

Produção de Componentes de Células Fotovoltaicas Sensibilizadas de Baixo Custo de 3ª Geração

Camila dos S. de Jesus, Kellen C. M. Borges, Nicole C. S. da Silva,
Murillo H. de M. Rodrigues, Maria R. de C. Santos, Rosana de F.
Gonçalves & Mário G. Júnior

As células solares sensibilizadas por corantes apresentam-se como uma nova opção de custo e eficiência em produção de energia limpa. Dessa forma, a utilização de novos sensibilizadores e novos processamentos nos componentes dos eletrodos destas células se faz necessária para uma maior popularização. Assim, neste trabalho, foram estudados materiais como o óxido de grafeno, TiO_2 e sensibilizadores a base de antocianinas obtidos por rotas simples e que apresentaram bons resultados. As propriedades estruturais e ópticas indicaram que os pós P25 e TiO_2 sensibilizados podem ser aplicados como fotoanodos e o óxido de grafeno como contra-eletrodo nas células fotovoltaicas de baixo custo.

Palavras-chave: *óxido de grafeno; TiO_2 ; células solares.*

Dye-sensitized solar cells are a new option for cost and efficiency in clean energy production. Thus, the use of new sensitizers and new processing in the electrode components of these cells is necessary for further popularization. Thus, in this work we studied materials such as graphene oxide, TiO_2 and anthocyanin-based sensitizers obtained by simple routes that showed good results. The structural and optical properties indicated that sensitized P25 and TiO_2 powders can be applied as photo anodes and graphene oxide as a counter electrode in low cost photovoltaic cells.

Keywords: *graphene oxide; TiO_2 ; solar cells.*

Introdução

O desenvolvimento de novas fontes de energia que sejam renováveis e limpas está ganhando destaque atualmente devido à preocupação com o meio ambiente e com o efeito estufa¹. Uma das alternativas de produção de energia limpa são aquelas produzidas através da energia solar por células fotovoltaicas, sendo esta muito promissora para o Brasil por ser um país tropical².

No momento, 90% da fabricação das células comercializadas são constituídas de silício monocristalino ou policristalino. Porém, a limitação para popularização dessas células fotovoltaicas está relacionada ao alto custo de seus processos de refinamento, que precisa chegar a 99% de pureza, passando por processos químicos os quais devem atingir uma concentração máxima de 0,2 ppb de impurezas^{3,4}. Contudo, a ciência vem buscando o desenvolvimento de novas células fotovoltaicas. Atualmente, existem três gerações de células solares: a 1ª geração denominada Wafer (baseada no silício), a 2ª geração a partir de filmes finos comerciais e a 3ª geração com os filmes finos emergentes. As células fotovoltaicas sensibilizadas com corantes (DSSCs- Dye-Sensitized Solar Cell) são da categoria de células solares de 3º geração, as quais são objeto de estudo deste trabalho⁵.

Uma DSSC é composta por dois eletrodos (um positivo e outro negativo) separados por um eletrólito. O eletrodo negativo (fotoanodo) consiste de uma pequena placa de vidro, recoberta por um substrato condutor transparente de óxido de estanho dopado (SnO_2) ou material similar. Sobre o condutor transparente é depositada uma fina camada com nanopartículas de TiO_2 e sobre esse semicondutor é depositada uma camada de sensibilizador. O sensibilizador é o elemento ativo na célula solar sensibilizada por corante, pois é ele que quando depositado na superfície das nanopartículas de TiO_2 , que consegue melhorar a absorção de luz com comprimentos de onda de 400nm a 800nm. Desta forma, o sensibilizador gera elétrons que podem ser transferidos para a banda de condução deste óxido semicondutor. Já o eletrodo positivo (contraeletrodo), consiste de uma camada de catalisador de platina ou de

material compostos à base de grafite, que é depositado sobre a parte condutora da placa de vidro. Depois de preparados os eletrodos, é feito então um sanduíche deles com o eletrólito ao centro. Este eletrólito consiste de um líquido não aquoso de acetonitrila, em que existem íons de iodo em solução ($\text{CH}_3\text{CN}/3\text{-metil-2-oxazolidinona(NMO)}$) (peso% 50:50) contendo 0,3 M LiI e 30 mM I₂)⁶. Quando a DSSC está em operação, no eletrólito há conversão de iodeto, I^- , em triiodeto, I_3^- de forma regenerativa⁷. O esquema de uma célula fotovoltaica é mostrado na Figura 1.

