



APLICAÇÃO DE PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO EM MATRIZES POLIMÉRICAS PARA A ESTABILIZAÇÃO DE PEROVSKITAS

Stephany da S. Mendonça¹; Luiz Felipe da Hora¹; Dulce Maria de A. Melo¹; Ângelo Anderson S. de Oliveira¹; Aisha V. S. Pereira²

¹ Laboratório de Tecnologia Ambiental (LABTAM/UFRN), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-900, Natal RN

² Laboratório de Tecnologias Energéticas (LABTEN/UFRN), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-900, Natal RN

Palavras-Chave: Copolímero, Célula Solar, Carbon Quantum Dots.

Introdução

A Agência Internacional de Energia (IEA) relatou que em 2023 o setor energético emitiu 37,4 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, um aumento de 1,1% em relação ao ano anterior. Esse crescimento é amplamente atribuído à dependência de combustíveis fósseis como principal fonte de energia (IEA, 2024; AZAM *et al.*, 2023; RAHMAN *et al.*, 2024).

Entre as fontes renováveis, a energia solar se destaca pela abundância e acessibilidade, com um potencial estimado em quatro milhões de exajoules, dos quais cerca de 50.000 EJ podem ser convertidos em eletricidade (KABIR, *et al.*, 2018; BRIZOLA, 2023). Recentemente, os dispositivos fotovoltaicos, como as perovskitas, têm se destacado por oferecerem uma fonte inesgotável de energia, baixo custo de produção, menor impacto ambiental e alta eficiência, que evoluiu de 3,8% para 25% nos últimos 15 anos (BACK *et al.*, 2016).

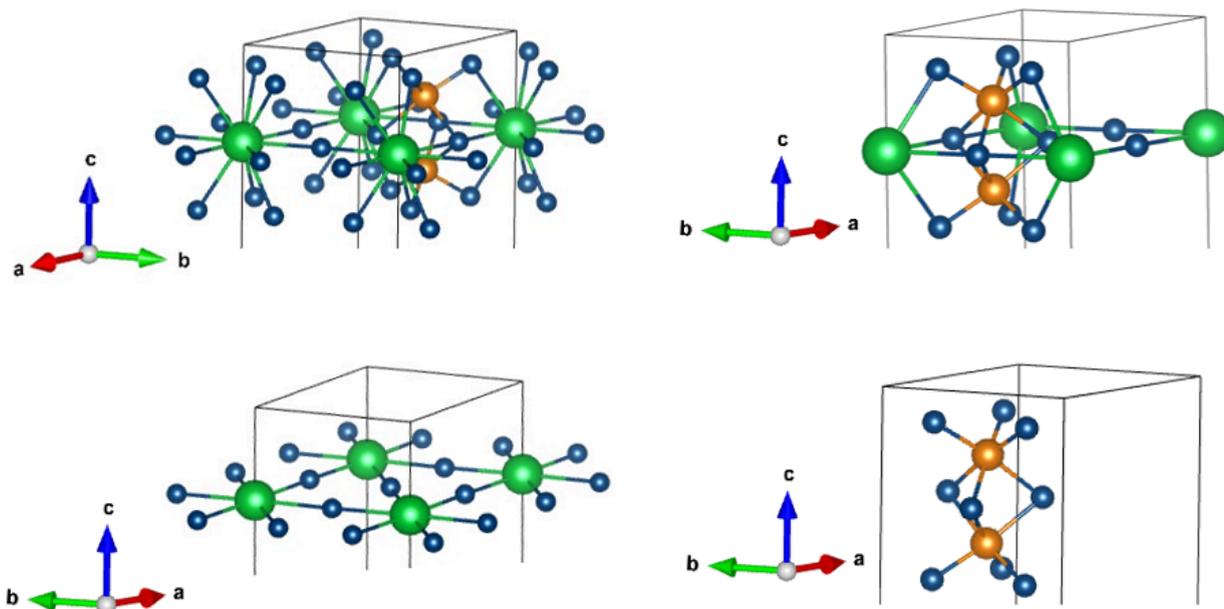
As perovskitas fazem parte de um sistema fotovoltaico conhecido como célula solar (SC), composto por várias camadas, incluindo um material condutor transparente (como FTO ou ITO), ETL, HTL, perovskita e metais de transição. Na célula solar de perovskita (PSC), a camada de perovskita é crucial na conversão de energia solar em eletricidade, atuando como fotoabsorvedora (SAYED *et al.*, 2023).

Atualmente, as SCs são classificadas em três gerações, com a terceira geração se destacando por sua alta eficiência e baixo custo para aplicações industriais. Esta geração inclui tecnologias como células orgânicas, pontos quânticos, DSSC e perovskitas, que se destacam pela inovação em materiais, especialmente as perovskitas, que oferecem alta conversão fotoelétrica, flexibilidade de produção e custo reduzido (SYED *et al.*, 2023; KODATI *et al.*, 2020; KHATOON *et al.*, 2023).

A terceira geração de SCs recebe grande atenção do mercado atual devido ao desenvolvimento de perovskitas, as quais apresentam custo de produção reduzido, potencial auspicioso, conversão fotoelétrica, elevado coeficiente de absorção, bandgap ajustável, entre outros benefícios (KIM, *et al.*, 2021; SHARMA, *et al.*, 2022).

Os compostos de perovskita seguem a fórmula geral ABX_3 (Figura 1), onde "A" e "B" são cátions de tamanhos diferentes, e "X" é um ânion haleto (Cl, Br ou I). O cátion "A" ocupa os cantos da célula cúbica, geralmente sendo um cátion orgânico ou inorgânico de maior raio, como $CH_3NH_3^+$, Cs^+ ou Rb^+ . O cátion "B" está no centro da célula, cercado por seis ânions "X", formando um octaedro BX_6 , e geralmente é um cátion metálico, como Pb^{2+} ou Sn^{2+} . A composição da perovskita pode ser ajustada com diferentes ânions e cátions para modificar o gap de energia e absorver fótons de maior comprimento de onda.

