

Síntese verde induzida via microondas e caracterização óptica de pontos quânticos de carbono obtidos do extrato das folhas da *Lippia grata*

Alessandra Raiany de Oliveira^{1*}; Keurison Figueredo Magalhães¹; Suely Souza Leal de Castro¹.

¹Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)
Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, Bairro Costa e Silva – Mossoró/RN | 59600-000

*alessandraraiany99@gmail.com

Resumo/Abstract

RESUMO - Neste estudo, avaliou-se a viabilidade do uso do pó das folhas de *Lippia grata* como bioprecursor para a síntese de pontos quânticos de carbono (PQCs) via método assistido por microondas. A análise de FTIR revelou grupos funcionais como hidroxilas, carbonilas e compostos aromáticos, típicos de metabólitos vegetais. Os resultados indicaram que o tempo de síntese e a concentração do bioprecursor influenciaram diretamente as propriedades ópticas dos PQCs. Espectros de absorção UV-Vis evidenciaram estruturas aromáticas e grupos funcionais oxigenados típicos de nanomateriais de carbono. Mapas de excitação-emissão mostraram fluorescência intensa entre 420 e 550 nm, com máximos de excitação entre 320 e 420 nm, associados à presença de domínios conjugados e à funcionalização superficial. A comparação entre os espectros de absorção e emissão do extrato aquoso de *Lippia grata* e os PQCs obtidos mostrou conversão eficiente de fenóis, flavonoides e clorofila em estruturas carbonáceas fluorescentes. A ausência de emissão associada à clorofila destacou a eficácia do processo. Os resultados validam o uso de *Lippia grata* como fonte renovável de carbono, e evidenciam o potencial dos PQCs obtidos para aplicações em fotocatalise heterogênea e tecnologias sustentáveis.

Palavras-chave: Nanomateriais de carbono; Fluorescência; Fotocatalise heterogênea; Bioprecursores naturais; Síntese assistida por microondas.

ABSTRACT - In this study, the feasibility of using *Lippia grata* leaf powder as a bioprecursor for the synthesis of carbon quantum dots (CQDs) via microwave-assisted method was evaluated. FTIR analysis revealed functional groups such as hydroxyls, carbonyls and aromatic compounds, typical of plant metabolites. The results indicated that the synthesis time and concentration of the bioprecursor directly influenced the optical properties of CQDs. UV-Vis absorption spectra evidenced aromatic structures and oxygenated functional groups typical of carbon nanomaterials. Excitation-emission maps showed intense fluorescence between 420 and 550 nm, with excitation maxima between 320 and 420 nm, associated with the presence of conjugated domains and surface functionalization. The comparison between the absorption and emission spectra of the aqueous extract of *Lippia grata* and the obtained PQCs showed efficient conversion of phenols, flavonoids and chlorophyll into fluorescent carbonaceous structures. The absence of emission associated with chlorophyll highlighted the effectiveness of the process. The results validate the use of *Lippia grata* as a renewable carbon source and highlighted the potential of the obtained PQCs for applications in heterogeneous photocatalysis and sustainable technologies.

Keywords: Carbon nanomaterials; Fluorescence; Heterogeneous photocatalysis; Natural bioprecursors; Microwave-assisted synthesis.

Introdução

A intensificação do desenvolvimento de novos fotocatalisadores é motivada pelas limitações inerentes aos semicondutores tradicionais, que incluem ativação espectral restrita, rápida recombinação de portadores de carga, intervalo de *band gap* amplo e baixa eficiência na transferência de carga (1).

Os pontos quânticos de carbono (PQCs) têm ganhado destaque como nanomateriais promissores em diversas aplicações tecnológicas, especialmente na fotocatalise heterogênea, devido as suas propriedades ópticas, ampla absorção na região do visível, excelente estabilidade química, alta área superficial e capacidade de transferência de elétrons fotoinduzidos (1).

Os pontos quânticos de carbono (PQCs) são nanomaterias de carbono com tamanhos variando de 1 a 10 nm, que apresentam propriedades de fotoluminescência e fluorescência, tornando-os promissores para diversas aplicações tecnológicas e biomédicas, como bioimagem e biossensores (2-3). Xu *et al.* (4), descobriram acidentalmente os pontos quânticos de carbono durante a purificação de fragmentos de nanotubos de carbono de parede simples. Os autores realizaram a separação desses fragmentos por meio de técnicas eletroforéticas com base em suas propriedades elétricas e fluorescentes (4).