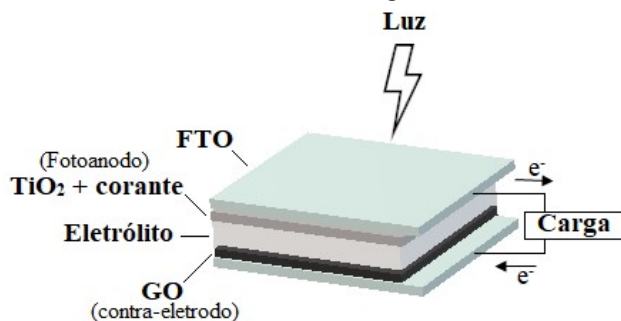


Figura 1. Esquema da célula fotovoltaica sensibilizada por corante

Em decorrência da grande busca de desenvolvimento tecnológico dessas células, muitos investimentos estão sendo realizados em compostos à base de grafite para serem utilizados como semicondutores em DSSCs. Um deste compostos pode ser, por exemplo, o óxido de grafeno (GO), que possui grandes aplicabilidades na indústria, sendo um material de fácil sintetização que apresenta excelente condutividade, estabilidade química, possuindo inúmeras aplicações e relativamente fácil de funcionalizar, potencializando assim suas propriedades^{8,9}. A síntese do GO se baseia no método desenvolvido por Hummers, em 1958 que consiste na oxidação do grafite por diferentes agentes oxidantes, tais como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o permanganato de potássio (KMnO_4), o que confere ao GO uma estrutura com grupos oxigenados em suas extremidades (hidroxilas, carbonilas e grupamentos epóxi), resultando em defeitos estruturais¹⁰. Outros componentes de interesse são os semicondutores nanoestruturados, como no caso

do óxido de titânio (TiO_2), que são materiais que possuem vasta aplicabilidade devido a propriedade fotocondutora. É um óxido metálico, semicondutor do tipo n, com alta estabilidade química, baixo custo, não tóxico, alta atividade fotocatalítica e alta eficiência de conversão fotoelétrica. O TiO_2 apresenta três fases polimórficas anatase, rutilo e brookita, e suas propriedades físico-químicas tornam esse material um excelente conversor de energia solar¹¹. A forma comercial do TiO_2 é conhecida por P25, que possui em sua composição as fases anatase e rutilo, sendo bastante adotada na fabricação de células solares sensibilizadas por corante por ser uma fonte relativamente barata de nanopartículas de TiO_2 ¹². O emprego de TiO_2 nanoparticulado na forma de filme de 2 a 50 nm apresenta boa absorção de luz ultravioleta na faixa entre 350-380nm. Porém, a luz solar contém 5% da saída espectral na região de UV e 45% é luz visível¹⁰. Com a finalidade de aumentar a absorção espectral de TiO_2 na região visível, é utilizada então a sua dopagem com um sensibilizador. Em que, o sensibilizador aumenta o caminho óptico da camada e resulta na conversão da energia luminosa em eletricidade através do evento de transferência de elétrons entre o corante (sensibilizador) e o óxido metálico, transformando-se em células solares com alta eficiência de geração de fotocorrente¹³⁻¹⁵. As atuais DSSCs apresentam na composição do sensibilizador, metais pesados a base de complexos bipyridínicos de Ru II, que são poluentes ao meio ambiente e de alto custo.

A partir desse viés, desenvolveu-se neste trabalho a síntese do GO e TiO_2 , para produção de filmes finos aplicáveis em células solares sensibilizadas por corante a base de antocianinas obtidas do extrato da jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba*), encontrada com abundância no Centro-Oeste brasileiro a qual auxilia na absorção de luz visível. O desenvolvimento e modificações de rotas sintéticas e de processamento do GO, TiO_2 e dos sensibilizadores nas DSSCs, podem melhorar significativamente a densidade de corrente e a eficiência de conversão de energia devido ao aumento da adsorção do corante, à redução da resistência à transferência de carga e à taxa de transporte de elétrons, aumentando assim a densidade de corrente^{16,17}. O fundamento deste trabalho está voltado na diminuição

