

# CAPÍTULO 13

## CARBON DOTS DERIVADOS DA FOLHA DE MANGUEIRA (MANGIFERA INDICA): SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO EM FILMES POLIMÉRICOS LUMINESCENTES



<https://doi.org/10.22533/at.ed.3611125040413>

*Data de aceite: 02/01/2026*

### **Orlando Lucas de Lima Calado**

Instituto de Química e Biotecnologia,  
Universidade Federal de Alagoas, Campus  
A.C. Simões, Tabuleiro dos Martins,  
Maceió, Alagoas, Brasil

### **Steffano Felix de Oliveira Silva**

Instituto de Química e Biotecnologia,  
Universidade Federal de Alagoas, Campus  
A.C. Simões, Tabuleiro dos Martins,  
Maceió, Alagoas, Brasil

### **Livia Elias da Silva**

Instituto de Química e Biotecnologia,  
Universidade Federal de Alagoas, Campus  
A.C. Simões, Tabuleiro dos Martins,  
Maceió, Alagoas, Brasil

### **Islaine Elí Lima Gomes**

Instituto de Química e Biotecnologia,  
Universidade Federal de Alagoas, Campus  
A.C. Simões, Tabuleiro dos Martins,  
Maceió, Alagoas, Brasil

### **Cintya D' Angeles do Espírito Santo Barbosa**

Instituto de Química e Biotecnologia,  
Universidade Federal de Alagoas, Campus  
A.C. Simões, Tabuleiro dos Martins,  
Maceió, Alagoas, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho apresenta a síntese de *Carbon Dots* (CDs) sustentáveis a partir de folhas de mangueira (*Mangifera indica*) por método assistido por micro-ondas (mg-CDs) e sua aplicação em filmes poliméricos (mg-CDs-F). Os mg-CDs apresentaram tamanho médio de  $4,82 \pm 0,15$  nm, com distribuição abaixo de 10 nm. O FTIR indicou grupos funcionais oxigenados ( $-\text{OH}$ ,  $\text{C}-\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{C}$ ), associados à presença de compostos naturais como mangiferina na superfície dos CDs. O dado de UV-Vis demonstrou absorções em 210 nm, referente ao núcleo grafítico e 270 nm associado aos grupos carbonila, enquanto a fotoluminescência apresentou três bandas de emissão ( $\lambda = 430$ , 545 e 668 nm), permitindo emissão multicolor e luz branca ( $\text{CIE} \approx (0,35; 0,33)$ ;  $\text{CCT} \approx 4294$  K). Os CDs exibiram excelente fotoestabilidade, com decaimento de intensidade de emissão  $< 10\%$  após 60 min. Além disso, o estudo preliminar da incorporação dos mg-CDs em filmes poliméricos de PVA, apresentou mudança de emissão para a região predominantemente do verde devido à interação com grupos  $-\text{OH}$  da matriz. Esses resultados demonstram o potencial dos mg-CDs-F como camada conversora de luz em LEDs, oferecendo uma alternativa

sustentável e de baixo custo para aplicações em iluminação.

**PALAVRAS CHAVES:** Dual emissão, Emissão branca, Álcool Polivinílico.

## CARBON DOTS DERIVED FROM MANGO LEAVES (MANGIFERA INDICA): SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICATION IN LUMINESCENT POLYMER FILMS

**ABSTRACT:** This work presents the synthesis of sustainable Carbon Dots (CDs) from mango leaves (*Mangifera indica*) using a microwave-assisted method (mg-CDs) and their application in polymeric films (mg-CDs-F). The mg-CDs showed an average size of  $4.82 \pm 0.15$  nm, with a distribution below 10 nm. FTIR indicated oxygenated functional groups ( $-\text{OH}$ ,  $\text{C}-\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{C}$ ), associated with the presence of natural compounds such as mangiferin on the CDs' surface. UV-Vis data demonstrated absorptions at 210 nm, related to the graphitic core, and 270 nm associated with carbonyl groups, while photoluminescence exhibited three emission bands ( $\lambda = 430$ , 545, and 668 nm), enabling multicolor and white light emission ( $\text{CIE} \approx (0.35; 0.33)$ ;  $\text{CCT} \approx 4294$  K). The CDs displayed excellent photostability, with emission intensity decay  $< 10\%$  after 60 min. Furthermore, the preliminary study of incorporating mg-CDs into PVA polymeric films showed a shift in emission toward the predominantly green region due to interaction with  $-\text{OH}$  groups of the matrix. These results demonstrate the potential of mg-CDs-F as a light-converting layer in LEDs, offering a sustainable and low-cost alternative for lighting applications.

