

Uma alternativa sustentável: aplicação do resíduo do ácido 3,5 dinitro salicílico em células solares**An sustainable alternative: application of 3,5 dinitrosalicylic acid residue in solar cells**

DOI:10.34117/bjdv6n7-803

Recebimento dos originais: 03/06/2020

Aceitação para publicação: 29/07/2020

Gideã Taques Tractz

Doutorando em Química Aplicada pela Universidade Estadual do Centro-Oeste
Instituição: Universidade Estadual do Centro Oeste
Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838 – Vila Carli, Guarapuava – PR, Brasil
E-mail: gide.tractz@hotmail.com

Felipe Staciaki da Luz

Mestrando em Química Aplicada pela Universidade Estadual do Centro-Oeste
Instituição: Universidade Estadual do Centro Oeste
Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838 – Vila Carli, Guarapuava – PR, Brasil
E-mail: felipestaluz@gmail.com

Everson do Prado Banczek

Doutor em Ciências pelo Instituto de Pesquisas e Ciências Energéticas
Instituição: Universidade Estadual do Centro-Oeste
Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838 – Vila Carli, Guarapuava – PR, Brasil
E-mail: edopradobanczek@yahoo.com.br

Paulo Rogério Pinto Rodrigues

Doutor em Química pela Universidade de São Paulo
Instituição: Universidade Estadual do Centro-Oeste
Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838 – Vila Carli, Guarapuava – PR, Brasil
E-mail: prprodriques@gmail.com

RESUMO

Células solares sensibilizadas por corante (CSSC) são dispositivos promissores para conversão de energia. Os corantes empregados nas CSSCs, geralmente baseados em rutênio, são sintéticos e, apresentam um custo elevado, conduzindo ao estudo de novos materiais fotossensibilizadores para serem aplicados. Uma alternativa sustentável é a utilização do ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) e do seu resíduo após a análise de açúcares redutores, o 3-amino 5-nitrosalicílico (ANS), que é tóxico ao meio ambiente e não têm valor comercial após utilização. Este trabalho teve como objetivo produzir e analisar um sistema fotovoltaico contendo DNS e ANS, com fins de se agregar valor e incentivar a aplicação sustentável de descartes poluentes. As técnicas empregadas foram Espectroscopia na região do Ultravioleta – visível (Vis), fotocronoamperometria (j-t) e curvas de densidade de corrente em função do potencial (j- E). Os corantes empregados apresentaram bandas de absorção na região do visível e foram capazes de produzir um dispositivo fotovoltaico como verificado pelas análises fotoeletroquímicas, com uma foto-corrente de $55 \mu\text{A cm}^{-2}$ para o DNS e $20 \mu\text{A cm}^{-2}$ para o resíduo.

Palavras- Chave: corante, sustentabilidade, energia, célula fotovoltaica, açúcares redutores

ABSTRACT

Dye sensitized solar cells (DSSC) are promissors devices to energy conversion. The dyes employed in DSSC's are synthetic, usually based in ruthenium and have a high cost, leading the research to news photosensitizers to be applied. A sustainable alternative is to use 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS), and its residue yielded by the reducing sugars analysis, the 3-amino-5-nitrosalicylic (ANS), that is toxic to the environment and do not present comercial value after the use. This work aims to produce a DSSC and analyze a photovoltaic system using DNS and ANS to aggregate value and incentivate a sustantainable application of disposable pollutants. The techniques employed were UV-Vis Spectroscopy, photochronoamperometry measurement (j-t), and photocurrente density curves vs potential (j-V). The dyes used presented absorption bands in visible region and were able to generate a photovoltaic device, as verified to photoelectrochemical analyzes, with a photocurrent of $55 \mu\text{A cm}^{-2}$ to DNS and $20 \mu\text{A cm}^{-2}$ to residue.

Keywords: dye, sustainability, energy, photovoltaic cell, reducing sugars.