dos custos dos materiais componentes de células solares sensibilizadas, propondo novos materiais e novos processamentos de alguns deles. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi a síntese do GO e do TiO_2 e a extração das antocianinas da jabuticaba, componentes estes que podem ser utilizados, respectivamente, como fotoanodo e contra-eletrodo sensibilizado em células solares sensibilizadas por corante. A caracterização estrutural e óptica destes materiais foram realizadas através das técnicas de difração de raios X (DRX), espectroscopia de infravermelho (FT-IR) e espectroscopia de UV-vis, visando, assim, direcionar a aplicabilidade destes materiais nas DSSCs. Além disso, a comparação entre o TiO_2 sintetizado e o P25 comercial também foi fonte deste estudo.

Procedimento Experimental

PREPARAÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO

O óxido de grafeno (GO) foi obtido a partir de 2g de pó de grafite e 1g de nitrato de sódio, que foram adicionados a um balão de fundo redondo previamente resfriado com 46 mL de ácido sulfúrico concentrado, sob agitação. Em seguida, 6 g de permanganato de potássio foram adicionados lentamente à suspensão. A taxa da adição foi cuidadosamente controlada para evitar que a temperatura da suspensão excedesse 20 °C, até o permanganato ser adicionado. O banho de gelo foi então removido e a temperatura da suspensão foi mantida em 35°C durante 1 hora. No decorrer da reação, formou-se uma suspensão cinza acastanhada e com efervescência decrescente. Ao final de 1 hora, 92 mL de água destilada foram lentamente adicionados nesta suspensão, ocasionando uma efervescência violenta, com o aumento da temperatura para 98°C, mantendo-se nesta temperatura durante 15 minutos. Diluiu-se a suspensão com adição de 280 mL de água destilada quente (90 °C), com posterior inserção de 24 mL de peróxido de hidrogênio 3%, com o objetivo de reduzir o permanganato residual e o dióxido de manganês em sulfato de manganês solúvel incolor, com a obtenção de uma mistura com coloração marrom-amarelado, mantida

em repouso por 24 horas. A suspensão foi centrifugada e lavada com água destilada até o pH do sobrenadante ficar próximo a 7. O precipitado (GO sólido) foi obtido após centrifugação e secagem na mufla a 90°C.

SÍNTESE DO DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂)

O método de coprecipitação foi utilizado para a síntese do dióxido de titânio. Inicialmente, pesou-se 1,1775 g do precursor TiOSO₄, e em seguida, foi preparada uma solução aquosa com concentração de 0,25 mol/L, obtendo-se uma suspensão de coloração branca, mantida sob agitação e aquecimento a 55°C, até total solubilização. Em seguida, o agente mineralizador NH₄OH (1,0 mol/L) até pH 7, formando-se uma suspensão de coloração branca. Após isto, a solução resultante foi centrifugada e lavada com água destilada, até pH 7, e o precipitado foi seco em estufa a 80 °C. Por fim, calcinou-se o material obtido em mufla a 400°C por 3 horas, para a formação da fase de interesse.

EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS DA JABUTICABA (MYRCIARIA CAULIFLORA):

A coleta das jabuticabas foi realizada no mês de setembro, foram levadas para o laboratório, retirou-se o miolo, a casca foi limpa em água corrente e levada a estufa durante 48 horas em temperatura de 40 °C. Após isto, 40,0125g de cascas foram picadas em pedaços menores e colocadas em solução de etanol: ácido clorídrico, com 90%: 10% (v/v), respectivamente. A solução contendo a casca foi macerada e reservada em um frasco âmbar envolto com papel alumínio, e durante 5 dias ficou reservada na geladeira fora do abrigo de luz. Posteriormente, filtrou-se a mistura, e foi obtido um corante de coloração roxa. O extrato obtido foi transferido novamente ao frasco âmbar com as condições anteriores.