**KEYWORDS:** Dual emission, White emission, Polyvinyl Alcohol.

## INTRODUÇÃO

A nanotecnologia sustentável representa uma vertente inovadora da ciência de materiais, voltada para o desenvolvimento de processos e produtos que conciliem alta performance tecnológica com baixo impacto ambiental (BORELLI; CONCEIÇÃO, 2023). Essa abordagem busca reduzir o consumo energético, minimizar resíduos tóxicos e utilizar matérias-primas renováveis, alinhando-se aos princípios da química verde e às demandas globais por soluções mais ecológicas (RATHOD, et al. 2024). Nesse contexto, os *Carbon Dots* (CDs) têm se destacado como nanomateriais luminescentes promissores, devido à sua síntese simples, baixo custo e potencial para aplicações em dispositivos optoeletrônicos, sensores e bioimagem. (XIAO, et al. 2025)

Os CDs são estruturas à base de carbono, geralmente com tamanho inferior a 10 nm, formadas por núcleos de carbono  $\text{sp}^2/\text{sp}^3$  e grupos funcionais ou moléculas orgânicas ancoradas em sua superfície (REN, J. et al. 2024). Eles são classificados em quatro tipos, conforme os núcleos de carbono e estados de superfície: pontos quânticos de grafeno (GQDs), pontos quânticos de carbono (CQDs), nanopontos de carbono (CNDs) e pontos poliméricos de carbono (CPDs) (XIAO, et al. 2025).

CDs são livres de metais tóxicos e críticos, como cádmio e índio, presentes em tecnologias convencionais, reduzindo impactos ambientais e riscos de descarte (KORAH,

et al. 2024). Segundo Ren et al. (2024), a síntese de CDs a partir de biomassa representa um avanço significativo, pois utiliza matérias-primas renováveis e evita a dependência de recursos críticos, alinhando-se aos princípios da química verde. Contudo, os autores destacam que a sustentabilidade não se limita à escolha do precursor, mas também a todo o ciclo de vida, incluindo consumo energético, uso de solventes e geração de resíduos. Nesse sentido, métodos de síntese assistida por micro-ondas têm se mostrado promissores por oferecer alta eficiência energética e tempos de reação reduzidos, favorecendo a produção em larga escala com menor impacto ambiental (USMAN; CHENG, et al. 2024).

Ainda, os *Carbon Dots* sendo incorporados a uma matriz polimérica, assegura estabilidade física, química e óptica, além de facilitar diferentes aplicações, como por exemplo em diodo emissor de luz (LEDs) (CHEN; ZHAO; YU; LEMMER, 2024). Uma matriz que une o conceito sustentabilidade junto com CDs é o álcool polivinílico (PVA). O PVA é um dos polímeros mais utilizados para essa finalidade, devido à sua alta transparência óptica, compatibilidade com diferentes nanomateriais, facilidade de processamento e capacidade de formar filmes flexíveis e homogêneos (MEERA; RAMESAN, 2024).

Adicionalmente, o PVA permite a incorporação de plastificantes, como o glicerol, e aditivos para modular propriedades mecânicas e térmicas, tornando-o ideal para a fabricação de filmes, duráveis e escaláveis (MEERA; RAMESAN, 2024). Devido a essas características, os CDs possibilitam a construção de diodos emissores de luz (LEDs) através do método de conversão de fótons ou na montagem de dispositivos eletroluminescentes. (ZHAO; TAN, 2021).

Diante disso, este trabalho propõe a síntese de nanopartículas sustentáveis à base de folhas de mangueiras, buscando contribuir para o avanço de soluções tecnológicas mais eficientes, econômicas e ambientalmente responsáveis no setor de iluminação.

## EXPERIMENTAL

### REAGENTES E SOLUÇÕES

Os resíduos carbonáceos utilizados para a síntese dos *carbon dots* foram obtidas de mangueiras situadas na universidade federal de Alagoas (UFAL), Maceió-AL, Brasil. O álcool etílico foi obtido da Dinâmica com pureza de 99%. O Glicerol e Álcool polivinílico (PVA) ( $M_w=30000$ ) foram adquiridos da Sigma-Aldrich, todos de grau analítico P.A. Todas as soluções foram preparadas utilizando água deionizada obtida de um purificador ultra Master System MS2000 (Gehaka, São Paulo, Brasil).

