

## **EFICIÊNCIA FOTOVOLTAICA DE CÉLULAS SOLARES DSSC SENSIBILIZADAS COM ANTOCIANINAS DE VINHO E RUTÊNIO N-3**

TATIANE MANKE DA ROCHA<sup>1</sup>; TATIANE STRELOW LILGE<sup>2</sup>; LUCIANO TIMM  
GOULART<sup>3</sup>; RAMON DADALTO CARVALHO<sup>4</sup>; MÁRIO LÚCIO MOREIRA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas– [tatianemanke@hotmail.com](mailto:tatianemanke@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federam de Santa Catarina– [tatianelilge@gmail.com](mailto:tatianelilge@gmail.com)

<sup>3</sup>Instituto Federal Rio-Grandense – [lg.gularte@gmail.com](mailto:lg.gularte@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [ramondadaltocarvalho@gmail.com](mailto:ramondadaltocarvalho@gmail.com)

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – [mlucio3001@gmail.com](mailto:mlucio3001@gmail.com)

### **1. INTRODUÇÃO**

A emissão de CO<sub>2</sub> pelas termoelétricas, decorrentes da queima de combustíveis fósseis, impõe desafios técnicos e econômicos (CARDIS, 2011; FERNANDES, 2021). Fontes renováveis como eólica, biomassa e fotovoltaica surgem como alternativas para reduzir impactos ambientais e custos (MAUAD, 2017; RODRIGUES, 2022). Nesse contexto, cresce o interesse por materiais mais acessíveis e sustentáveis, sendo as células solares sensibilizadas por corante (DSSC) promissoras. O'REGAN e GRAETZEL (1991) desenvolveram um dispositivo com eletrodos de TiO<sub>2</sub> e eficiência de 7,9%, composto por contra-eletródo, eletrólitos e fotoanodo com corante orgânico.

Os corantes mais utilizados para essa finalidade são os complexos metálicos baseados em rutênio, contendo grupos coordenantes, capazes de se adsorverem na superfície do semicondutor. Estes apresentam uma ampla janela de absorção do espectro solar, chegando a absorver na região do infravermelho. Uma das desvantagens se concentra nas complexas rotas sintéticas desenvolvidos para aplicação nestes sistemas, o que encarece o seu custo, chegando a valores próximos a R\$ 3,000.00 por grama, inviabilizando o uso em larga escala. Portanto, o desenvolvimento e a investigação de novos corantes e/ou substitutos aos corantes para a geração de energia são de extrema importância (SONAI, 2015).

Como alternativa aos corantes sintéticos, pesquisadores vêm desenvolvendo DSSC com corantes naturais de baixo custo, apesar do rendimento energético ser menor, esses corantes promovem sustentabilidade e custos reduzidos (LEE, 2017). As antocianinas são os mais utilizados por serem facilmente extraídas de uma ampla variedade de fontes naturais, pertencentes à classe dos flavonoides sendo responsáveis pela coloração intensa de flores (TRACTZ, 2018), frutos (SZOSTAK, 2014; SONAI, 2015) e vegetais (LEE, 2017; SONAI, 2015), variando do laranja ao violeta.

Nesse contexto, a utilização de sensibilizadores naturais em células DSSC representa uma alternativa promissora para reduzir custos e impactos ambientais, sendo obtidos facilmente de fontes naturais. Embora apresentem menor eficiência fotovoltaica em comparação aos corantes sintéticos, sua ampla disponibilidade, baixo custo e caráter biodegradável tornam esses materiais atrativos para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

## 2. METODOLOGIA

A construção de uma célula solar sensibilizada por corante requer vários elementos sendo que dois se destacam como componentes principais: o fotoanodo e o contra eletrodo descritas por partes na figura 1. Ambos são confeccionados sobre um substrato de vidro condutor composto por óxido de estanho dopado com flúor (FTO), com resistividade de  $7 \Omega \cdot \text{sq}^{-1}$  (Sigma-Aldrich).

O fotoanodo é formado por duas camadas finas de  $\text{TiO}_2$  depositadas por *spin coating* a partir de uma solução contendo isopropóxido de titânio em álcool isopropílico. Após tratamento térmico em forno mufla, forma-se a camada de bloqueio (BL), prevenindo a recombinação de cargas eletrônicas. Após, aplica-se o óxido semiconductor por meio de pasta composta por pó de  $\text{TiO}_2$  comercial (P25), etilenoglicol, Triton X-100 e etanol, homogeneizada por agitação ultrassônica. A pasta é depositada por *spin coating*, formando um filme de  $1 \text{ cm}^2$ , seguido por tratamento térmico a  $125^\circ\text{C}$  por 10 min e  $450^\circ\text{C}$  por 30 min.