CARACTERIZAÇÃO

Os materiais sintetizados foram caracterizados por difração de raios X (DRX), espectroscopia de UV- vis, cálculo de Scherrer e espectroscopia de infravermelho. Utilizou-se difração de Raios X para a verificação da

formação da fase de interesse do óxido de grafeno e do TiO₂, bem como a comparação dele com o comercial (P25). O tamanho médio de cristalito foi calculado utilizando-se a equação de Scherrer. Os difratogramas foram obtidos em um difratômetro Siemens D-5000, com radiação Cu K α e um monocromador de LiF 100 com as amostras na forma de pó. Esses difratogramas foram comparados com os padrões do arquivo ICDD (International Centre for Diffraction Data).

Nas análises dos pós por espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) utilizou-se um espectrofotômetro de feixe duplo Shimadzu, modelo UV 1650. Adaptou-se um porta amostra para a inserção dos pós e foi usado o sulfato de bário (BaSO₄) como material de referência. A partir dos espectros de reflectância, determinou-se a energia da banda proibida (*band gap*) dos pós obtidos, utilizando-se a equação proposta por Wood e Tauc.

Para as caracterizações na região do infravermelho (FT-IR) dos pós em estudo, o equipamento utilizado foi um Bruker modelo Equinox 55 programado em modo de transmitância. Para as análises dos materiais, com o auxílio de um almofariz e um pistilo, esses foram desaglomerados e, em seguida, misturados com brometo de potássio (KBr), previamente secos, e então os materiais foram conformados em pastilhas, sendo realizada a análise.

Resultados e Discussões

O óxido de grafeno (GO), TiO₂ e P25 foram caracterizados por DRX, obtendo-se as fases cristalinas de interesse. Através da análise dos difratogramas (Figura 2a-b) constatou-se que em todas os materiais obtiveram a fase de interesse. No caso do TiO₂ e P25, obtiveram-se as fases anatase e rutilo de acordo com as fichas cristalográficas ICDD 21-1272 e ICDD 21-1276, respectivamente (Figura 2). Para o GO, a fase também foi obtida, de acordo com a ficha ICDD 25- 0284 (Figura 3). Os índices de Miller estão representados para todos os picos nos difratogramas.

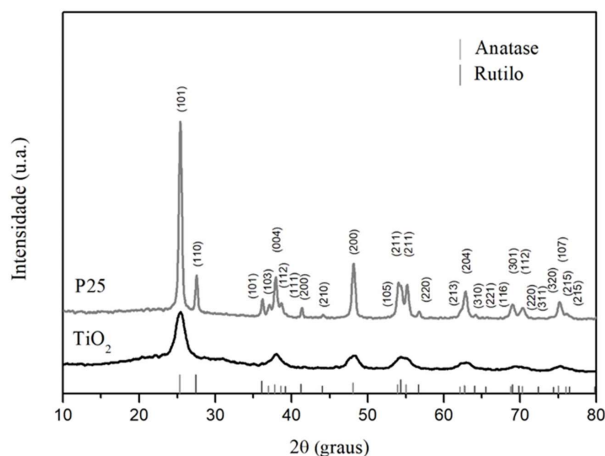


Figura 2. Difratomogramas do P25 e TiO₂.

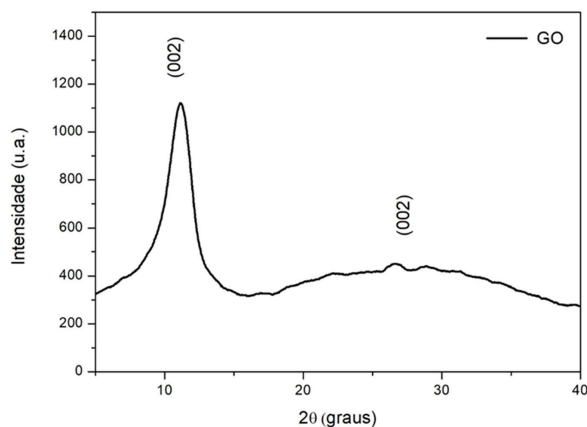


Figura 3. Difrátograma do óxido de grafeno.

Os tamanhos médios dos cristalitos foram calculados para todos os pós conforme a equação de Scherrer, (Equação 1):

$$t = \frac{0,9 \lambda}{(\sqrt{\beta_m^2 - \beta_s^2}) \cos \theta} \quad (1)$$

em que, t é o tamanho dos cristais, λ o comprimento de onda do feixe de raios X do equipamento, β_m e β_s a largura em radianos dos picos de difração medidos à meia altura da amostra e do padrão de sílica, respectivamente¹⁸.