1 INTRODUÇÃO

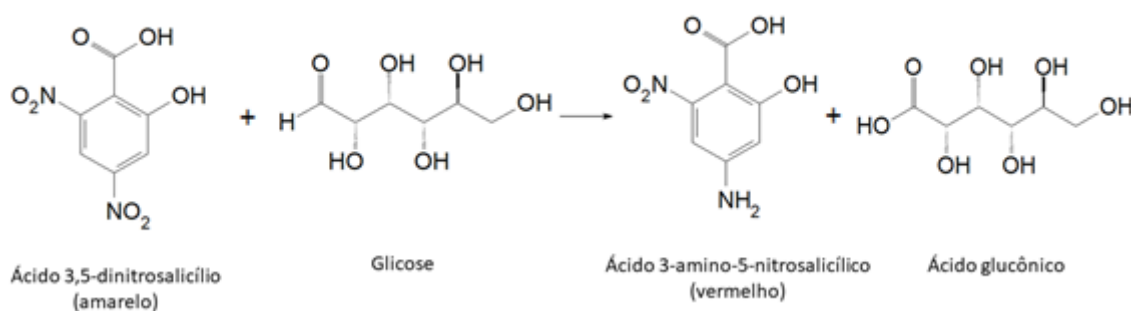
Células solares são dispositivos capazes de converterem luz solar em energia elétrica. Apresentam uma série de vantagens, como fácil instalação e manutenção, aplicabilidade em locais de difícil acesso e também utilizam um recurso inesgotável de energia que é fornecido de maneira limpa e gratuita (SANTOS; MARTINS; BORGES, 2020; SONAI *et al.*, 2015)

Os sistemas solares podem ser classificados em três classes distintas, primeira, segunda e terceira geração (RAPHAEL *et al.*, 2017). Os sistemas de primeira geração abrangem os dispositivos produzidos com silício monocristalino e policristalino, amplamente aplicados hoje em residências e grandes instalações (BLAKERS *et al.*, 2012). As células de segunda geração correspondem as tecnologias de filmes finos, como as CIGS (COYLE *et al.*, 2013). Já as células de terceira geração, correspondem a sistemas produzidos de maneira versátil, de baixo custo e eficiência, que podem ser aplicados em janelas e também em projetos arquitetônicos, devido sua coloração diferenciada (HUAULMÉ *et al.*, 2020).

As células solares sensibilizadas por corante (CSSC) são módulos que apresentam na composição um óxido semiconductor que possui um corante impregnado na superfície (TRACTZ *et al.*, 2019). Os corantes mais eficientes são baseados em compostos organometálicos e sintéticos geralmente contendo rutênio, que apresentam uma série de características, como alto coeficiente de extinção molar, longo tempo do estado excitado, presença de grupos ancorados eficientes, e absorção em amplas regiões do espectro eletromagnético (HAGFELDT *et al.*, 2010). Todavia, devido a essa série de atributos, apresenta um custo elevado (US\$ 3,000.00) conduzindo a pesquisa a novos materiais (TRACTZ *et al.*, 2018).

Corantes alternativos, como extraídos de produtos naturais e polímeros fotossensíveis podem ser aplicados em sistemas solares de terceira geração, com a proposta de produção de tecnologias não onerosas e sustentáveis (MAIA *et al.*, 2016; SONAI *et al.*, 2015). Uma alternativa de aplicação é o resíduo do reagente DNS. O método do reagente DNS é a técnica colorimétrica mais utilizada para a determinação de açúcares redutores em laboratórios de pesquisa e controle de qualidade. O reagente consiste em uma solução alcalina de ácido 3,5-dinitrosalicílico, tartarato duplo de sódio e potássio, fenol e bissulfito de sódio. (MILLER, 1959; VASCONCELOS; PINTO; ARAGÃO, 2013) O método se baseia na reação do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) com um açúcar redutor, como a glicose, em temperaturas próximas a 100 °C, gerando o ácido 3-amino-5-nitrosalicílico (ANS), um composto de cor vermelha intensa como demonstrado na Figura 1.

Figura 1. Esquema de reação de verificação de açúcares redutores empregando-se o DNS.