O processo de sensibilização é conduzido por imersão do filme no corante durante 24 horas, em temperatura ambiente e na ausência de luz. Foram utilizadas duas soluções: vinho de mesa colonial (proveniente da região do 7º distrito de Pelotas, RS) e o corante N-3 à base de rutênio, composto por 0,3 M de  $\text{cis}-(\text{SCN})_2\text{bis}(2,2'\text{-bipiridil-4,4'}\text{-dicarboxilato})$  de rutênio (II) dissolvido em etanol.

Os contra eletrodos de platina foram confeccionados conforme a metodologia descrita por Lilge et al. (2025), por meio da deposição de três camadas sucessivas, seguidas de tratamentos térmicos apropriados.

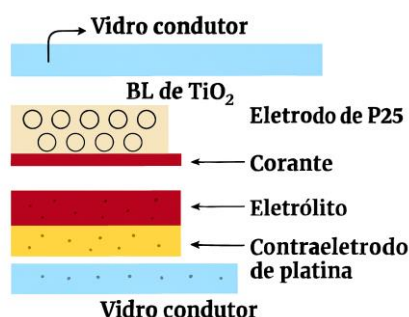


Figura 1: Esquema da montagem da célula solar utilizada.

A selagem das células foi realizada com filme termoplástico com espessura de  $60 \mu\text{m}$  (Meltonix série 1170-60, Solaronix), contendo abertura de  $1 \text{ cm}^2$  para inserção do eletrólito, micropipetado através dos orifícios até o completo preenchimento do espaço interno. A fusão do selante ocorre por aquecimento a  $110^\circ\text{C}$  por 20–30 segundos. O eletrólito utilizado foi o iodeto/tri-iodeto ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) comercial HI-30, fornecido pela Solaronix S/A, com concentração de 30 mM de  $\text{I}_3^-$  e formulação composta por iodo, iodeto de 1,3-dimetilimidazólio e acetonitrila.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, é de fundamental importância avaliar a região espectral de absorção de luz dos corantes utilizados neste trabalho. A figura 2 mostra os espectros de absorção na região do ultravioleta-visível do vinho e do corante de rutênio. Pode ser observado a presença de picos de absorção com valor máximo em torno de  $540 \text{ nm}$ , referentes às transições eletrônicas  $\pi-\pi^*$  que ocorrem nas

antocianinas. Observa que ambos foram capazes de absorver de forma semelhante na faixa visível entre 200 nm e 540 nm e apresentaram pouca capacidade de absorção na região do infravermelho (980 e 1100 nm), limitando parcialmente o dispositivo em converter energia solar em energia elétrica.

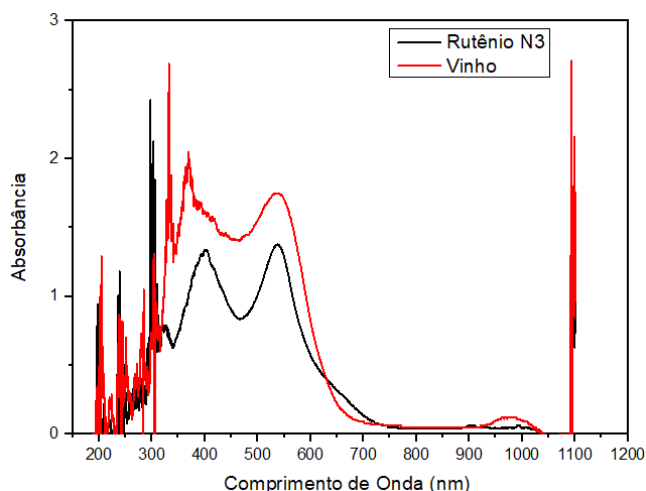


Figura 2: Absorbância das células solares de P25, na curva em preto com o corante de N-3 e na curva em vermelho a célula contendo o corante vinho.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas JxV para as células estudadas e na Tabela 1 os parâmetros fotovoltaicos. Observa-se que a célula com maior eficiência energética ( $\eta = 2,53\%$ ), foi a de rutênio, como o esperado e foi obtido uma eficiência de 0,15% para o vinho, sendo um valor próximo encontrada na literatura para o *hibiscus* TRACTZ (2018) e superior à da casca de uva SZOSTAK (2014).