Figura 1. Estrutura da Perovskita $Cs_3Bi_2I_9$



Fonte: Autoria própria (2024)

Embora as perovskitas tenham diversas vantagens, também apresentam instabilidades que podem acelerar sua degradação, como defeitos estruturais, umidade, oxidação e exposição à radiação UV (MAZUMDAR *et al.*, 2021). Apesar da camada ETL absorver grande parte da radiação UV, isso reduz a eficiência da luz incidente. Uma estratégia para contornar esse problema sem alterar a estrutura das unidades é o uso de materiais fluorescentes com propriedades de conversão descendente, que absorvem fótons de alta energia (UV) e os reemitem em energias mais baixas (luz visível) (MAXIM *et al.*, 2020). Isso pode melhorar a captação de luz na camada fotoabsorvente das PSCs, resultando em melhor

desempenho. Nesse sentido, os pontos quânticos de carbono (CQDs) são promissores devido às suas propriedades fluorescentes. Além disso, sua síntese de baixo custo, não toxicidade e inércia química tornam os CQDs atraentes para diversas aplicações em eletrônica, detecção e bioimagem (SEMENIUK *et al.*, 2019).

Para combater a degradação das PSCs, uma abordagem discutida na literatura é o encapsulamento com matrizes poliméricas (BRIZOLA, 2023; KHATOON *et al.*, 2023). Essas matrizes devem ser eficazes em impedir a entrada de umidade, permitir a passagem da luz visível e oferecer alta resistência à oxidação por radiação UV. Para otimizar a eficiência na conversão de energia e retardar a degradação das PSCs, este estudo propõe o encapsulamento das células solares de perovskita combinando polímeros com CQDs.

Essa abordagem não só avança a tecnologia das energias renováveis, mas também está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 2), em particular o ODS 7, que visa garantir acesso à energia limpa e acessível; o ODS 9, que promove inovação e infraestrutura sustentável; o ODS 11, que busca cidades mais sustentáveis; e o ODS 13, que enfoca a ação climática para combater as mudanças climáticas e seus impactos.

Figura 2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Abordados no Estudo.



Fonte: Autoria própria (2024)

Material e Métodos

A síntese dos copolímeros e CQDs seguiu procedimentos estabelecidos na literatura.

SÍNTESE DOS COPOLÍMEROS

Os materiais utilizados incluem ácido metacrílico (MAA), acrilato de butila (BA), metacrilato de metila (MMA), 1,1'-azobis(ciclohexanocarbonitrila) (ABNC) como iniciador, e tolueno como solvente.

Dois copolímeros, denominados P1 e P2, foram produzidos a partir de diferentes condições reacionais utilizando os monômeros BA, MMA e MAA. Para análise de conversão, foi empregada a hidroquinona. O iniciador utilizado no processo foi o ABNC.

O processo inicial da síntese, em solução, dos copolímeros foi conduzido em um balão volumétrico de 250 mL, equipado com três conexões: uma para o fluxo de N_2 , garantindo uma atmosfera inerte; uma segunda conectada a um condensador; e uma terceira acoplada a um motor de agitação mecânica. Os reagentes foram adicionados ao balão, que estava imerso em um banho de óleo aquecido previamente a $80^\circ C$ (BRIZOLA, 2023). A Figura 3 ilustra o sistema de polimerização utilizado.

Figura 3. Sistema de polimerização dos copolímeros.



Fonte: Autoria própria (2024)

A cada duas horas, uma alíquota da solução polimérica era retirada, pesada, e, em seguida, a amostra era submetida à secagem em estufa até que a massa se estabilizasse.

SÍNTESE DOS CQDs

Foram utilizados hidróxido de sódio P.A., acetona P.A., ácido clorídrico 37% P.A., e álcool etílico.

Pesaram-se 8 g de NaOH que foram misturados com 50 mL de acetona P.A sob agitação magnética intensa por 1 hora. Em seguida, a mistura foi deixada em condições ambiente por 120 horas. Posteriormente, uma solução diluída de HCl (1 Molar) foi adicionada gota a gota à mistura para neutralizar o pH. Para purificar os CQDs, a mistura foi evaporada a 100 °C e o produto obtido foi dissolvido em etanol (Figura 4). Esse processo foi repetido três vezes (MA *et al.*, 2019).

Figura 4. Teste dos CQDs com uma lanterna de luz UV.



Fonte: Autoria própria (2024)



PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE CQDS E COPOLÍMEROS

Três soluções de 0,5 mg/mL de CQDs foram preparadas e dissolvidas em 15 mL dos dois copolímeros sintetizados, além de 15 mL de solvente (tolueno). As misturas foram agitadas em um agitador supersônico por 15 minutos e, posteriormente, submetidas a análises de fotoluminescência e UV-Vis.

PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CQDS COM SOLVENTES DA PEROVSKITA

Uma solução de 20 mL com concentração de 0,5 mg/mL de CQDs foi preparada usando uma mistura de DMF e DMSO (7:3 v/v).

DEPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DE COPOLÍMERO@CQDS NAS PSCS

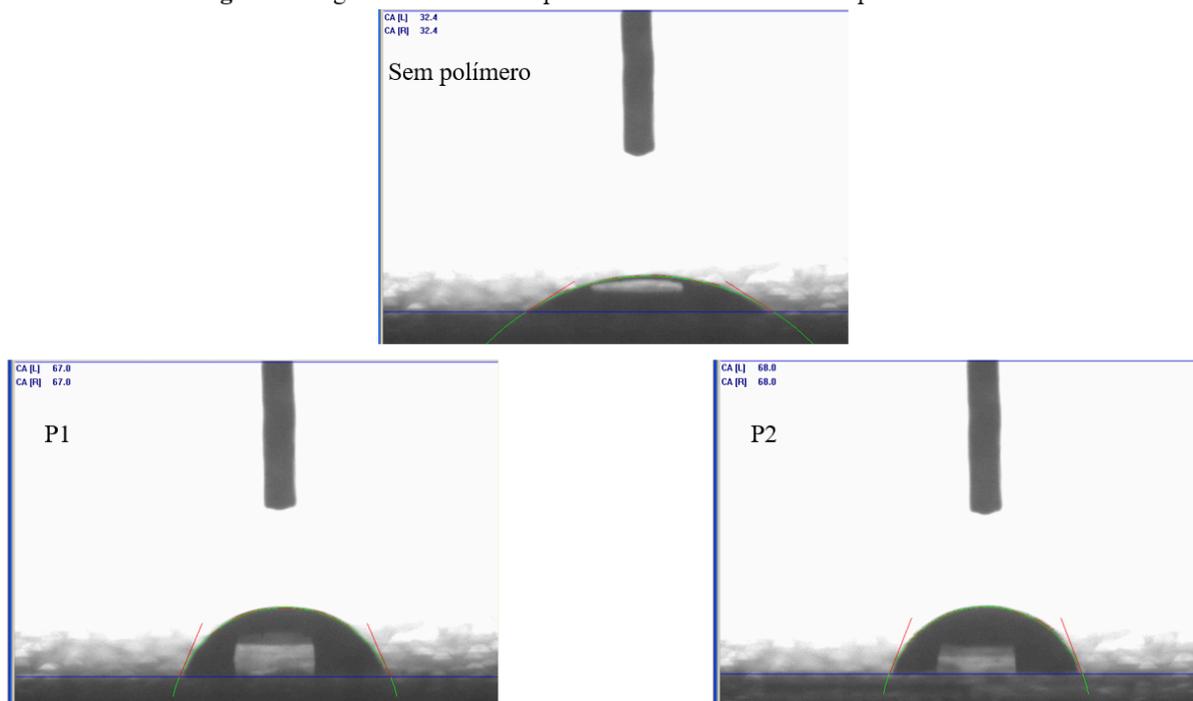
Um dos objetivos futuros deste trabalho é realizar a deposição da solução de Copolímero@CQDs sobre a PSC, com o intuito de comparar a degradação ao longo do tempo e avaliar a eficiência de conversão de energia (PCE) em três configurações: PSC sem encapsulamento, PSC encapsulada apenas com copolímero e PSC encapsulada com a solução de Copolímero@CQDs. Além disso, serão realizadas análises complementares, incluindo UV-Vis, FTIR, DRX e MEV, para caracterizar as mudanças estruturais e funcionais resultantes nas amostras. Esses procedimentos serão essenciais para avaliar a eficiência da PSC encapsulada com copolímero, tanto isoladamente quanto em combinação com CQDs.

Resultados e Discussão

Caracterização de P1 e P2

As medições do ângulo de contato são utilizadas para avaliar a hidrofobicidade de líquidos, determinado pelo ângulo formado entre a gota e a superfície da amostra testada. Quanto maior o ângulo de contato, maior é a hidrofobicidade da superfície. Em geral, materiais sem polímeros apresentam um ângulo médio de 33°. No entanto, as amostras P1 e P2 exibiram ângulos de 67,0° e 68,0°, respectivamente, indicando uma hidrofobicidade significativamente superior em comparação com materiais sem polímero. A Figura 5 ilustra a diferença observada nos ângulos de contato.

Figura 5. Ângulos de contato do porta-amostra sem e com os copolímeros P1 e P2.