### SÍNTESE DOS *CARBON DOTS* DERIVADOS DA FOLHA DA MANGA

Os *carbon dots* (CDs) foram sintetizados a partir de folhas de mangueira (*Mangifera indica*) seguindo protocolos adaptados de KUMAWAT et al., 2017. Inicialmente, 1,6 g de

folhas lavadas, secas e cortadas foram transferidas para um bêquer contendo 50 mL de etanol absoluto e submetido a agitação por 4 h. Posteriormente, a solução resultante foi filtrada com papel filtro. Após filtração, o etanol foi evaporado a 70 °C, obtendo-se o precipitado sólido do extrato (EXMG).

A síntese dos CDs ocorreu pelo método micro-ondas, onde o EXMG foi disperso em 50 mL de água destilada, submetido a ultrassom e aquecido em micro-ondas (720 W, 6 min), seguido de dissolução do resíduo em etanol (mg-Cdots). Os *Carbon Dots* obtidos foram purificadas por centrifugação (15000 RPM, 10 min) e filtração em membranas de 0,45 µm e 0,22 µm.

## SÍNTESE DO FILME POLIMÉRICO LUMINESCENTE

A preparação do filme polimérico luminescente foi baseada no trabalho de Xie, Wang e Zhao (2018). 153 mg de PVA foram adicionados em 4 mL de água destilada e aquecidos sob agitação por 10 min a 85 °C, até completa homogeneização do conteúdo. Após, a suspensão foi resfriada até atingir temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se os *Carbon Dots* e 80 µL de glicerol. A mistura foi agitada por 2 minutos e, posteriormente, 3 mL da suspensão foram depositados em uma placa de Petri de plástico transparente (35 mm x 10 mm). A placa foi levada à estufa a 50 °C por 48 horas para evaporação do solvente e formação do filme.

## CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS E FILME POLIMÉRICO LUMINESCENTE

A estimativa do tamanho médio das partículas foi verificada por meio do Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS), através do equipamento Zetatrac. 30 µL da suspensão de CDs foram previamente diluídas em 3 mL de etanol e colocadas no ultrassom, para uma melhor dispersão e evitar a aglomeração das nanopartículas.

O Espectrofotômetro de UV-VIS foi empregado para avaliar as regiões de absorção dos CDs, com o auxílio de um espectrofotômetro modelo UV-3600 Plus, em que o espectro foi adquirido numa faixa de 200 - 700 nm.

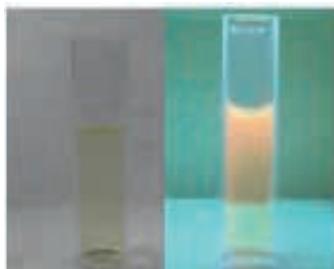
A Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi realizada utilizando o equipamento Termo *Scientific* modelo *Nicolet*. Para a composição das pastilhas de *carbon dots*, foi gotejado aproximadamente 50 µL de suspensão de CDs em 20 mg de KBr e levado a estufa a 100 °C por 24 horas. A faixa espectral abrangida para a análise foi de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>.

O espectro de fotoluminescência dos *carbon dots* foi obtido usando o espectrofluorímetro modelo RF-5301 PC, *Shimadzu* (Tóquio, Japão). A amostra foi acondicionada em uma cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm, sob condições de diluição e *slit* adequados, com a emissão monitorada na faixa espectral de 300 a 750

nm. Por outro lado, o espectro do filme polimérico luminescente foi obtido utilizando o espectrofluorímetro Fluorolog (HORIBA), equipado com monocromador modelo FL-1039/40, lâmpada de xenônio de 450 W e fotomultiplicador detector modelo R928P (condições: 25 °C, 1 atm).

