



## Desenvolvimento de células solares flexíveis baseadas em pontos quânticos de carbono

Thiago Monteiro de Souza<sup>1\*</sup>(PG), Moisés do Amaral Amâncio<sup>1</sup>(PQ), Mark Dany Veloso Júnior<sup>1</sup>(PG), Walter Ricardo Brito<sup>1\*\*</sup>(PQ)

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas, Divisão Central Analítica, Laboratório de Bioeletrônica e Eletroanalítica, Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, 69080-900, Manaus AM, Brasil.

\* [monteiro.souza@ufam.edu.br](mailto:monteiro.souza@ufam.edu.br)

\*\* [wrbrito@ufam.edu.br](mailto:wrbrito@ufam.edu.br)

**Palavras-Chave:** Pontos Quânticos de Carbono, Células Solares, Material Fotoativo.

### Introdução

Os pontos quânticos de carbono (CQDs) surgiram nos últimos anos como uma classe promissora de nanomateriais, despertando grande interesse científico e tecnológico devido às suas propriedades únicas. Diferentemente de outros nanomateriais semicondutores que podem apresentar alta toxicidade, os CQDs destacam-se por serem considerados de baixa toxicidade, apresentando ainda elevada fotoluminescência e notável biocompatibilidade. Essas características tornam-nos extremamente versáteis e adequados para uma ampla gama de aplicações. Os CQDs podem atuar como materiais fotoativos, aproveitando sua habilidade em absorver radiação solar em uma ampla faixa espectral, o que contribui para a geração de elétrons e, conseqüentemente, para a produção de energia elétrica. Essa propriedade abre caminhos para o desenvolvimento de dispositivos fotovoltaicos mais eficientes, econômicos e ambientalmente sustentáveis, em comparação às tecnologias convencionais. Este trabalho tem como objetivo a síntese de pontos quânticos de carbono (CQDs) destinados à aplicação como camada fotoativa em células solares híbridas. A investigação concentra-se na análise das propriedades ópticas desse nanomaterial [1].

### Material e Métodos

Os CQDs foram sintetizados a partir do fruto de *Euterpe precatoria* (açai). Inicialmente, o pigmento foi obtido em água sob aquecimento a 80 °C por 1 hora e, em seguida, liofilizado por 72 horas para remoção da umidade residual. Para a síntese, empregou-se o método solvotermal, utilizando 2 g do pigmento seco e 20 mL de tolueno. A mistura foi colocada em autoclave de aço inox com recipiente interno de teflon e submetida a aquecimento a 180 °C durante 12 horas, promovendo a formação dos CQDs.

As células solares foram montadas em ambiente não controlado. Os substratos de ITO foram limpos e a camada de TiO<sub>2</sub> foi eletrodepositada em 1 cm<sup>2</sup> aplicando-se 10 V por 5 s. Sobre ela, os CQDs foram depositados por Spin-Coating (100 µL, 1000 rpm, 5 s). A camada de transporte de buracos à base de Spiro-OMETAD foi aplicada da mesma forma. Por fim, o contato superior de ouro foi depositado por Sputtering sob vácuo por 6 minutos.

### Resultados e Discussão

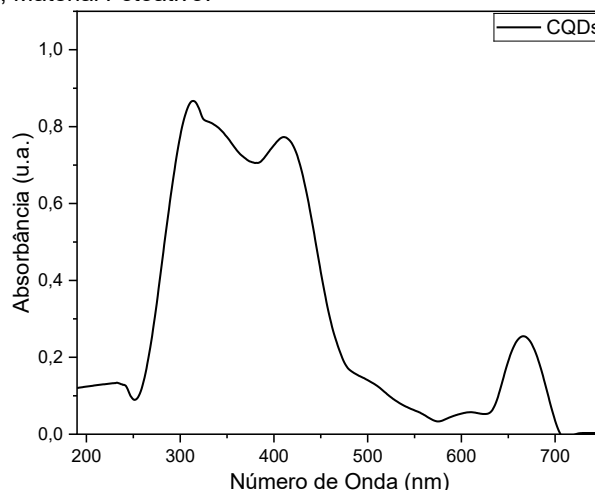


Figura 01. Espectro UV-Vis dos CQDs.

O espectro de absorvância dos CQDs apresentado na Figura 01 revela duas principais regiões de absorção. A primeira, entre 250 e 375 nm, é atribuída às transições eletrônicas do tipo  $\pi-\pi^*$ , associadas à hibridização  $sp^2$  das ligações duplas carbono-carbono. A segunda, entre 376 e 705 nm, corresponde às transições  $n-\pi^*$ , relacionadas à hibridização  $sp^3$  de ligações entre átomos de carbono e grupos funcionais contendo nitrogênio ou oxigênio [2].