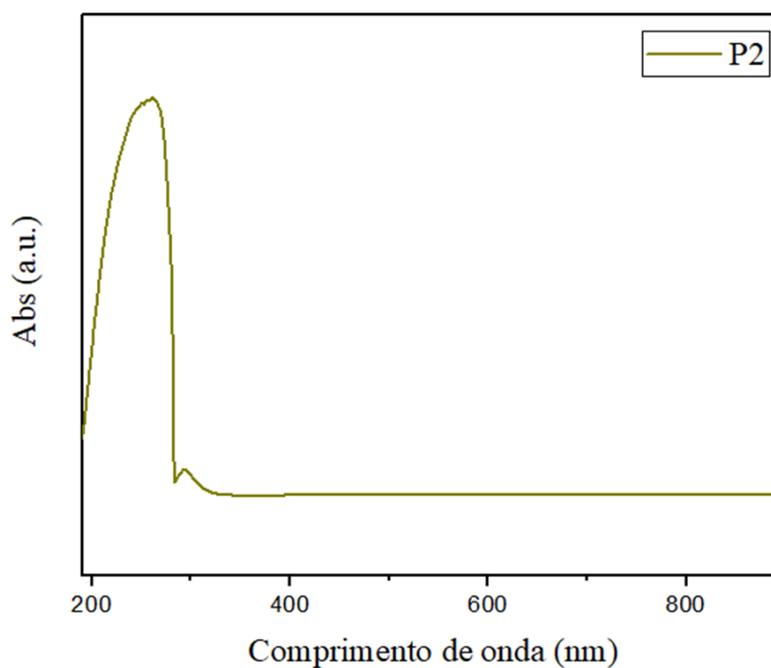
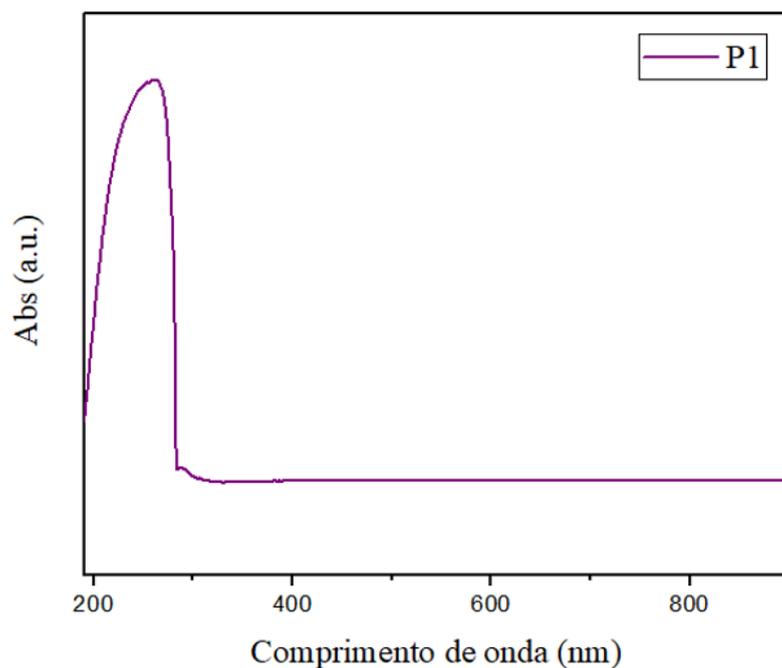
Fonte: Autoria própria (2024)

Essa característica sugere que o copolímero possui um potencial significativo como encapsulante para isolar a PSC da umidade atmosférica.

Análise de UV-Vis

Os copolímeros apresentaram uma característica física transparente, o que indica um comportamento favorável para a não absorção de radiação na faixa de comprimento de onda visível. Essa propriedade é crucial, pois permite que a eficiência de uma PSC não seja comprometida de forma significativa. Essa característica pode ser confirmada por meio do espectro de UV-Vis representado na Figura 6.

Figura 6. Espectros de UV-vis dos copolímeros P1 e P2.



Fonte: Autoria própria (2024)

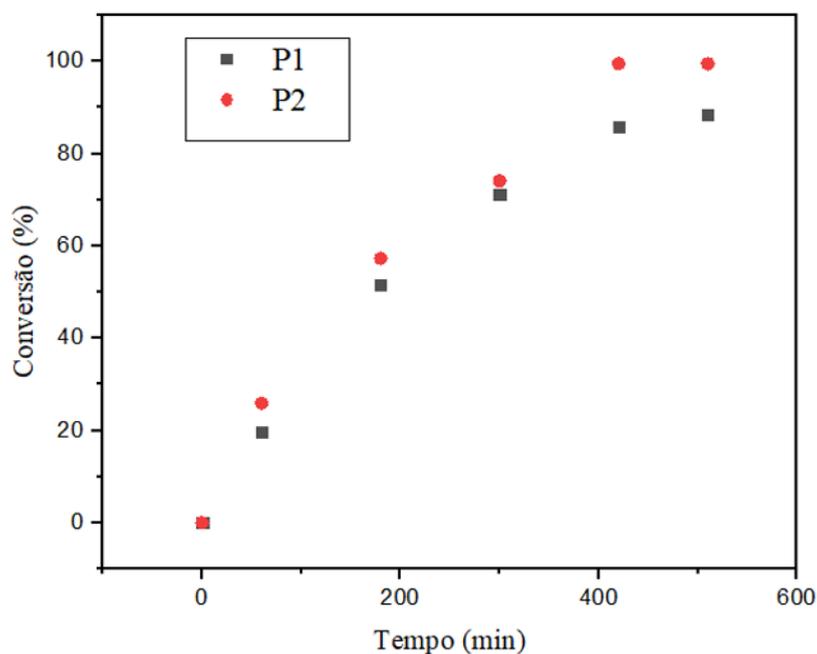
A caracterização UV-Vis dos copolímeros P1 e P2 revelou absorção na faixa de 190 a 285 nm e uma banda entre 286 e 300 nm, sugerindo a presença de reagentes como ABNC ou tolueno. Esse comportamento está alinhado com os dados disponíveis na literatura, onde as soluções desses componentes absorvem na faixa de 240 a 350 nm (BRIZOLA, 2023; KOBAN *et al.*, 2004).

Essas absorções na região do UV, a qual compreende aproximadamente de 100 a 400 nm (YOUNG *et al.*, 2015), são de particular importância, pois indicam a presença de grupos que absorvem em regiões específicas do espectro. A absorção na região do UV é crucial, pois essa faixa de comprimento de onda está associada à radiação de alta energia, que pode causar degradação da perovskita, se não for adequadamente absorvida ou bloqueada. Portanto, a capacidade dos copolímeros P1 e P2 de absorver luz UV os torna candidatos promissores para aplicações onde a proteção contra UV ou a manipulação da radiação UV são necessárias.

Conversão Polimérica

Os resultados da conversão de diferentes proporções de monômeros na produção de copolímeros revelaram uma variação significativa nas propriedades do material final, conforme esperado. As diferentes razões molares de monômeros empregadas influenciaram diretamente tanto a taxa de conversão (Figura 7) quanto a composição química dos copolímeros formados.

Figura 7. Conversão dos copolímeros P1 e P2.