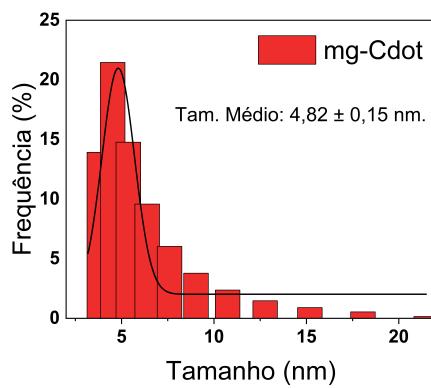
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A **Figura 1** apresenta as suspensões de mgCDs em luz ambiente (imagem à esquerda) e em luz ultravioleta ( $\lambda_{\text{exc}} = 365$  nm) (imagem à direita), evidenciando emissão visual no laranja.



**Figura 1.** Imagens fotográficas das suspensões do mg-CDs.

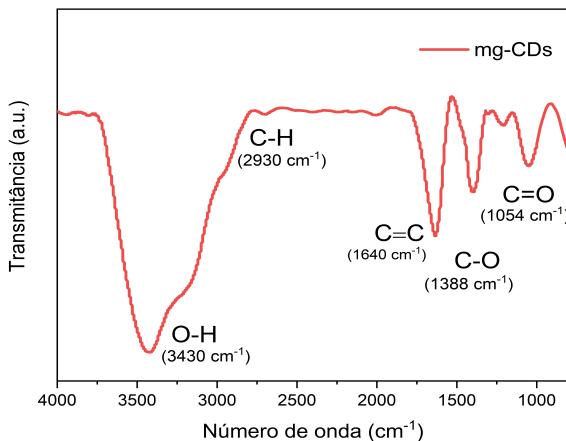
Para compreender o tamanho do mg-CDs, utilizou-se a técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS), que indicou tamanho médio de  $4,82 \pm 0,15$  nm. Conforme o histograma apresentado na **Figura 2**, observa-se que a maior frequência da distribuição se encontra abaixo de 10 nm, em concordância com valores reportados na literatura para *Carbon Dots* (SHARMA; TIWARI; MOBIN, 2017).



**Figura 2.** espalhamento dinâmico de luz (DLS) do mg-CDs.

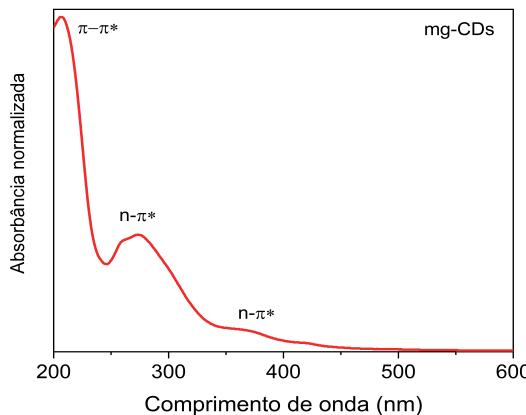
Para investigar os grupos funcionais presentes na superfície dos mgCDs, a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi empregada,

conforme mostrado na **Figura 3**. O espectro revelou uma banda larga em  $3470\text{ cm}^{-1}$ , atribuída ao estiramento –OH. Em  $2950\text{ cm}^{-1}$  e  $1640\text{ cm}^{-1}$ , foram observados estiramentos das ligações C–H e C=C, respectivamente, possivelmente relacionados à presença de mangiferina, abundante nas folhas de manga (SINGH et al., 2020). As bandas em  $1380\text{ cm}^{-1}$  e  $1054\text{ cm}^{-1}$  correspondem às vibrações de C–O (éster) e C–O (álcool), respectivamente (KUMAWAT et al., 2017). Esses resultados confirmam que a superfície dos mg-CDs é rica em grupos oxigenados, como hidroxilas e álcoois, características que influenciam diretamente os processos de absorção e emissão de luz.