Fonte: O autor (2020)

Tanto o DNS como o ANS não podem ser descartados no ambiente devida a sua alta toxicidade. Além disso, o fenol também apresenta alto risco à saúde humana. Desse modo, o descarte e tratamento dos resíduos desta análise precisa ser realizado de modo adequado para que substâncias tóxicas não contaminem águas fluviais, solos, alimentos ou animais. (VASCONCELOS; PINTO; ARAGÃO, 2013) Uma forma barata de impedir que estas substâncias sejam descartadas no meio ambiente e ainda agregar valor a este resíduo é a sua utilização como corante para sensibilização de células solares.

Este trabalho tem como objetivo, aplicar e avaliar a fotossensibilidade do DNS e do ANS em células solares de terceira geração contendo dióxido de titânio (TiO₂).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

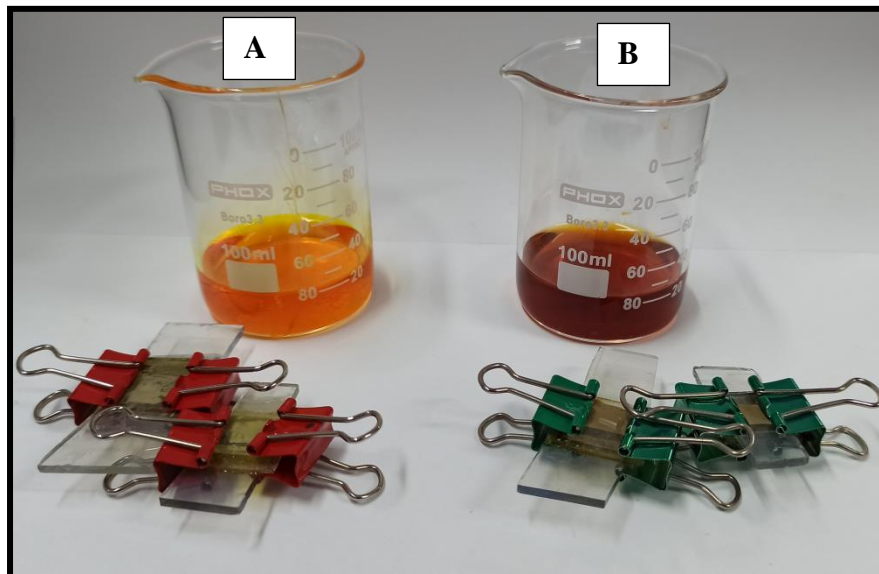
TiO₂ foi sintetizado pela metodologia Pechini, com a utilização de ácido cítrico P.A (Reatec[®]), etileno glicol (Dinâmica[®]) e isopropóxido de titânio (Aldrich[®]). Após a fabricação da resina, a mesma

foi queimada em forno mufla até 550 °C com rampa de aquecimento de 6 °C min⁻¹. Quando a temperatura atingiu 350 °C, a matéria orgânica pirolisada foi desagregada, para evitar a aglomeração dos núcleos metálicos e a formação de partículas de tamanho elevado (VIOMAR *et al.*, 2016).

A pasta de TiO₂ para deposição dos filmes foi produzida de acordo com a metodologia descrita por Parussulo e colaboradores, com a inserção de acetil acetona (Vetec[®]), polietileno glicol 300 (Synth[®]), triton X (Dinâmica[®]) e água bidestilada (PARUSSULO *et al.*, 2009). Após, os filmes foram depositados sob superfície vítrea contendo uma camada condutora de óxido de estanho dopado com flúor (FTO ~ Ω sq⁻¹ Aldrich[®]) via metodologia *Doctor Blading* (KREBS, 2009). A sinterização dos filmes ocorreu sob 450 °C por 30 minutos, para evaporação da matéria orgânica e formação de uma rede cristalina.

Os filmes produzidos foram adicionados por 24 horas nas soluções dos corantes do DNS e do resíduo contendo o ANS. Como cátodo, utilizou-se platina eletro-depositada e como intermediador de cargas uma solução eletrolítica contendo I⁻/I₃⁻ (TRACTZ *et al.*, 2019). A célula foi montada em formato sanduíche do anodo e do cátodo, com uma área ativa de 0,2 cm², como mostrado na Figura 2.

Figura 2. Soluções dos corantes com suas respectivas células solares fabricadas em formato sanduíche, com DNS em A e com o ANS em B.