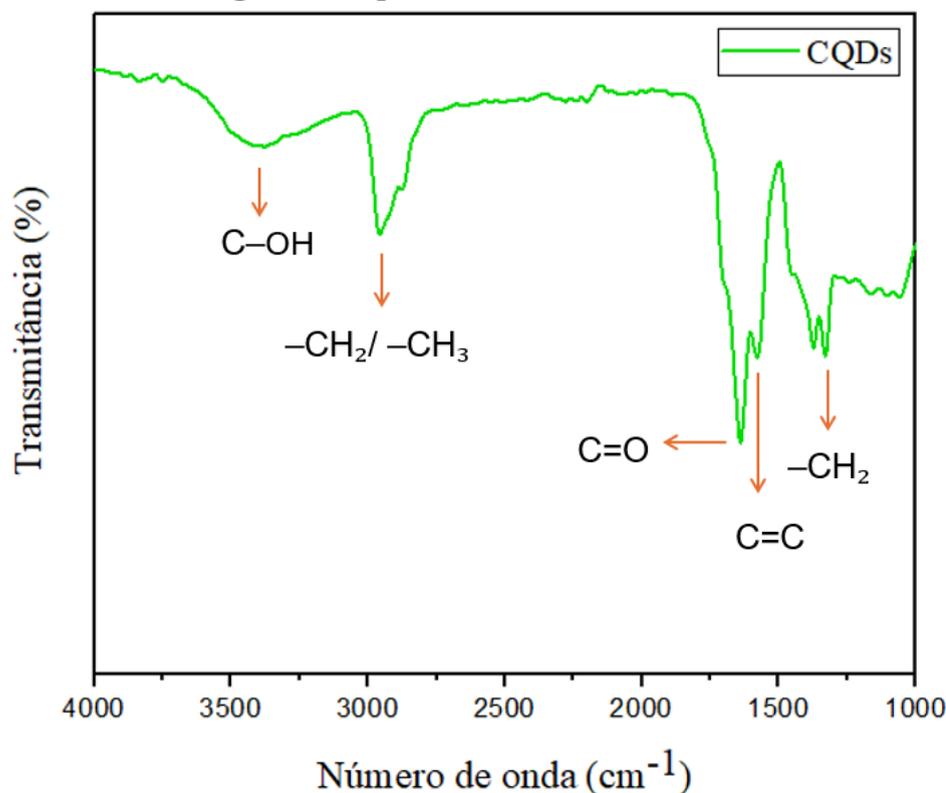
Fonte: Autoria própria (2024)

De acordo com o gráfico, P2 obteve a maior conversão no mesmo intervalo de tempo que P1. A etapa de diferenciação de polimerização entre os dois polímeros foi a adição de mais iniciador durante a produção de P2.

Caracterização dos CQDs

Os espectros de FTIR dos CQDs sintetizados mostraram diversas bandas características, indicando a presença de vários grupos funcionais na superfície dos CQDs, conforme ilustrado na Figura 8. Essa análise oferece informações cruciais sobre a composição química e a funcionalização dos CQDs.

Figura 8. Espectro de FTIR dos CQDs.



Fonte: Autoria própria (2024)

A análise espectroscópica dos CQDs revelou várias características importantes da superfície dos materiais. Uma banda ampla entre 3300-3500 cm^{-1} foi atribuída às vibrações de alongamento C-OH, indicando a presença de grupos hidroxila (-OH) nos CQDs. Esses grupos podem originar-se de precursores com oxigênio ou de oxidação superficial durante a síntese. Eles também podem formar ligações de hidrogênio, o que afeta a solubilidade e as interações dos CQDs com outros materiais.

Outra banda detectada em 2969 cm^{-1} corresponde a vibrações de alongamento C-H, sugerindo a presença de grupos alquila (-CH₃ ou -CH₂) na superfície dos CQDs. Esses grupos conferem propriedades hidrofóbicas aos CQDs, tornando-os menos afins à água e adequados para aplicações em ambientes apolares ou superfícies hidrofóbicas.



A banda em 1649 cm^{-1} foi associada a vibrações de alongamento C=O, indicando grupos carbonílicos como cetonas ou aldeídos. Além disso, a banda próxima em 1576 cm^{-1} sugere a presença de ligações C=C, típicas de sistemas insaturados ou aromáticos, indicando que os CQDs mantêm uma estrutura grafitica ou aromática, crucial para suas propriedades eletrônicas e ópticas, incluindo a fotoluminescência.

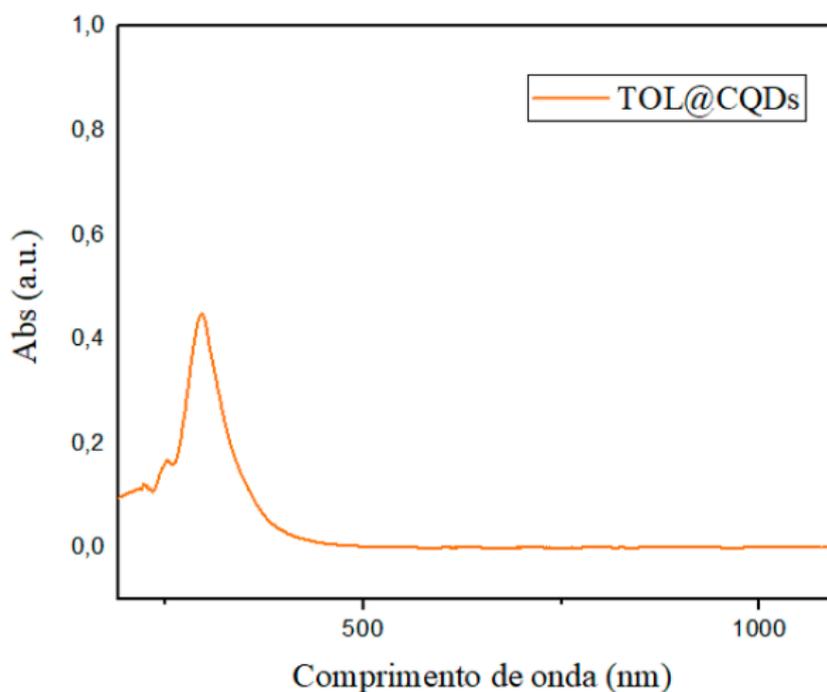
Finalmente, os picos na faixa de $1100\text{-}1460\text{ cm}^{-1}$ foram atribuídos a vibrações de deformação e alongamento das ligações C-H, reforçando a presença de cadeias hidrocarbonadas e grupos alquila, o que contribui para a alta hidrofobicidade dos CQDs.