Para os cálculos de tamanho médio de cristalito (Tabela 1), utilizou-se a largura à meia altura do pico de difração de maior intensidade das amostras. Para o TiO₂ e P25, (Figura 2) foram utilizados os picos com índices de Miller (101) e para o GO o pico com índice de Miller (002), em que para todos os materiais, foram obtidos nanopartículas, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Tamanho médio dos cristalitos.

Material	Tamanho de Cristalito (nm)
TiO ₂	4,63
P25	16,42
GO	4,01

Para a confirmação estrutural do TiO₂, P25 e GO utilizou-se a espectroscopia de infravermelho. Os espectros de infravermelho para o TiO₂ sintetizado e P25 são apresentados na Figura 4, com as principais bandas de absorção na região de 450- 4000 cm⁻¹.

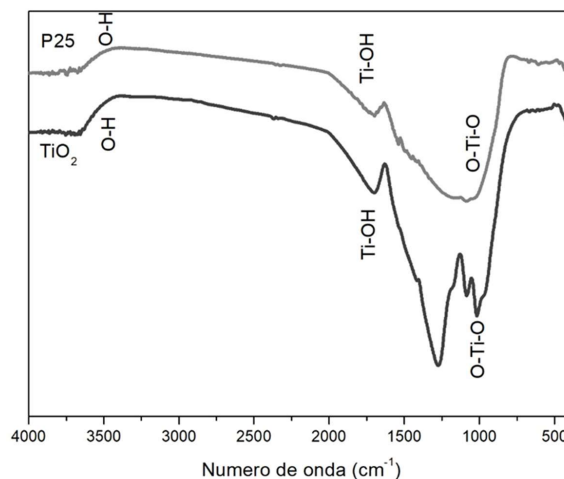


Figura 4. Espectro de infravermelho do P25 e TiO₂.

Na Tabela 2, verificam-se as principais frequências vibracionais (em cm⁻¹) para as as ligações presentes no TiO₂ e P25, com a presença de ligações hidroxilas de superfície, Ti-OH e O-Ti-O em ambos os espectros, visualizando-se a obtenção dos compostos de interesse.¹⁹⁻²¹

Tabela 2. Frequências vibracionais das ligações presentes no TiO₂ e P25.

Material	Número de Onda (cm ⁻¹)		
	O-H	Ti-OH	O-Ti-O
TiO ₂	3684,0	1705-1273,0	1083,9-667,3
P25	3674,3	1710-1537,2	1087,8-432,0

A composição dos grupos orgânicos do GO foi avaliada por espectroscopia no infravermelho (Figura 5), com regiões características do GO em: 1235 cm⁻¹ grupos funcionais epóxi (C–O–C), 1560 cm⁻¹ referente à hibridização sp² (C=O), a banda alargada de 3000–3500 cm⁻¹ correspondente às vibrações de estiramento O–H, picos abaixo de 900 cm⁻¹ representam uma assinatura estrutural muito complexa²². Assim, os dados do FT-IR verificam a existência de grupos epoxi no GO e demonstram que os grupos –C=O e –OH estão presentes, conforme a literatura²³.

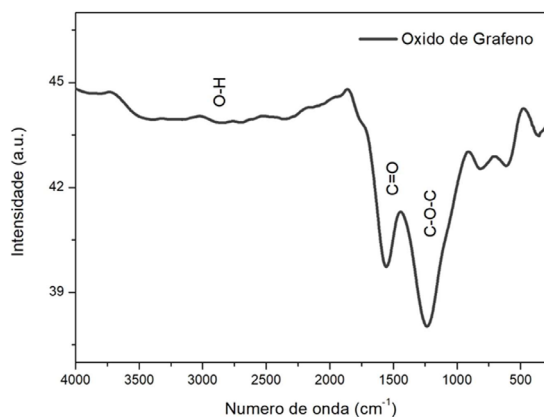


Figura 5. Espectro de infravermelho do GO.