Fonte: O autor (2020)

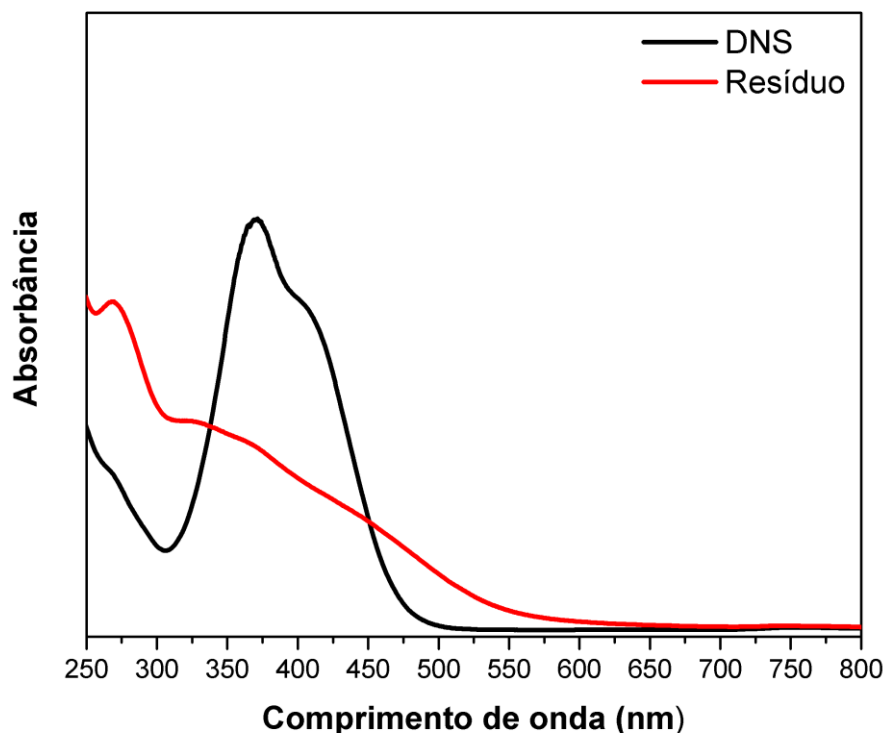
A caracterização eletroquímica das células solares produzidas foi realizada em um potenciostado Zahner Zennium, acoplado com uma lâmpada de Xenônio, sob intensidade de 500 mW m⁻² e espectro padrão de 1,5 AM. Medidas de fotocronoamperometria realizaram-se para a verificação da resposta a incidência solar do dispositivo e as curvas de densidade de corrente em função do

potencial (j-E) empregaram-se para a verificação dos parâmetros fotoeletroquímicos dos sistemas produzidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3, são apresentados os espectros de absorção na região do UV-VIS para o 3,5-dinitrosalicílico (DNS) e o resíduo da análise de açúcares redutores.

Figura 3. Espectro de absorção na região do UV-VIS para o DNS e para resíduo da reação com o DNS.



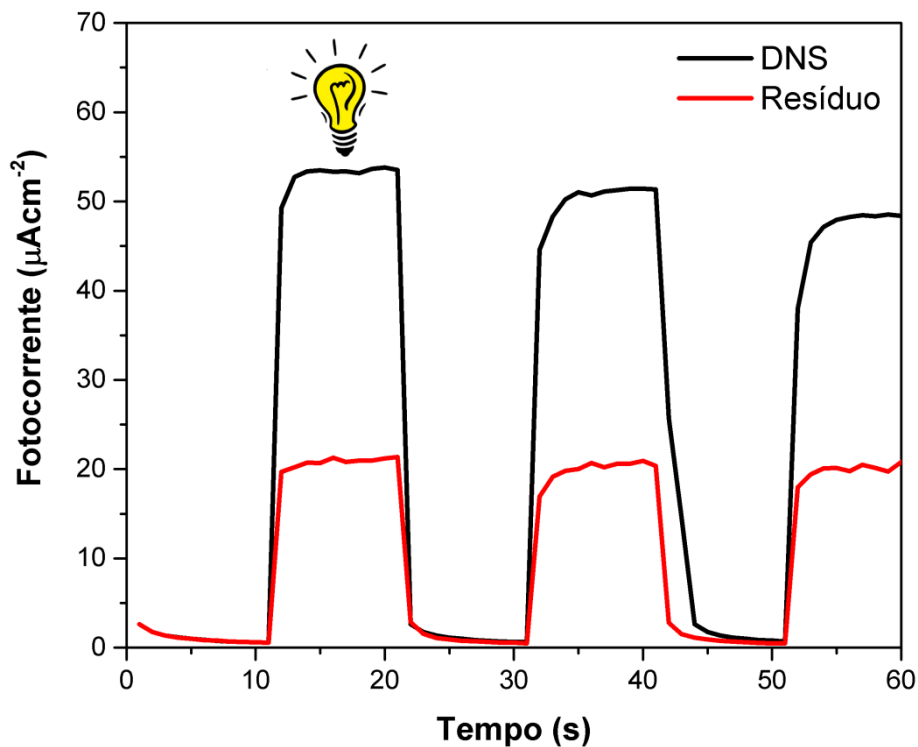
Fonte: O autor (2020)