**Figura 3.** Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier do mg-CDs.

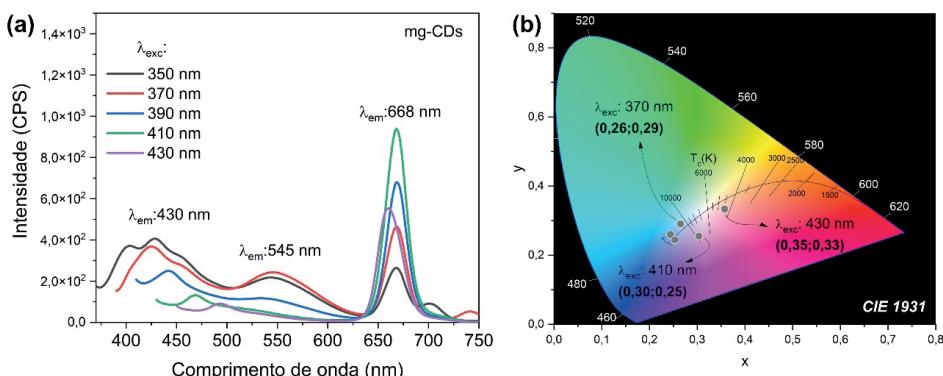
Com base nessa estrutura química, as nanopartículas foram caracterizadas por espectrofotometria UV-Vis, conforme ilustrado na **Figura 4**. O espectro do mg-CDs apresentou absorção relativa às ligações C=C (domínios  $sp^2$ ) do núcleo grafítico dos *carbon dots* sintetizados, centradas em 210 nm (DING et al., 2017; TYAGI et al., 2016; SINGH et al., 2018; SINGH et al., 2020; JIANG et al., 2015). Além disso, observou-se absorção na faixa de 270 nm, relacionada a grupos oxigenados, como carbonilas na superfície dos CDs, em concordância com estudos que utilizaram folhas de manga como precursor (KUMAWAT et al., 2017) (SINGH et al., 2020).



**Figura 4.** Espectro de absorção UV-Vis do mg-CDs.

A fotoluminescência dos mg-CDs foi analisada em diferentes comprimentos de onda de excitação (350 - 450 nm). Como observado na **Figura 5. a**, o mg-CDs apresenta três bandas de emissão centradas em 430, 545 e 668 nm, associadas a dois mecanismos: estados de superfície e estados moleculares. A emissão em 668 nm é independente do comprimento de onda de excitação, sugerindo associação a estados moleculares, possivelmente decorrentes de moléculas de clorofila ancoradas na superfície dos CDs (WANG et al., 2021). Todavia, as emissões na faixa azul/verde são dependentes da excitação, atribuídas a grupos oxigenados, conforme caracterizado por FTIR.

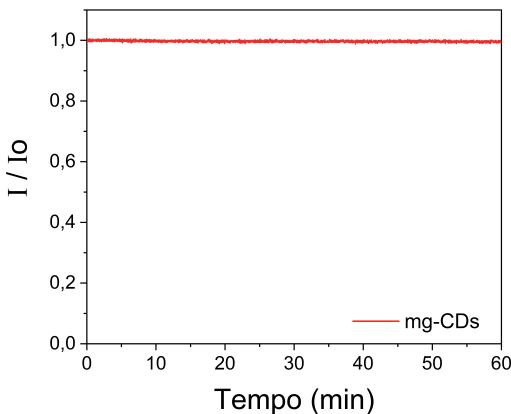
Complementarmente, por meio do espectro de emissão, as coordenadas de cor CIE foram obtidas e demonstram variação de cor da região azul até o branco (**Figura 5. b**). Devido à emissão multibanda, foi possível obter luz branca com coordenadas CIE próximas ao branco puro (0,33; 0,33), atingindo (0,35; 0,33) e CCT de 4294 K sob excitação em 430 nm, correspondente ao branco neutro.



**Figura 5.** (a) fotoluminescência (FL), (b) Coordenadas CIE do mg-CDs

Além disso, os *Carbon Dots* exibiram boa fotoestabilidade, em que a intensidade de emissão permaneceu acima de 90% após 60 min de exposição contínua a luz ultravioleta (**Figura 6**). Para comparação, CHEN *et al.*, (2020) produziram CDs aplicados como camada de fósforo em LEDs, mantendo 95% da intensidade inicial após 60 min sob excitação de 365 nm.

Portanto, os *Carbon Dots* sintetizados apresentam potencial para aplicação como camada conversora de luz, pois, em uma única síntese, exibem diferentes cores de emissão (do azul ao branco) e podem ser incorporados em polímeros para ampliar sua aplicabilidade (Ji, *et al.* 2023; MEERA, *et al.* 2024).



**Figura 6.** Teste de fotoestabilidade do mg-CDs.

Diante disso, um estudo preliminar foi realizado incorporando os CDs em filmes poliméricos. Como é possível observar inicialmente na **Figura 7**, o filme apresentou emissão laranja sob irradiação UV (365 nm).