A energia da banda proibida (*band gap*) (E_{gap}) pode ser estimada a partir da espectroscopia de absorção na região do ultravioleta- visível (UV-vis). A partir dos espectros de reflectância difusa se estabelece a energia da banda proibida (*band gap*) para o TiO₂ (Figura 6), P25 (Figura 7) e GO (Figura 8), utilizando-se a Equação 2, proposta por Wood e Tauc:

$$h\nu\alpha \propto (h\nu - E_{\text{gap}})^2 \quad (2)$$

em que, α é a absorbância, ν a frequência, h a constante de Planck e E_{gap} a energia do *band gap* óptico²⁴.

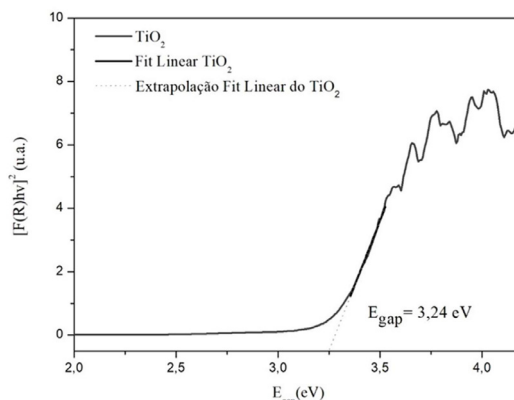


Figura 6. Reflectância difusa para o TiO₂.

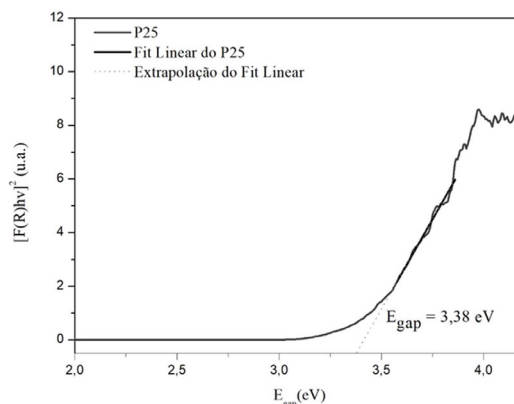


Figura 7. Reflectância difusa para o P25.

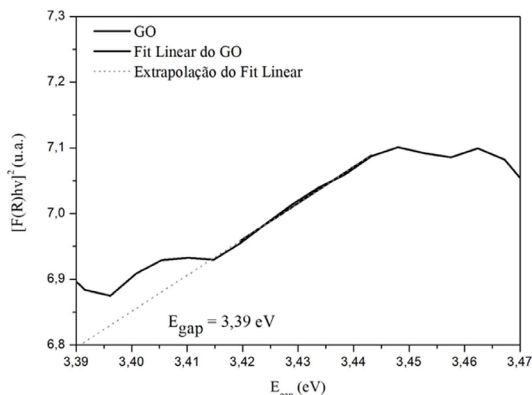


Figura 8. Reflectância difusa para o GO.

Verifica-se que o band gap óptico (E_{gap}) para todos os materiais em estudo estão na faixa dos semicondutores com absorção de luz na região UV (Figuras 9 e 10).

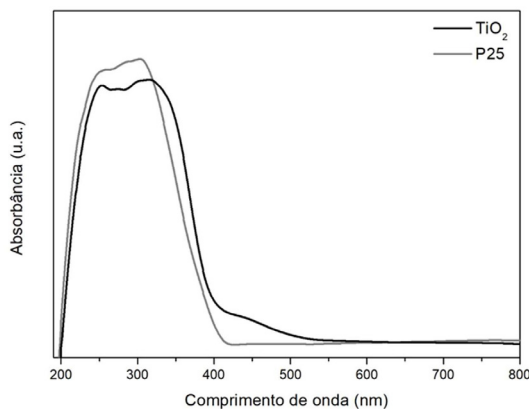


Figura 9. Espectros UV- vis para o TiO_2 e P25.

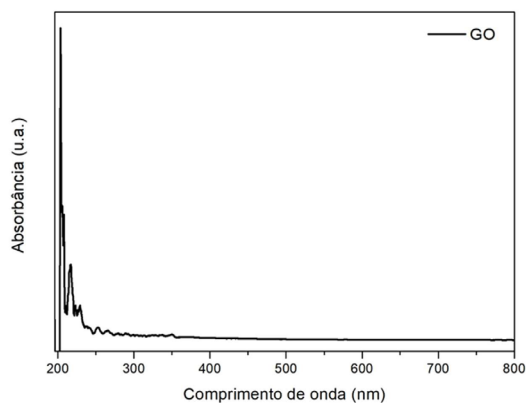


Figura 10. Espectros UV- vis para o GO.