Os PQCs apresentam diversas propriedades fotofísicas e ópticas, incluindo estabilidade química, fluorescência, fotoestabilidade, boa solubilidade em água, baixa toxicidade, biocompatibilidade, capacidade de transferência

eletrônica fotoinduzida e baixo custo, sendo promissores para aplicações fotocatalíticas (5-7).

Os PQCs podem ser obtidos a partir de diversos precursores, incluindo moléculas orgânicas, e são sintetizados por dois processos principais: *Top-down* (de cima para baixo) e *Bottom-up* (de baixo para cima) (8). Os processos *Top-down* envolve a fragmentação de materiais de carbono maiores para formar partículas nanométricas menores, como os pontos quânticos de carbono (8-10). Entre os métodos comuns utilizados nesse processo estão a síntese via descarga de arco (11), a ablação a laser (12) e a esfoliação eletroquímica (13). Por outro lado, nos processos *Bottom-up*, os pontos quânticos de carbono são sintetizados a partir de compostos orgânicos menores, que servem como precursores de carbono (14-15). Esse processo é realizado por meio de métodos mais simples, como a síntese hidrotermal/solvotermal (16-17), a pirólise (18) e a síntese assistida por microondas (19-21). Devido à variedade de materiais e métodos de obtenção, os PQCS apresentam propriedades ópticas e parâmetros de desempenho bastante variados (22).

A síntese de PQCs utilizando microondas apresenta diversas vantagens significativas em comparação com métodos tradicionais. Primeiramente, essa técnica é econômica e rápida, frequentemente concluindo a reação em minutos (6, 23). Além disso, o aquecimento uniforme proporcionado pela radiação de microondas resulta em uma distribuição de tamanho de partícula mais homogênea (6, 24). Outra vantagem relevante é a eficiência energética, uma vez que o microondas fornece energia diretamente as moléculas reativas, por meio da ressonância com frequências vibracionais, minimizando assim a perda de energia (20, 25). Estudos demonstram que a síntese assistida por microondas não apenas simplifica o processo, mas também aprimora significativamente as propriedades luminescentes dos PQCs, tornando-os mais adequados para diversas aplicações (6, 24, 25).

A utilização de bioprecursores naturais para a síntese de PQCs tem se mostrado uma abordagem promissora e sustentável. Esses bioprecursores são fontes renováveis e abundantes de carbono, que oferecem vantagens significativas como biocompatibilidade e baixa toxicidade (27). Estudos indicam que os PQCs derivados de plantas possuem excelentes propriedades ópticas e eletrônicas, destacando-se como promissores para aplicações fotocatalíticas (5).

A *Lippia grata*, é uma espécie pertencente à família Verbenaceae, endêmica da região nordeste do Brasil, sendo popularmente conhecida como “alecrim-da-chapada” ou “alecrim-de-tabuleiro” (28). Essa planta é conhecida por suas folhas aromáticas, as quais têm sido alvo de interesse na medicina popular devido às suas notáveis propriedades antimicrobianas e farmacológicas. Estudos indicam que tais efeitos estão associados à composição química do óleo

essencial extraído das folhas da *Lippia grata*, rico em derivado fenólicos, timol e carvacrol (28-30).

Assim, considerando o desenvolvimento de novos materiais com a utilização de bioprecursores, este estudo visa a utilização da *Lippia grata* como bioprecursor para obtenção de pontos quânticos de carbono com propriedades ópticas para aplicação na fotocatalise heterogênea.

Experimental

Reagentes

Todas as análises foram realizadas utilizando reagentes químicos de grau analítico e água ultrapura Milli-Q ($\rho \geq 18 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$) para o preparo das soluções e extratos.

Coleta e obtenção do pó de *Lippia grata*

As folhas de *Lippia grata* foram coletadas no Campus Central da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), localizado na cidade de Mossoró/RN.

Inicialmente, as folhas foram lavadas com água corrente para remoção de impurezas, e em seguida, secas em papel absorvente por 48 horas. Após esse período, foram envolvidas em papel Kraft e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C, durante 140 horas (31).

Após a secagem, as folhas foram trituradas em liquidificador industrial e peneiradas, resultando no pó de *Lippia grata*. Esse material foi acondicionado em sacos plásticos revestidos com papel alumínio e armazenado em dessecador.

Preparo do extrato aquoso da *Lippia grata*

Para o preparo do extrato aquoso, foram utilizados 40 g do pó seco de *Lippia grata* em 200 mL de água ultrapura. A mistura permaneceu em repouso na capela por 72 horas. Após esse período, o extrato foi filtrado com papel filtro quantitativo, acondicionado em frasco âmbar e armazenado sob refrigeração a 4 °C.