**Figura 7.** Fotoestabilidade do mg-CDs

Ao analisar o espectro de fotoluminescência do filme (**Figura 8**), foi visualizado um aumento na intensidade da banda centrada em 545 nm em relação às demais (430 nm e 668 nm). Esse comportamento pode ser atribuído à interação dos grupos –OH do PVA com

os grupos funcionais dos mgCDs, influenciando sua emissão (LIMS *et al.*, 2025). Devido ao aumento da emissão em 545 nm, as coordenadas CIE deslocaram-se para a região verde, variando de (0,24; 0,41) até (0,26; 0,56).

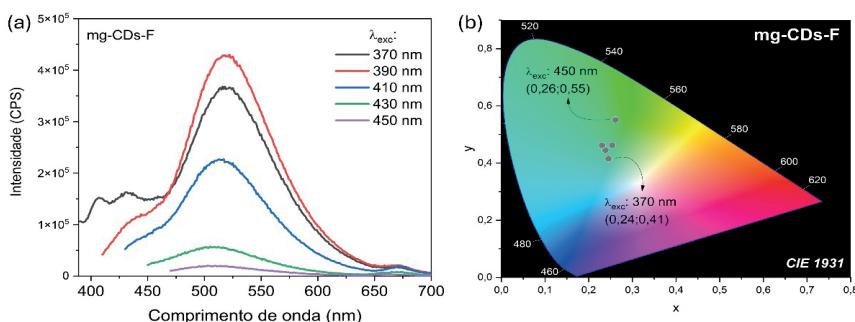


Figura 8. (a) Fotoluminescência e (b) coordenadas de cores CIE do filme polimérico mg-CDs-F.

Assim, o presente trabalho desenvolveu uma síntese sustentável de *Carbon Dots* a partir de folhas de mangueira, utilizando o método assistido por micro-ondas, obtendo emissão ajustável do azul ao branco e boa fotoestabilidade. Quando incorporados em filmes poliméricos, os CDs apresentam aumento na variedade de emissão, alcançando também a região do verde. Dessa forma, os mg-CDs têm potencial para atuar como camada conversora de luz, absorvendo parte da luz emitida pelo LED e reemitindo-a em comprimentos de onda maiores, o que permite a obtenção de diferentes cores (Ji, *et al.* 2023). Portanto, os mg-CDs representam uma alternativa promissora para o desenvolvimento de LEDs sustentáveis, capazes de converter luz azul/UV em verde, azul ou branco.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos confirmam que os mg-CDs sintetizados a partir de folhas de manga apresentam propriedades estruturais e ópticas adequadas para aplicações em dispositivos optoeletrônicos. A emissão multibanda (430, 545 e 668 nm) dos CDs possibilitou a obtenção de luz branca com coordenadas CIE próximas ao branco puro. Além disso, o mg-CDs exibiu excelente fotoestabilidade, mantendo mais de 90% da intensidade de emissão após 60 minutos de exposição em luz ultravioleta. A incorporação dos mg-CDs em polímeros demonstra a capacidade de conversão de luz em dispositivos optoeletrônicos, que podem alterar a emissão original desses materiais para diferentes tonalidades.

Assim, este estudo contribui para o avanço de tecnologias ambientalmente responsáveis, como dispositivos de iluminação sustentável, alinhadas aos princípios da nanotecnologia verde e às demandas por soluções eficientes e econômicas.

## REFERÊNCIA

BORELLI, E.; CONCEIÇÃO, M. Nanotecnologia: inovação e sustentabilidade. **International Journal of Scientific Management and Tourism**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 422-440, 2023.

CHEN, J.; ZHAO, Q.; YU, B.; LEMMER, A. A review on quantum dot-based color conversion layers for mini/micro-LED displays: packaging, light management, and pixelation. **Advanced Optical Materials**, v. 12, n. 2, p. 2300873, 2024.

CHEN, L.; ZHENG, J.; DU, Q.; YANG, Y.; LIU, X.; XU, B. Orange emissive carbon dot phosphors for warm white light-emitting diodes with high color rendering index. **Optical Materials**, v. 109, p. 110346, 30 ago. 2020.

DING, H.; JI, Y.; WEI, J.-S.; GAO, Q.-Y.; ZHOU, Z.-Y.; XIONG, H.-M. Facile synthesis of red-emitting carbon dots from pulpfree lemon juice for bioimaging. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 5, n. 26, p. 5272–5277, 2017

JI, C.; XU, W.; HAM, Q.; ZHAO, T.; DENG, J.; PENG, Z. Light of carbon: recent advancements of carbon dots for LEDs. **Nano Energy**, v. 114, p. 108623, set. 2023.

