(a)) e um servo motor contínuo em contato com um rolamento (diâmetro interno: 50,8 mm [2 in] , diâmetro externo: de 76,2 mm [3 in]) embutido a um suporte metálico com 14 cm de altura e 12,5 cm de largura(Figura 1 (b)). O suporte é fixado a uma base enquanto o material a ser analisado é acoplado a uma plataforma, de modo que este material esteja no centro do rolamento e a fonte de luz esteja perpendicular à superfície do objeto. O sensor tem seu polo positivo conectado a entrada analógica da placa Arduino; seu polo negativo conectado ao pino terra. A radiação incidente no sensor gera uma diferença de potencial entre os polos, este valor é monitorado em conjunto com a posição do sensor no momento da leitura.



**Figura 1.** (a) Sensor BPW34. (b) Servo motor embutido no suporte. (c) circuito breadboarded

O circuito utilizado para controlar o servo motor (Figura 1 (c)) e o sensor fotovoltaico conta com capacitor cerâmico de 100 nF, um resistor de 10 kilo-ohms e um amplificador operacional.

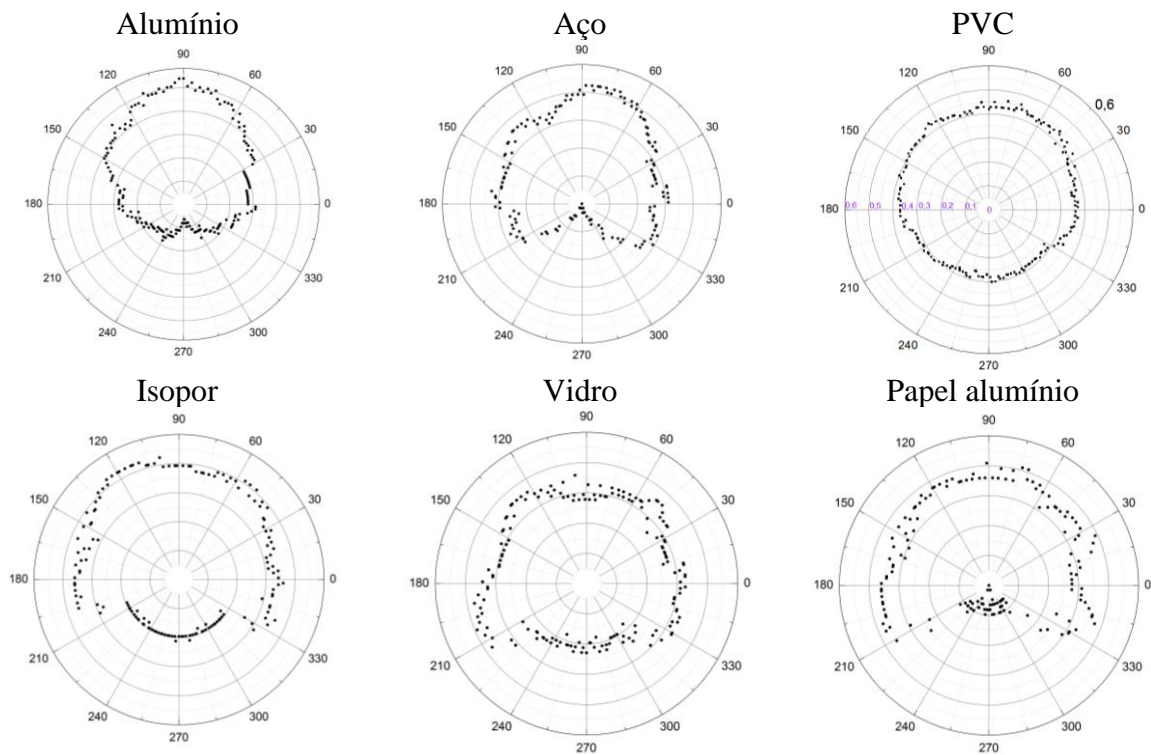
O código implementado no microcontrolador Arduino instrui o servo motor a girar  $13^\circ$  no sentido anti-horário a partir de sua posição anterior e, então, faz com que o sensor tome 10 medidas da voltagem gerada pela célula fotovoltaica devido à radiação incidente, com um intervalo de 1 segundo entre cada medida. Calcula-se então a média destes valores, e o motor é instruído a seguir para a próxima posição. Depois de 12 voltas, terão sido obtidas 360 médias em diferentes ângulos ao redor do material de interesse. Este método foi adotado de modo a fazer com que houvesse um certo intervalo de tempo entre medidas de ângulos próximos, por exemplo, após medir a voltagem a  $13^\circ$ , somente após 9 voltas do sensor será realizada a medida a  $14^\circ$ , caso houvesse alguma interferência externa no momento da primeira medida, esta não afetaria as medidas dos ângulos mais próximos, minimizando o erro devido à histerese. Partindo dos resultados obtidos, constrói-se um gráfico polar com o objetivo de visualizar a distribuição da radiação espalhada ao redor do material. Faz-se em seguida comparação entre os perfis de radiação mensurados. Utilizando uma lâmpada Ourlux superled spot (ângulo de abertura de  $30^\circ$ , potência emissiva 5 W), realizou-se a análise do espalhamento em superfícies planas de materiais com diferentes propriedades óticas (metais, polímeros e cerâmicas) (Fig. 2).