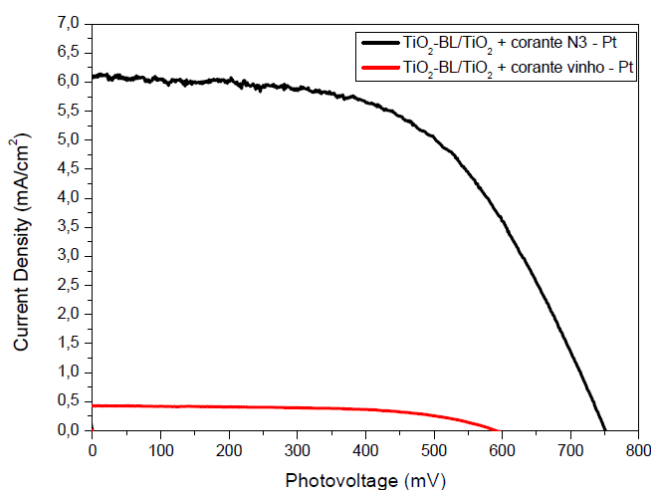


Figura 3: Curvas JxV das células DSSC de P25, na curva superior com o corante de N-3 e na curva inferior a célula contendo o corante de vinho.

Corante	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (mV)	FF	$\eta$ (%)	P <sub>máx</sub>	
N-3	6.69	749	0.505	2.53	25.3	Este trabalho
Vinho	0.35	593	0.072	0.15	0.15	Este trabalho
<i>Hibiscus</i>	0.56	492	0.055	0.15	0.15	TRACTZ (2018)

Casca de uva	0.45	293	0.046	0.061	0.061	SZOSTAK (2014)
--------------	------	-----	-------	-------	-------	----------------

Tabela1: Comparativo da densidade de corrente ( $J_{sc}$ ),  $V_{oc}$ , fator de forma ( $FF$ ), eficiência ( $\eta$ ) e a potência máxima ( $P_{MAX}$ ) encontrado para as células produzidas nesse trabalho e na literatura.

O fator de forma ( $FF$ ) encontrado para o rutênio foi maior do que o encontrado para o vinho, o que é relacionado a transferência de elétrons e com a resistência interna da célula.

#### 4. CONCLUSÕES

O corante de vinho utilizado pode ser uma forma de diminuir custos de fabricação, mas ainda em relação a corantes sintéticos a base de rutênio que são os fotossensibilizantes mais aplicados, possuem respostas fotovoltaicas inferiores, o que dificulta a geração de energia em grande escala. O  $V_{oc}$  mais baixo também indica que há mais processos de recombinação de cargas dentro do circuito. Estudos mais detalhados com purificação do vinho eliminando elementos que possam ser nocivos ao processo podem contribuir para melhoria dos parâmetros fotovoltaicos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDIS, E.; HATCH, M. The chernobyl accident—an epidemiological perspective. *Clinical Oncology*, Elsevier, v. 23, n. 4, p. 251–260, 2011.

FERNANDES, C. D. Aprimoramento de fotoeletrodos de zns crescidos sobre zno, por meio do controle estrutural e eletrônico, para uso em células fotovoltaicas. Universidade Federal de Pelotas, 2021.

MAUAD, F. F.; TRINDADE, L.; BRASIL, T. E. R. no. Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. *EESC/USP*, 2017.

RODRIGUES, A. G.; FREITAS, F. B. Estudo da viabilidade de implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para a crise energética brasileira. *Epitaya E-books*, v. 1, n. 2, p. 154–197, 2022.

SONAI, Gabriela G. et al. Solar cells sensitized with natural dyes: an introductory experiment about solar energy for undergraduate students. **Química Nova**, v. 38, p. 1357-1365, 2015.

LEE, Chuan-Pei; LI, Chun-Ting; HO, Kuo-Chuan. Use of organic materials in dye-sensitized solar cells. **Materials today**, v. 20, n. 5, p. 267-283, 2017.

SZOSTAK, Rodrigo et al. CÉLULAS SOLARES (DSSC) SENSIBILIZADAS COM ANTOCIANINAS EXTRAÍDAS DA CASCA DE UVAS “VITIS LABRUSCA”. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2014.

TRACTZ, Gideã T. et al. Avaliação da adsorção e estudo eletroquímico de células solares produzidas com  $TiO_2$  e corante extraído do Hibiscus. **Química Nova**, v. 41, n. 5, p. 512-518, 2018.

O'REGAN, B.; GRAETZEL, M. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal  $TiO_2$  films. *Nature*, v. 353, p. 737–740, out. 1991.

LILGE, Tatiane Strelow et al. Broadening light absorption and reducing recombination in DSSCs with Eu-doped  $BaTiO_3@CaF_2/TiO_2$  hybrid systems. **Optical Materials**, p. 116894, 2025.