A alta proporção de grupos funcionais hidrofóbicos, sugere que os CQDs são altamente hidrofóbicos. Essa característica é compatível com outros CQDs relatados na literatura (MA *et al.*, 2019), o que torna esses materiais interessantes para aplicações onde a interação com ambientes apolares ou superfícies hidrofóbicas é desejada, tais como aplicação em copolímeros.

Caracterização das soluções de Tolueno@CQDs, Copolímero@CQDs, DMSO@DMF@CQDs

O objetivo desta etapa é avaliar qualitativamente como os CQDs interagem com copolímeros. A análise foca em como os CQDs se comportam em diferentes solventes e matrizes poliméricas, examinando aspectos como dispersão, estabilidade e mudanças nas propriedades ópticas e mecânicas. Esses estudos visam fornecer informações para melhorar a síntese e aplicação dos compósitos copolímero@CQDs em várias tecnologias. Para iniciar a avaliação, foi realizada uma análise da interação dos CQDs com o solvente tolueno por espectroscopia UV-Vis, comparando os espectros obtidos na presença e na ausência de polímeros.

Figura 9. Espectro de UV-vis de Tolueno com CQDs.

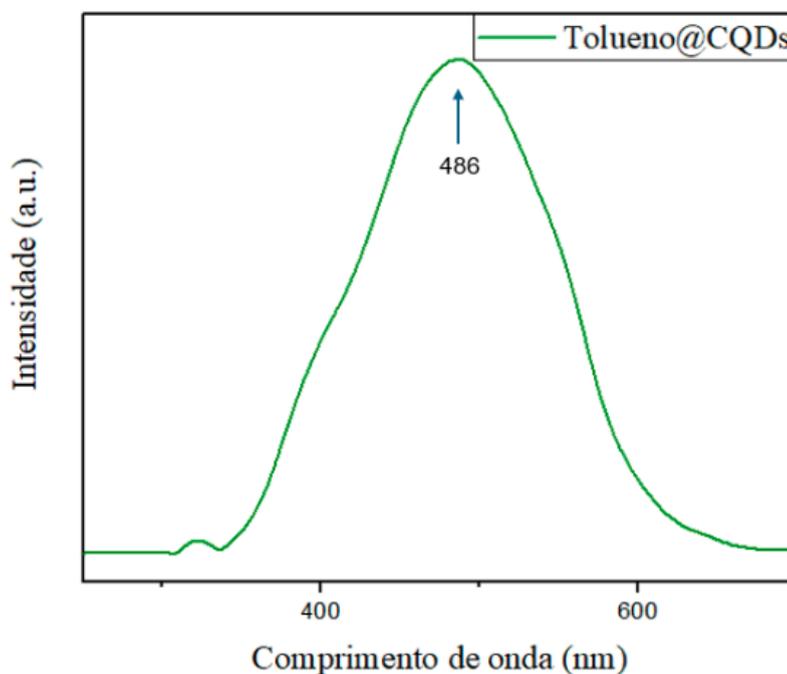


Fonte: Autoria própria (2024)

O comprimento de onda máximo observado foi de 296 nm no espectro UV-Vis (Figura 9). Esse valor ajudou a prever que a fluorescência do sistema, tanto com o solvente quanto com os copolímeros P1 e P2, a qual ocorreria em comprimentos de onda maiores, indicando energias mais baixa.

A previsão foi confirmada pelo espectro de fotoluminescência do Tolueno@CQDs., que apresentou um comprimento de onda de emissão de 486 nm (Figura 10) (KOBAN *et al.*, 2004). Além disso, os Copolímero@CQDs exibiram uma faixa mais ampla de reemissão, variando de 360 a 620 nm (Figura 11), evidenciando uma transição para uma região de emissão mais abrangente.

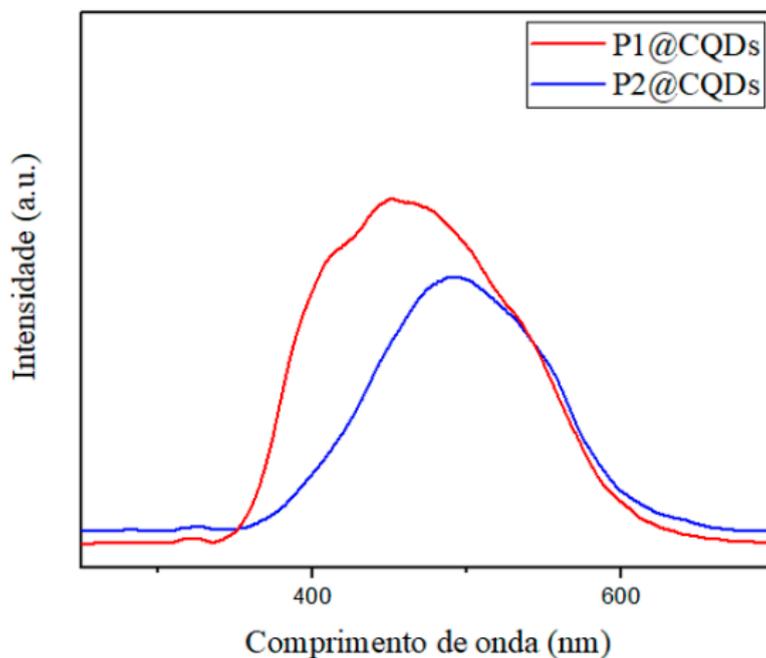
Figura 10. Espectro de Fotoluminescência de CQDs com Tolueno.