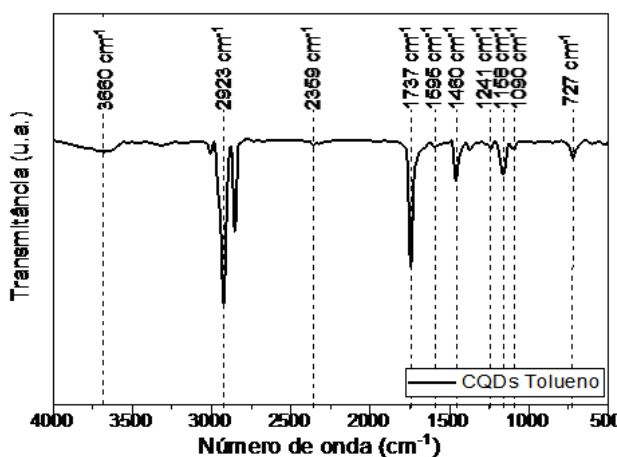
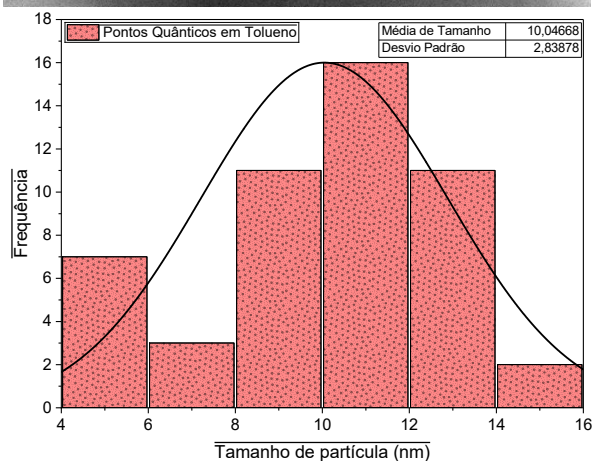
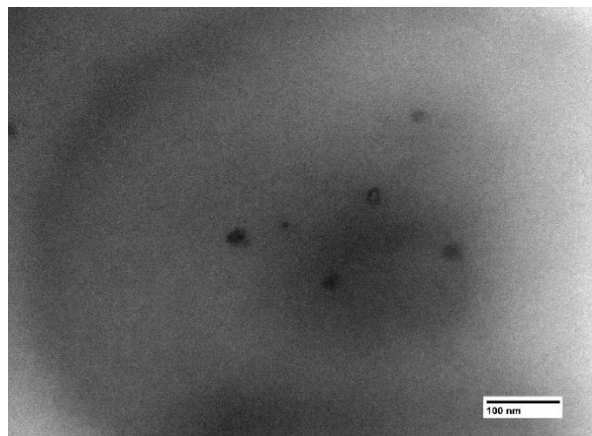


Figura 02. Espectro FTIR dos CQDs.

No espectro de FTIR dos CQDs demonstrado na figura 02, observou-se uma banda larga em 3660 cm<sup>-1</sup>,

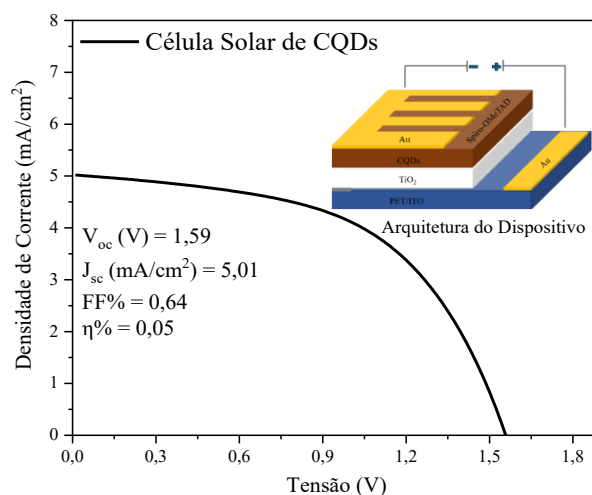
atribuída ao estiramento da ligação O–H, indicando a presença de grupos hidroxila, enquanto um pico em  $2923\text{ cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento da banda C–H. Além disso, sinais em  $1737\text{ cm}^{-1}$  e  $1595\text{ cm}^{-1}$  confirmam a existência de ligações C=O e C=C, respectivamente. Uma banda em  $1158\text{ cm}^{-1}$  foi associada à vibração das ligações C–O, sugerindo a presença de grupos carboxila, e um pico em  $727\text{ cm}^{-1}$  foi observado devido ao estiramento C=C, relacionado a transições  $\pi \rightarrow \pi^*$  em estruturas  $sp^2$  [3].