Síntese dos Pontos Quânticos de Carbono

Os PQCs foram sintetizados a partir do pó seco das folhas de *Lippia grata*. Para a síntese, foram preparadas três amostras com diferentes massas do pó (0,75 g, 1,25 g e 2,5g), às quais foram adicionados 25 mL de água ultrapura.

O processo de síntese foi conduzido por meio de método assistido por microondas, utilizando um forno microondas da Milestone (modelo ETHOS One), com capacidade para dez frascos de digestão em carrossel de alta pressão. As soluções foram acondicionadas em frascos de Teflon de 100 mL e submetidas a uma potência de 600 W, com temperatura de 200 °C e tempo de irradiação de 3 e 10 minutos.

Após a irradiação, as soluções foram resfriadas naturalmente à temperatura ambiente e filtradas com filtro quantitativo de faixa azul. Em seguida, foram centrifugadas a 4000 RPM por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e

submetido a diluições de 50, 100 e 200 vezes. As soluções contendo os PQC's foram armazenadas em frascos âmbar, sob refrigeração a 4 °C (Figura 1).

Durante a irradiação por microondas, ocorre a decomposição térmica de compostos orgânicos presentes no pó das folhas, levando à carbonização parcial e à formação de núcleos ricos em carbono. Compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos vegetais presentes nas plantas funcionam como agentes redutores e estabilizantes, favorecendo a formação de domínios conjugados e estruturas com grupos funcionais oxigenados, característicos dos pontos quânticos de carbono (6, 34).



Figura 1. Processo de síntese dos PQC's.

Caracterização do pó das folhas de *Lippia grata*

Para identificação dos grupos funcionais presentes no pó de *Lippia grata*, foram realizadas análises por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), utilizando módulo ATR. As análises foram conduzidas em parceria com a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no Laboratório do Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono (NPCO2), empregando o equipamento Cary 630 da Agilent. As medidas foram obtidas com resolução de 4 cm⁻¹, abrangendo a faixa de varredura de 650 a 4000 cm⁻¹.

Caracterização espectroscópica dos extratos de *Lippia grata* e dos PQC's

Os espectros de absorção UV-Vis dos PQC's foram obtidos utilizando o espectrofotômetro Cary 50 (Varian), na faixa de 200 a 800 nm, utilizando cubeta de quartzo com duas faces polidas e caminho óptico de 10 mm.

Os mapas de excitação-emissão das diluições do extrato e dos PQC's foram obtidos em um Espectrofluorímetro Fluoromax Plus (Horiba). As amostras foram excitadas com uma lâmpada de xenônio de 150W entre 250-500 nm em intervalos de 5 nm. A emissão foi registrada de 300-800 nm em intervalos de 5 nm. Utilizou-se cubeta de quartzo (Kasvi) com quatro faces polidas e com caminho óptico de 10 mm.

Resultados e Discussão

Caracterização das folhas e extrato da planta

A Figura 2 mostra os espectros de FTIR do pó de *Lippia grata*.

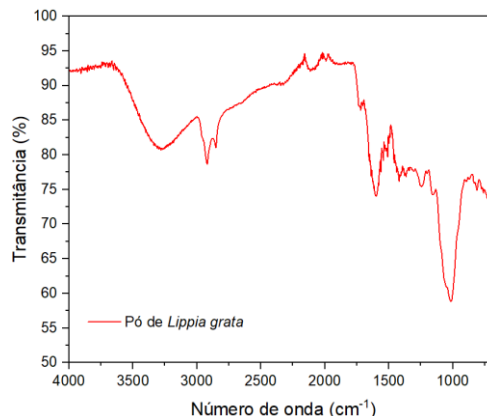


Figura 2. Espectros de FTIR do pó de *Lippia grata*.

O espectro de FTIR obtido para as amostras de *Lippia grata* apresenta bandas características de diferentes grupos funcionais, indicando a presença de metabólitos secundários. A banda larga na região de 3200–3600 cm⁻¹ sugere a presença de grupos hidroxila (-OH), característicos de álcoois e fenóis (32). As bandas na faixa de 2800–3000 cm⁻¹ são atribuídas às vibrações de estiramento C-H, típicas de alcanos. A presença de um pico significativo entre 1700–1750 cm⁻¹ indica a ocorrência de grupos carbonila (C=O), possivelmente associados a cetonas, ésteres ou ácidos carboxílicos (32). Além disso, a região entre 1500–1600 cm⁻¹ apresenta bandas relacionadas a ligações C=C aromáticas, sugerindo a presença de compostos aromáticos (32). Já as bandas intensas na faixa de 1000–1300 cm⁻¹ podem estar associadas a ligações C-O em ésteres, álcoois ou fenóis (32). Esses resultados indicam a presença de compostos orgânicos típicos de metabólitos secundários vegetais, como flavonoides, terpenos e ácidos orgânicos (33).