Fonte: Autoria própria (2024)

O espectro UV-Vis dos Copolímero@CQDs apresentou inconsistências devido à alta concentração do copolímero, mesmo após diluição e incorporação dos CQDs. Em contraste, o espectro de fotoluminescência dos Copolímero@CQDs mostrou características semelhantes ao Tolueno@CQDs, com um pico menor, mas ainda eficaz para a reemissão de luz visível (400 a 750 nm) (YOUNG et al., 2015).

Figura 11. Espectro de Fotoluminescência de CQDs com copolímeros P1 e P2.

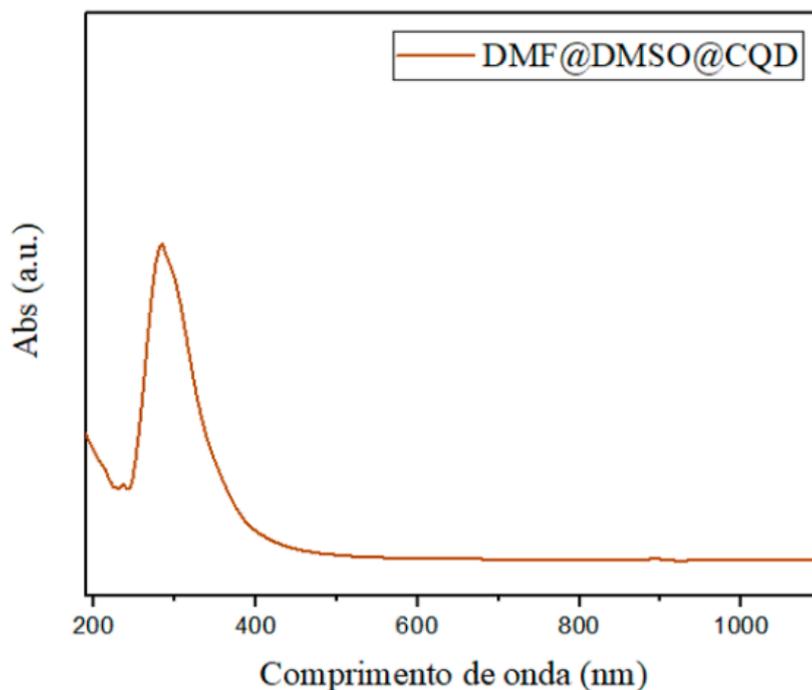


Fonte: Autoria própria (2024)

A análise qualitativa da fotoluminescência revelou que a faixa de reemissão do Copolímero@CQDs está entre 350 e 620 nm, abrangendo a região visível do espectro.

Ademais, também foi realizado a análise dos espectros UV-Vis dos CQDs dissolvidos em solventes típicos da perovskita, como o dimetilformamida (DMF) e o dimetilsulfóxido (DMSO) ilustrados na Figura 12.

Figura 12. Espectro de UV-vis de CQDs com DMF e DMSO.



Fonte: Autoria própria (2024)

A análise espectroscópica de DMSO@DMF@CQDs revelou um pico de absorção significativo em 285 nm. Esse resultado é crucial para entender a interação dos CQDs com a mistura de solventes da perovskita e suas propriedades ópticas.

O pico de absorção em 285 nm é indicativo de transições eletrônicas na região do ultravioleta, associadas a grupos funcionais presentes na superfície dos CQDs. A presença desse pico em um comprimento de onda relativamente baixo sugere que os CQDs preservam sua capacidade de absorver radiação UV de alta energia, mesmo quando em contato com os solventes da perovskita, sem alterar significativamente suas propriedades ópticas.

O trabalho ainda requer a realização de algumas análises adicionais, incluindo a obtenção de um novo espectro de UV-vis para os copolímeros com CQDs, a realização de uma microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a avaliação da degradação ao longo do tempo das perovskitas encapsuladas com filmes de copolímero@CQDs.

Conclusões

Este estudo investigou a aplicação de filmes de copolímeros incorporados com Pontos Quânticos de Carbono (CQDs) em Células Solares de Perovskitas (PSCs) para melhorar seu desempenho e durabilidade. Dada a crescente emissão de CO₂ devido ao uso de combustíveis fósseis, há uma urgência em transitar para fontes de energia renováveis como a solar, que oferece alto potencial de conversão de energia. Embora as perovskitas sejam eficientes e de baixo custo, enfrentam problemas de instabilidade e degradação causadas pela radiação UV, oxigênio e umidade.

Os copolímeros P1 e P2 mostraram-se adequados para encapsular PSCs, apresentando um aumento de hidrofobicidade e transparência, além de absorver UV, oferecendo proteção adicional. Os CQDs foram eficazes na conversão de radiação UV em luz visível, com fotoluminescência na faixa de 350 a 600 nm. A interação dos CQDs com diferentes solventes, como tolueno, DMF e DMSO, confirmou que eles mantêm suas propriedades ópticas em diversos ambientes.