Verifica-se uma banda de absorção na região de 370 nm para o DNS com um deslocamento hipsocrômico (para menores comprimentos de onda) para o resíduo da análise de açúcares redutores. O processamento da reação da Figura 1 acarreta na formação do ANS, uma molécula semelhante ao DNS, no entanto com uma substituição do agrupamento nitro (NO_2) para o agrupamento amino (NH_2). (VASCONCELOS; PINTO; ARAGÃO, 2013). Este fator, atrelado a presença do ácido glucônico e de possíveis moléculas de glicose que não foram reduzidas podem ser possíveis explicação do deslocamento para menores valores de comprimento de onda.

O sol apresenta uma faixa de emissão de energia na região do ultravioleta (100 –400 nm), do visível (400 – 700 nm e do infravermelho (> 700 nm), com maior intensidade na região de 400 - 600

nm (HAGFELDT *et al.*, 2010). Analisando o corante empregado na CSSC, verifica-se que o mesmo apresenta absorção na faixa de emissão do sol, sugerindo que sua aplicação fornecerá um sistema fotossensível. Todavia, verificou-se que ambos os corantes analisados, não apresentaram bandas de absorção em valores de comprimento de onda maiores que 500 nm, como é o caso dos corantes baseados em rutênio, como o Ru (II) (2,2'-bipiridil 4,4'-dicarboxilato)₂ (NCS)₂, comercialmente conhecido como N3, que apresenta uma absorção inclusive na região do infravermelho (HAGFELDT *et al.*, 2010). A ausência de absorção nessa região pode limitar fotossensibilidade do sistema fotovoltaico produzido, desse modo, a análise fotocronoamperométrica foi realizada, e encontra-se disponível na Figura 4.

Figura 4. Curvas fotocronoamperométricas para as CSSCs produzidas com o DNS e paro resíduo da reação com o DNS.



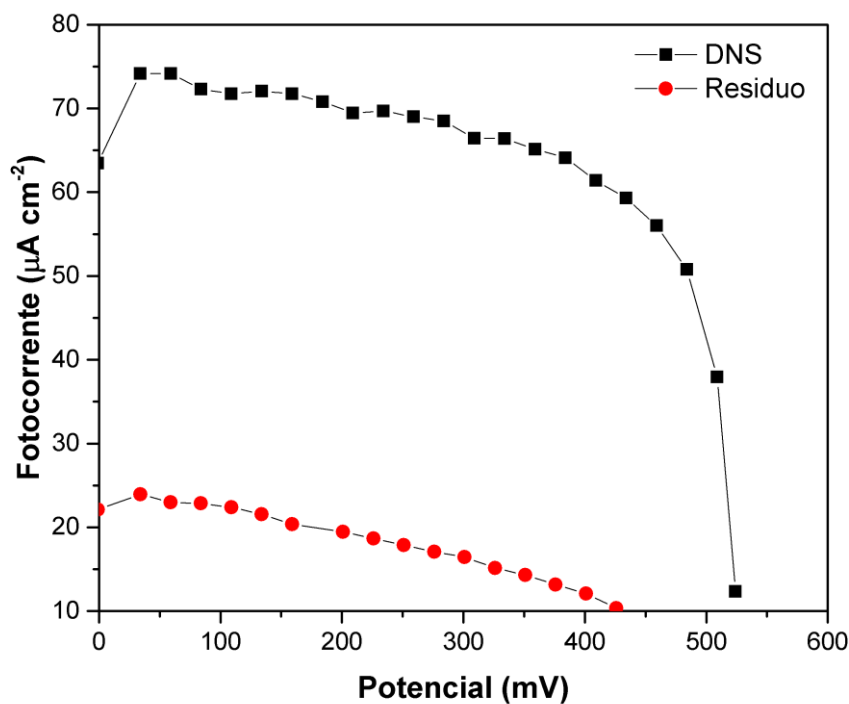
Fonte: O autor (2020)