**Figura 2.** Superfícies utilizadas para tomada de medidas do espalhamento de radiação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra os resultados obtidos para os diversos materiais.



**Figura 3.** Perfil de espalhamento de radiação incidente obtido para o alumínio.



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

O sinal detectado na parte inferior de materiais opacos deve-se à radiação ambiente, já que as placas utilizadas não são suficientemente largas para bloquear toda a incidência de luz, formando uma penumbra na região onde a irradiância é aproximadamente zero.

## 4. CONCLUSÕES

O equipamento foi eficaz para medir a radiação espalhada, com boa reprodutibilidade e potencial aplicação em materiais diversos. Outras medidas têm sido feitas em reatores tubulares e estão sendo comparadas com modelos matemáticos para futura validação e aplicação no projeto de reatores.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/PIBIC 157533/2017-4) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 2015/21421-0).

## 6. REFERÊNCIAS

- OELGEMÖLLER, M. Solar Photochemical Synthesis: From the Beginnings of Organic Photochemistry to the Solar Manufacturing of Commodity Chemicals. **Chem Rev**, **116** (17), 9664, 2016.
- NARAYANAM, J. M. R.; STEPHENSON, C. R. J. Visible light photoredox catalysis: applications in organic synthesis. **Chem Soc Rev**, **40**, 102, 2011 .
- GRAÇA, C. A. L.; VELOSA, A. C.; Teixeira, A. C. S. C. Amicarbazone degradation by UVA-activated persulfate in the presence of hydrogen peroxide or Fe<sup>2+</sup>. **Cat Today**, **280**, 80, 2017.
- KOCI, T.; Terl, M. Effect of TiO<sub>2</sub> particle size on the photocatalytic reduction of CO<sub>2</sub>, **Appl Catal B Environ.**, 89, 494-501
- GUSAIN, R.; KUMAR, P.; SHARMA, O. P.; JAIN, S. L.; Khatri, O. P. Reduced graphene oxide–CuO nanocomposites for photocatalytic conversion of CO<sub>2</sub> into methanol under visible light irradiation. **Appl Catal B: Environ**, **181**, 352, 2016.
- STAYKOV, A.; LYTH, S. M.; WATANABE, M. Photocatalytic Water Splitting. **Hydrogen Energy Engineering**, pp. 159-174. Springer Japan: Tokyo, 2016
- HOUSE, R. L.; ILHA, N. Y. M.; COPPO, R. L.; ALIBABAEI, L. Artificial photosynthesis: where are we now? Where can we go? **J Photochem Photobiol C: Photochem Rev**, **25**, 32, 2015.