No entanto, a análise UV-Vis dos copolímeros com CQDs enfrentou dificuldades devido à alta concentração dos polímeros, impossibilitando a obtenção de espectros confiáveis. Para validar a eficácia do encapsulamento e otimizar o desempenho das PSCs, serão necessárias análises adicionais, incluindo novos espectros UV-Vis, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e avaliação da degradação das PSCs ao longo do tempo. Este trabalho pode avançar significativamente as tecnologias solares e contribuir para soluções sustentáveis, com resultados preliminares promissores para futuras aplicações práticas.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. José Luís pela orientação, ao co-orientador Luiz Felipe da Hora pelos insights, à Prof^a Dulce Maria pela infraestrutura e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

AZAM, Syed Mohd; BHARTI, Ajaya; KUMAR, Naveen; DEV, Rahul. A Historical Review on the Efficiency of Perovskite Solar Cells. In: Interdisciplinary Innovations and Developments towards Smart and Sustainable Industries. River Publishers, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/371101331>

BACK, H.; KIM, J.; KIM, G.; KYUN KIM, T.; KANG, H.; KONG, J.; HO LEE, S.; LEE, K. Interfacial modification of hole transport layers for efficient large-area perovskite solar cells



achieved via blade-coating. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 144, p. 309-315, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.09.018>.

BRIZOLA, Vivian Y. Desenvolvimento De Matrizes Poliméricas Avançadas Para A Estabilização De Perovskitas Inorgânicas À Base De Bi Para Aplicação Fotovoltaica. Trabalho de conclusão de curso, 2023, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CHENG, Fangliang; AN, Xueqin; ZHENG, Cui; CAO, Sisheng. Green synthesis of fluorescent hydrophobic carbon quantum dots and their use for 2,4,6-trinitrophenol detection. *RSC Advances*, v. 5, n. 113, 2015. DOI: 10.1039/C5RA19029K

IEA (2024), CO₂ Emissions in 2023. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023/>, License: BY 4.0.

KABIR, E. et al. Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, n. 1364-0321, p. 894–900, fev. 2018.

KHATOON, S. et al. Perovskite solar cell's efficiency, stability and scalability: A review. *Materials Science for Energy Technologies*, v. 6, p. 437-459, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2023.04.007>.

KIM, E.-B.; AKHTAR, M. S.; SHIN, H.; AMEEN, S.; & NAZEERUDDIN, M. K. A review on two-dimensional (2D) and 2D-3D multidimensional perovskite solar cells: Perovskites structures, stability, and photovoltaic performances. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, v. 48, p. 100405, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2021.100405>

KOBAN, Wieland; KOCH, Jon D.; HANSON, Ronald K.; SCHULZ, Christof. Absorption and fluorescence of toluene vapor at elevated temperatures. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 6, n. 11, p. 2940-2945, 2004. The Royal Society of Chemistry. DOI: 10.1039/B400997E. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/B400997E>.



KODATI, Ramesh B.; PULI, Nageswar R. A Review of Solar Cell Fundamentals and Technologies. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. v. 26, p. 260-270, 2020.

MA, Yuhui et al. Enhancing the performance of inverted perovskite solar cells via grain boundary passivation with carbon quantum dots. *ACS Applied Materials & Interfaces*, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 3044-3052, 23 jan. 2019. DOI: 10.1021/acsami.8b18867. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsami.8b18867>.

MAXIM, A. A.; SADYK, S. N.; AIDARKHANOV, D.; SURYA, C.; Ng, A.; HWANG, Y.; ATABAEV, T. S.; & JUMABEKOV, A. N. PMMA thin film with embedded carbon quantum dots for post-fabrication improvement of light harvesting in perovskite solar cells. *Nanomaterials*, v. 10, p. 291, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano10020291>.

MAZUMDAR, S.; ZHAO, Y.; ZHANG, X. Stability of Perovskite Solar Cells: Degradation Mechanisms and Remedies. *Frontiers in Electronics*, v. 2, 2021. DOI: 10.3389/felec.2021.712785.

RAHMAN, Arifur; MURAD, S.M. Woahid; MOHSIN, A.K.M.; WANG, Xiaowen. Does renewable energy proactively contribute to mitigating carbon emissions in major fossil fuels consuming countries?. *Journal of Cleaner Production*, v. 452, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142113>.

SAYED E. T.; OLABI, A.G.; ALAMI, A.H.; RADWAN, A.; MDALLAL, A.; REZK, A.; ABDELKAREEM, M.A. Renewable Energy and Energy Storage Systems. *Energies*, v. 16, n. 3, p. 1415, 1 fev. 2023.

SEMENIUK, M.; YI Z; POURSORKHABI V.; TJONG, J.; JAFFER, S.; LU ZH, SAIN, M. Future perspectives and review on organic carbon dots in electronic applications. *ACS Nano*, v. 13, ed. 6, p. 6224-6255, 25 jun. 2019. DOI: 10.1021/acsnano.9b00688. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b00688>.



63º Congresso Brasileiro de Química
05 a 08 de novembro de 2024
Salvador - BA

SHARMA, R.; Sharma, A.; Agarwal, S.; & Dhaka, M. Stability and efficiency issues, solutions and advancements in perovskite solar cells: A review. *Solar Energy*, v. 244, p. 516-535, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.08.001>

SYED, Mohd A.; BHARTI, Ajaya; KUMAR, Naveen; DEV, Rahul. A Historical Review on the Efficiency of Perovskite Solar Cells. River Publishers, jan. 2023.

Disponível em: : <https://www.researchgate.net/publication/371101331>

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III. 14 ed., São Paulo: Pearson, p. 414-436. 2015.