Observa-se na Figura 4, que os sistemas produzidos apresentaram caráter de células solares, pois quando a luz incidiu no sistema houve um aumento da corrente, e quando a luz foi retirada, a célula apresentou carga próxima a 0 mA cm⁻², comprovando a fotossensibilidade do dispositivo.

Verificou-se também, que a célula apresentou uma foto-corrente próxima a 55 µA cm⁻² para o sistema com o DNS e próxima a 20 µA cm⁻² com o sistema contendo ANS. Enfatiza-se que a foto-corrente da célula com o resíduo foi cerca de 36 % do parâmetro quando utilizado o DNS. Para que

uma CSSC possa ser efetiva em conversão de energia, o corante empregado necessita apresentar alguns fatores, como alta absorção na região do espectro eletromagnético, longo tempo de estado excitado, apresentar grupos ancoradores eficientes, dentre outros aspectos (ZHANG; COLE, 2015). Como o resíduo da reação apresenta outras moléculas, como o ácido glucônico, fenol, tartarato de sódio e potássio e ainda e possíveis moléculas de glicose que não sofreram redução, a alta carga orgânica, por efeito estérico, pode dificultar a ancoragem das moléculas fotossensíveis na superfície do TiO_2 , conduzindo a uma diminuição dos elétrons foto-injetados no óxido semiconductor, levando a menores valores de corrente (AYALEW; AYELE, 2016). Para verificar a eficiência em foto-conversão dos dispositivos solares, as curvas j-E foram empregadas e encontram-se disponíveis na Figura 5.

Figura 5. Curvas de j-E para as CSSCs produzidas com o DNS e para resíduo da reação com o DNS.



Fonte: O autor (2020)

As curvas de j-E são utilizadas para determinação dos parâmetros fotovoltaicos da célula, (Tabela 1) empregando-se o cálculo da eficiência global em foto-conversão de dispositivos fotovoltaicos (η), como mostrado na Equação 1 (TRACTZ *et al.*, 2019). Onde E representa o potencial da célula, j a densidade de corrente, FF o fator de forma e P_{in} a potência incidente da lâmpada.

$$\eta = \frac{E (V) j (mA cm^{-2}) FF}{P_{in} (mW cm^{-2})} \text{ (Equação 1)}$$

Tabela 1. Parâmetros fotovoltaicos para as CSSC produzidas com o DNS e para resíduo da reação com o DNS.

Corante	E (V)	j ($\mu A cm^{-2}$)	FF	$\eta 10^{-2}$ (%)
DNS	0,494 \pm 0,04	70,050 \pm 5,79	0,637 \pm 0,037	4,200 \pm 0,004
Resíduo	0,472 \pm 0,025	24,857 \pm 1,305	0,453 \pm 0,0346	1,062 \pm 3,9 x 10 ⁻⁴

Observa-se nas curvas, que os sistemas fotovoltaicos produzidos apresentaram próximos valores de potencial, no entanto com maiores valores de foto-corrente (como mostrado também na Figura 4) e fator de forma para a célula com o DNS. Essa característica ocasionou em uma célula de maior eficiência para a utilização do mesmo corante (0,042 \pm 0,004 %) do que quando comparado ao resíduo (1,062 x 10⁻² \pm 3,9 x 10⁻⁴ %). Ressalta-se que o resíduo não foi submetido a nenhum tratamento, antes de ser aplicado na célula, todavia, acredita-se que tratamentos capazes de eliminarem moléculas interferentes podem potencializar os resultados obtidos.