KORAH, B.; MURALI, A.; JOHN, B.; JOHN, N.; MATHEW, B. Carbon dots as a sustainable nanoplatform. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 14, p. 24889–24910, 2024.

KUMAWAT, M.; THAKUR, M.; GURUNG, R.; SRIVASTAVA, R. Graphene quantum dots from mangifera indica: Application in near-infrared bioimaging and intracellular nanothermometry. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 5, n. 2, p. 1382–1391, 2017.

LIMS, S.; TRAN, N.; DAO, V.; PHAM, P. The world of quantum dot-shaped nanoparticles: Nobel prize in chemistry 2023: Advancements and prospectives. **Coordination Chemistry Reviews**, abr. 2025. v. 528, p. 216423.

MEERA, K.; RAMESAN, M. T. A review on the influence of various metal oxide nanoparticles on structural, morphological, optical, thermal and electrical properties of PVA/PVP blends. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 34, p. 5342–5350, 26 jun. 2024.

RATHOD, S.; PREETAM, S.; PANDEY, C.; BERA, S.; RATHOD, S. Exploring synthesis and applications of green nanoparticles and the role of nanotechnology in wastewater treatment. **Biotechnology Reports**, Amsterdam, v. 41, p. e00830, 26 jan. 2024.

REN, J.; OPOKU, H.; TANG, S.; EDMAN, L.; WANG, J.. Carbon Dots: A Review with Focus on Sustainability. **Advanced Science**, v. 11, n. 35, p. 2405472, 2024. DOI: 10.1002/advs.202405472.

SHARMA, V.; TIWARI, P.; MOBIN, S. M. Sustainable carbon-dots: Recent advances in green carbon dots for sensing and bioimaging. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 5, n. 45, p. 8904–8924, 2017.

SINGH, J.; KAUR, S.; LEE, J.; MEHTA A.; KUMAS, S.; KIM, K.; BASU, S.; RAWAT, M. Highly fluorescent carbon dots derived from Mangifera indica leaves for selective detection of metal ions. **Science of the Total Environment**, v. 720, p. 137604, 2020.

SINGH, V.; RAWAT, K.; MISHRA, S.; BAGHEL, T.; FATIMA, S.; JOHN, A.; KALLETI, N.; SINGH, D.; NAZIR, A.; RATH, S.; GOEL, A. Biocompatible fluorescent carbon quantum dots prepared from beetroot extract for in vivo live imaging in *C. elegans* and BALB/c mice. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 6, n. 20, p. 3366–3371, 2018.

TYAGI, A.; TRIPATHI, K.; SINGH, N.; CHOUDHARY, S.; GUPTA, R. Green synthesis of carbon quantum dots from lemon peel waste: Applications in sensing and photocatalysis. **RSC Advances**, v. 6, n. 76, p. 72423–72432, 2016.

USMAN, M.; CHENG, S. Recent Trends and Advancements in Green Synthesis of Biomass-Derived Carbon Dots. **Eng**, 9 set. 2024. v. 5, n. 3, p. 2223–2263.

WANG, P.; YAN, Y.; ZHANG, Y.; GAO, T.; JI, H.; GUO, S.; WANG, K.; XING, J.; DONG, Y. An improved synthesis of water-soluble dual fluorescence emission carbon dots from holly leaves for accurate detection of mercury ions in living cells. **International Journal of Nanomedicine**, v. 16, p. 2045–2058, 2021.

XIE, M.; WANG, J.; ZHAO, H. A PVA film for detecting lipid oxidation intended for food application. **Sensors and Actuators**, B: Chemical, v. 273, n. 28, p. 260–263, 2018.

XIAO, Y.; WANG, Z.; FU, J.; ZHANG, J.; HE, Q.; LU, H.; ZHOU, Q.; WANG, H. Recent Advances in the Synthesis, Characterization, and Application of Carbon Dots in the Field of Wastewater Treatment: A Comprehensive Review. **Water**, 14 jan. 2025. v. 17, n. 2, p. 210

ZHAO, B.; TAN, Z. Fluorescent Carbon Dots: Fantastic Electroluminescent Materials for Light-Emitting Diodes. **Advanced Science**, 10 abr. 2021. v. 8, n. 7, p. 2001977.