A análise do E_{gap} destes materiais é de grande importância para que os mesmos possam ser posteriormente aplicados em células fotovoltaicas. A obtenção de maior E_{gap} para o GO em relação ao TiO_2 e P25 é satisfatório para a aplicação nas DSSCs, pois evidencia que as bandas do contra eletrodo (GO) podem ultrapassar a fronteira da banda de condução do fotoanodo ($\text{TiO}_2/\text{P25}$), o que facilita a injeção de cargas fotogeradas na banda do fotoanodo^{25, 26}.

A caracterização das antocianinas obtidas a partir do extrato de jabuticaba foi realizada em um UV-vis em pH

1,0 e 4,5 e em 510 nm, comprovando extração com êxito, porém os espectros não serão demonstrados nesse trabalho. Já as absorções na faixa do ultravioleta para o TiO_2 e P25 em 316 nm e 301 nm, respectivamente, mostram que estes materiais realmente precisam ser sensibilizados nas DSSCs para que amplie suas faixas de absorção, demonstrando a importante função que o corante sensibilizador desempenha na célula fotovoltaica, para que possa efetivamente ocorrer a transformação de luz solar em energia elétrica.

Conclusão

Os materiais TiO_2 e GO foram sintetizados em laboratório, obtendo-se a fase de interesse. Além disso, o TiO_2 sintetizado demonstrou propriedades estruturais e ópticas semelhantes ao material comercial (P25), ambos com estrutura anatase e rutilo, e com valores de *band gap* (E_{gap}) na faixa dos semicondutores, com absorção na região do ultravioleta, sendo estes obtidos por métodos relativamente simples e de baixo custo. Com base nas propriedades estruturais e ópticas verifica-se que os pós P25/ TiO_2 sensibilizados por antocianinas extraídas da jabuticaba podem ser aplicados como fotoanodos e o GO como contra- eletrodo nas células fotovoltaicas sensibilizadas com corantes. E que realmente se faz necessário sensibilizar o $\text{TiO}_2/\text{P25}$ com corante, para que os mesmos possam absorver na região do visível. Os materiais desenvolvidos neste trabalho, poderão ser aplicados em protótipos e futuramente poderão ser utilizados como células fotovoltaicas em empresas, residências, hospitais, escolas, etc. como fonte de energia limpa e de baixo custo para a população.

Referências

1. Sonai, G. G.; Melo JR, M. A.; H. B. Nunes, J. H. B.; Megiatto JR, J. D.; Nogueira, A. J. Química Nova. **2015**, 38, 10. [CrossRef]
2. Souza, A.; Aristone, F. InterEspaço. **2016**, 2, 7.[CrossRef]
3. Farias, L. A.; Pereira Júnior, V. N.; Costa, B. P.; Macedo, I. P.; Farias, A. V. A.; Campos, A. L. P. S. HOLOS. **2010**, 26, 3.[CrossRef]
4. Vitoreti, A. B. F.; Vaz, R.; Pena, A. L.; Raphael, E.; Ferrari, J. L.; Schiavon, M. A. Rev. Virtual Quim. **2017**, 9, 4.[CrossRef]