Baixos valores de η , quando comparado aos corantes sintéticos são esperados, quando os corantes não apresentam eficiência no transporte de carga e são pobres em grupos cromóforos e auxocromos (HAGFELDT *et al.*, 2010; MOUNIR ALHAMED; AHMAD S. ISSA; A. WAEL DOUBAL, 2012). Por outro lado, a literatura demonstra uma extensa gama de trabalhos de produção e estudo de sistemas fotovoltaicos de baixa eficiência, usualmente utilizando produtos naturais (CALOGERO; MARCO, 2008; GHANN *et al.*, 2017; LAI *et al.*, 2008; PIZZANO AYOUB *et al.*, 2019; SONAI *et al.*, 2015; YIN, 2016), com objetivo de diminuir o custo destes sistemas, ou como o foco deste trabalho, de agregar valor a resíduos tóxicos, que muitas vezes são descartados incorretamente.

4 CONCLUSÃO

A análise dos corantes (DNS e ANS) mostraram que ambos são capazes de absorver energia na região do espectro eletromagnético, produzindo sistemas com resposta a incidência solar.

Os sistemas produzidos com o DNS apresentaram eficiência global de conversão de energia de 0,042 \pm 0,004 % e a utilização do resíduo ocasionou em uma CSSC com, 1,062 x 10⁻² \pm 3,900 x 10⁻⁴ % de eficiência. Com relação aos valores de foto-corrente, a utilização do resíduo foi capaz de gerar um sistema fotovoltaico com 36% da capacidade do DNS.

Conclui-se que é possível utilizar o descarte da reação de análise de açúcares redutores (ANS) como fotossensibilizador, empregados em células solares com corante de terceira geração, agregando valor e destinando de forma sustentável resíduos danosos ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem ao CNPq, A FAU/UNICENTRO, FINEP e a SETI/UGF.

REFERÊNCIAS

- AYALEW, W. A.; AYELE, D. W. Dye-sensitized solar cells using natural dye as light-harvesting materials extracted from *Acanthus sennii* chiovenda flower and *Euphorbia cotinifolia* leaf. **Journal of Science: Advanced Materials and Devices**, v. 1, n. 4, p. 488–494, 2016. Elsevier Ltd.
- BLAKERS, A.; ZIN, N.; MCINTOSH, K. R.; FONG, K. High Efficiency Silicon Solar Cells, **Energy Procedia**, v. 33, p. 1-10, 2013.
- CALOGERO, G.; MARCO, G. DI. Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 92, n. 11, p. 1341–1346, 2008.
- COYLE, D. J.; BLAYDES, H. A.; NORTHEY, R. S.; PICKETT, J. E.; NAGARKAR, K.R.; ZHAO, R.; GARDNER, J. O. Life prediction for CIGS solar modules part 2: degradation kinetics, accelerate testing, and encapsulant effects. **Progress in Photovoltaics**, v. 21, n.2, p. 173-186, 2013.
- GHANN, W.; KANG, H.; SHEIKH, T.; YADAV, S.; CHAVEZ-GIL, T.; NESBITT, F.; UDDIN, J. Fabrication, Optimization and Characterization of Natural Dye Sensitized Solar Cell. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1–12, 2017.
- HAGFELDT, A.; BOSCHLOO, G.; SUN, L.; KLOO, L.; PETTERSSON, H. ELECTROCHEMICAL Characterization of rapid Discharge Sintering (RDS) NiO Cathodes for Dye-Sensitized Solar Cells of p-Type. **Chemical Reviews**, v. 100, p. 6595-6663, 2010.
- HUAULMÉ, Q.; MWALUKUKU, V. M.; JOLY, D.; LIOTIER, J.; KERVELLA, Y.; MALDIVI, P.; NARBÉY, S.; OSWALD, F.; RIQUELME, A. J. ANTA, J. A.; DEMANDRILLE, R. Photochromic dye-sensitized solar cells with light-driven adjustable optical transmission and power conversion efficiency. **Nature Energy**, v. 5, p. 468-477, 2020.
- KREBS, F. C. Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 93, n. 4, p. 394–412, 2009.
- LAI, W. H.; SU, Y. H.; TEOH, L. G.; HON, M. H. Commercial and natural dyes as photosensitizers for a water-based dye-sensitized solar cell loaded with gold nanoparticles. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 195, n. 2–3, p. 307–313, 2008.
- MAIA, G. A. R.; LARSSON, L. F. G.; VIOMAR, A.; MATOS, L. A. C.; ANTUNES, S. R. M.; MAIA, E. C. R.; OLIVEIRA, M. F.; CUNHA, M. T.; RODRIGUES, P. R. P. Influence of zinc oxide morphology in hybrid solar cells of poly(3-octylthiophene). **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 27, n. 8, p. 8271–8278, 2016.
- MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.