**Figura 03.** a) Microscopia Eletrônica de Transmissão dos CQDs; b) Histograma de tamanho das partículas dos CQDs.

A figura 03 (a) apresenta as imagens obtidas por TEM revelaram que os CQDs apresentaram morfologia predominantemente esférica, com alta dispersão e sem evidência de aglomeração significativa, indicando boa estabilidade coloidal.

Na imagem 03 (b) é apresentada a análise estatística das dimensões das partículas mostrou que os CQDs possuíam tamanhos variando aproximadamente entre 2 e 10 nm, com tamanho médio em torno de 10 nm [4].



**Figura 04.** Curva J-V da célula solar de CQDs.

O melhor dispositivo apresentou desempenho fotovoltaico caracterizado por uma densidade de corrente de curto-circuito ( $J_{sc}$ ) de aproximadamente  $5,01\text{ mA/cm}^2$ , tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) de  $1,59\text{ V}$ , fator de preenchimento ( $FF$ ) de  $0,64$  e eficiência de conversão ( $\eta$ ) em torno de  $0,05\%$ , conforme obtido a partir da curva de densidade de corrente versus tensão (I–V) [5].

## Conclusões

Os CQDs foram obtidos com sucesso e apresentaram ampla absorção na região visível, conforme espectroscopia UV-Vis, atribuída às transições  $\pi \rightarrow \pi^*$  e  $n \rightarrow \pi^*$ , destacando seu potencial em células solares. A análise por FTIR revelou grupos funcionais de superfície, como O–H, C–H, C=C e C–O, indicando funcionalidades oxigenadas importantes para a estabilidade coloidal e a modulação das propriedades ópticas.

As células solares desenvolvidas apresentaram eficiência de conversão de  $0,05\%$  segundo a caracterização fotoelétrica. Embora modesta em comparação com dispositivos de referência, os resultados demonstram o potencial dos CQDs como materiais promissores para energia solar, devido ao seu baixo custo, biocompatibilidade e versatilidade sintética. Este trabalho foi renovado para mais um ano, nessa fase será apenas para aumentar a eficiência das células solares.

## Agradecimentos

A UFAM, a FAPEAM pelo suporte financeiro, ao grupo de pesquisa LABEL, coordenado pelo Prof. Dr. Walter Brito, ao CMABio-UEA e a Central Analítica do IFAM-CMC, campus Manaus Centro.

## Referências

- [1] CAROLAN, D.; ROCKS, C.; PADMANABAN, D. B.; MAGUIRE, P.; SVRCEK, V.; MARIOTTI, D. Environmentally friendly nitrogen-doped carbon quantum dots for next generation solar cells. *Sustainable Energy and Fuels*, v. 1, n. 7, p. 1611–1619, 2017. DOI: 10.1039/c7se00158d.
- [2] JAVED, N.; O'CARROLL, D. M. Carbon Dots and Stability of Their Optical Properties. *Particle and Particle Systems Characterization*, v. 38, n. 4, p. 1–12, 2021. DOI: 10.1002/ppsc.202000271.
- [3] AMANCIO, M. do A.; BARCELAY, Y. R.; GANDARILLA, A.; SALES, R. R.; DE SOUZA, T. M.; NOBRE, F. X.; RAPHAEL, E.; BRITO, W. R. Enhanced Grätzel Solar Cells Using Carbon Nanodots and Natural Dye. *ACS Physical Chemistry Au*, 2024. DOI: 10.1021/acspchemau.4c00080.
- [4] KHOJASTEH, H.; AHMADIAZAR, S.; ASPOUKEH, P.; ABDULRAHMAN, A. F.; HAMAD, S. M. Rapid synthesis of carbon

quantum dots using organic solvents via combustion method and their role in enhancing polyurethane elasticity. *Journal of Materials Science*, v. 60, n. 11, p. 5125–5136, 2025. DOI: 10.1007/s10853-025-10752-6.

[5] GUO, S.; LIU, K.; RAO, L.; HU, X.; CHEN, Y. Preparation of Perovskite Solar Cells in the Air: Degradation Mechanism and Prospects on Large-Area Fabrication. *Chinese Journal of Chemistry*, v. 41, n. 5, p. 599–617, 2023. DOI: 10.1002/cjoc.202200442.