5. Raphael, E.; Silva, M. N.; Szostak, R.; Schiavon, M. A.; Nogueira, A. F. *Quim. Nova*. **2018**, 41, 1.[CrossRef]
6. Deb, S.K.; Ferrere, S.; Frank, A.J.; Geegg, B.A.; Huang, S.Y.; Nozik, A.J.; Schlichter, Z. and Zaban, A.; 26a IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, California
7. Agnaldo, J.S.; Bastos, J.B.V.; Cressoni J.C. e Viswanathan, G.M.; *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 77 - 84, (2006). [CrossRef]
8. Maurya, C. M.; Srivastava, P.; Bahadur, L. *Optical Materials*. **2016**, 52.[CrossRef]
9. Siddick, S. Z.; Lai, C. W.; Juan, J. C. *Materials Science in Semiconductor Processing*. **2018**, 74.[CrossRef]
10. Panzarasa, G.; Consolati, G.; Scavini, M.; Longhi, M.; Quasso, F. *Journal of Carbon Research*. **2019**, 5, 6. [CrossRef]
11. Dikin, D. A.; Stankovich, S.; Zimney, E. J.; Piner, R. D.; Dommett, G. H. B.; Evmenenko, G.; Nguyen, S. T.; Ruoff, R. S. *Nature*. **2007**, 448, 26. [CrossRef]
12. Shengyuan, Y.; Peining, Z.; Nair, A. S.; Ramakrishna, S. *Journal of Materials Chemistry*. **2011**, 21, 6541.[CrossRef]
13. Al-Attafi, K.; Nattestad, A.; Wu, Q.; Ide, Y.; Yamauchi, Y. *Chemical Communications*. **2018**, 54.[CrossRef]
14. Gu, P.; Yang, D.; Zhu, X.; Sun, H.; Li, J. *Chemical Physics Letters*. **2018**, 693.[CrossRef]
15. Zhao, J.; Wu, J.; Zheng, M.; Huo, J.; Tu, Y. *Electrochimica Acta*. **2015**, 156.[CrossRef]
16. Tang, Q.; Wang, X.; Yang, P.; He, B. *Angew. Chem. Int*. **2016**, 55.[CrossRef]
17. Ghann, W. E.; Kang, H.; Uddin, J.; Chowdhury, F. A.; Khondaker, S. I.; Moniruzzaman, M.; Kabir, M. H.; Rahman, M. M. *Chemengineering*. **2019**, 3, 7.[CrossRef]
18. Callister, W.D.; *Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma abordagem integrada*, 4ª ed., LTC Editora: São Paulo, **2014**.
19. Costa, A. C. F. M.; Vilar, M. A.; Lira, H. L.; Kiminami, R. H. G. A.; Gama, L. *Cêramica*. **2006**, 52, 324. [CrossRef]
20. Rodrigues, E. C.; Soares, L. A.; Modenes Jr, M. A.; Sene, J. J.; Bannach, G.; Claudio T. Carvalho, C. T.; Ionashiro, M. *Eclética Química*. **2011**, 36,1. [CrossRef]
21. De Oliveira, A. H. P.; Moura, J. A. S.; De Oliveira, H. P. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. **2013**, 23, 2. [CrossRef]
22. Lee, D. W.; De Los Santos L. V.; Seo, J. W.; L. L. Felix.; Bustamante, A. D.; Cole, J. M.; Barnes, C. H. W. *J. Phys. Chem. B*. **2010**, 114. [CrossRef]
23. Aliyev, E.; Filiz, V.; Khan, M. M.; Lee, Y. J.; Abetz, C.; Abetz, V. *Nanomaterials*. **2019**, 9, 1180.[CrossRef]
24. Orhan, E.; Anicete-Santos, M.; Maurera, M. A. M. A.; Pontes, F. M.; Souza, A. G.; Andre's, J.; Beltra'n, A.; Varela, J. A.; Pizanie, P. S.; Taftf, C. A.; Longo, E. *Journal of Solid State Chemistry*. **2005**, 178. [CrossRef]
25. Wu, J.; Lan, Z.; Lin, J.; Huang, M.; Huang, Y.; Fan, L.; Luo, G.; Lin, Y.; Xie, Y.; Wei, Y. *Chem. Soc. Rev*. **2017**, 46.[CrossRef]
26. López, R.; Gómez, R. J. *Sol-Gel Sci. Technol*. **2012**, 61.[CrossRef]

Camila dos S. de Jesus¹,
Kellen C. M. Borges^{2*}, Nicole
C. S. da Silva¹, Murillo H.
de M. Rodrigues¹, Maria R.
de C. Santos¹, Rosana de
F. Gonçalves^{1,3} & Mário G.
Júnior^{1,2}

¹ UFG-Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Química- RC, CEP 75.704– 020, Catalão, GO, Brasil

² UFG-Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física- RC, CEP 75.704– 020, Catalão, GO, Brasil

³ UNIFESP-Universidade Federal de São Paulo, Rua Prof. Artur Riedel, 275, CEP 09972-270, Diadema, SP, Brasil

* E-mail: kellenquim@gmail.com