MOUNIR A.; AHMAD S. I.; A. W. D. Studying of natural dyes properties as photo-sensitizer for dye sensitized solar cells (dssc). **Journal of Electron Devices**, v. 16, IF-2, p. 1370–1383, 2012.

PARUSSULO, A. L. A.; BONACIN, J. A.; TOMA, S. H.; ARAKI, K.; TOMA, H. E. Unravelling the chemical morphology of a mesoporous titanium dioxide interface by confocal Raman microscopy: New clues for improving the efficiency of dye solar cells and photocatalysts. **Langmuir**, v. 25, n. 19, p. 11269–11271, 2009.

PIZZANO, J. A.; TAQUES, G. T.; DIAS, B. V.; BANCZEK, E. P.; RODRIGUES, P. R. P. Comparative Study of Curcuma Longa and Beta Extracted Dye Applied on Dye Sensitized Solar Cells. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 6, p. 1908–1919, 2019.

RAPHAEL, E.; SILVA, M. N.; SZOSTAK, R.; SCHIAVON, M. A.; NOGUEIRA, A. F. Células solares de perovskitas: uma tecnologia emergente. **Química Nova**, v. 41, n. 1, p. 61–74, 2017.

SANTOS, R. B.; MARTINS, V. R.; BORGES, R. R. S. Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas: Estacionamento solar o Centro Universitário Unievangélica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.4, p. 20097-20106, 2020.

SONAI, G. G.; JUNIOR, M. A. M.; NUNES, J. H. B.; MEGIATTO, J. D.; NOGUEIRA, A. F. CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS: UM EXPERIMENTO INTRODUTÓRIO SOBRE ENERGIA RENOVÁVEL PARA ALUNOS DE GRADUAÇÃO. **Química Nova**, v. 38, n. 10, p. 1357–1365, 2015.

TRACTZ, G. T.; MAIA, G. A. R.; DIAS, B. V.; IGNACHEWSKI, F.; RODRIGUES, P. R. P. Evaluation of adsorption and electrochemical study of solar cells produced with TiO₂ and dye extracted from Hibiscus. **Química Nova**, v. 41, n. 5, 2018.

TRACTZ, G. T.; VIOMAR, A.; DIAS, B. V.; de LIMA, C. A.; BANCZEK, E. P.; CUNHA, M. T.; ANTUNES, S. R. M.; DRODRIGUES, P. R. P. Recombination study of dye sensitized solar cells with natural extracts. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 2, 2019.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G. A. S.; ARAGÃO, F. A. S. Determinação de Açúcares Redutores pelo Ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 88, 2013.

VIOMAR, A.; MAIA, G. A. R.; SCREMIN, F. R.; KHALIL, N. M.; CUNHA, M. T.; ANTUNES, A. C.; RODRIGUES, P. R. P. Influência do Método de Obtenção de Partículas de Nb₂O₅ Empregadas em Células Solares Sensibilizadas por Corante Compostas de TiO₂/Nb₂O₅. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 889–900, 2016.

YIN, J. The application of natural dyes in Dye-sensitized solar cells. In: International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer (MMEBC), 6, 2016, p. 1297–1300.

ZHANG, L.; COLE, J. M. Anchoring groups for dye-sensitized solar cells. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 7, n. 6, p. 3427–3455, 2015.