A Figura 3 apresenta os espectros de absorbância em função do comprimento de onda para o extrato aquoso de *Lippia grata*.

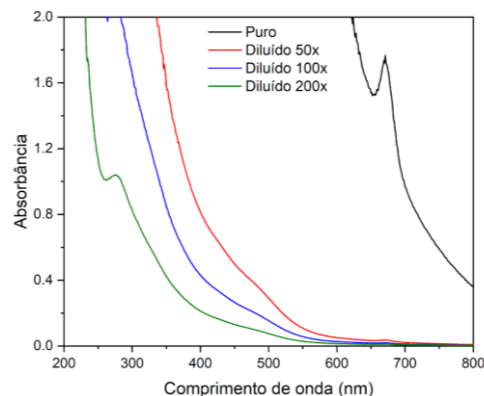


Figura 3. Espectros de absorção UV-Vis do extrato aquoso do pó de *Lippia grata*.

Observa-se o espectro de absorção obtido para o extrato aquoso de *Lippia grata* apresenta banda pronunciada na faixa de 200-400 nm, atribuída às transições $\pi \rightarrow \pi^*$ e $n \rightarrow \pi^*$, evidenciando a presença de compostos aromáticos e estruturas conjugadas. Essa região evidencia a presença de compostos fenólicos, como carvacrol e timol, e flavonoides (28-30). Além disso, observa-se uma banda de absorção na região do visível, em 700 nm, atribuída à presença de clorofila *a*.

A Figura 4 apresenta os mapas de excitação-emissão do extrato aquoso de *Lippia grata* nas diluições 50 (a), 100 (b) e 200 (c) vezes.

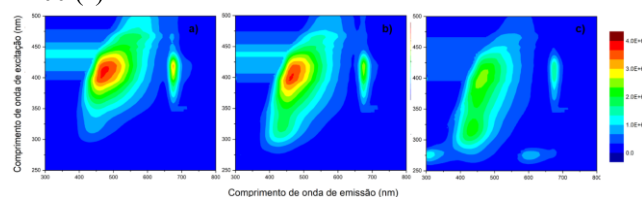


Figura 4. Mapas de excitação-emissão do extrato aquoso de *Lippia grata* diluído 50 (a), 100 (b) e 200 (c) vezes.

Observa-se que os extratos diluídos apresentam características fluorescentes distintas, associadas à presença de compostos naturais como fenóis, flavonoides e clorofilas. Em todas as diluições, nota-se fluorescência com excitação em torno de 410 nm e emissão centrada entre 450 e 500 nm, indicando a presença de cromóforos, especialmente compostos fenólicos como carvacrol e timol, e flavonoides. Além disso, é possível identificar uma emissão na faixa de 680 nm sendo atribuída à presença de clorofila *a*.

Caracterização espectroscópica dos PQC's

A Figura 5 apresenta os espectros de absorbância em função do comprimento de onda para os PQC's em diferentes tempos de síntese (3 e 10 min).

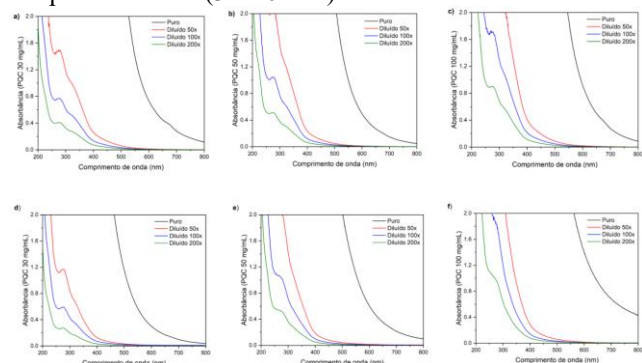


Figura 5. Espectros de absorção UV-Vis do PQC's obtidos do pó de *Lippia grata* em diferentes tempos de síntese, 3 min (a, b, c), 10 min (d, e, f).

Os espectros obtidos apresentam características típicas de nanomateriais de carbono, com bandas de absorção na região do ultravioleta (200-350 nm), atribuídas às transições $\pi \rightarrow \pi^*$ das ligações C=C aromáticas e $n \rightarrow \pi^*$ de grupos C=O presentes na estrutura dos PQC's (7).

Ao comparar os diferentes tempos de síntese, observa-se que os espectros dos PQC's sintetizados em 10 minutos (Figura 5d-f) apresentam bandas de absorção mais suaves e contínuas, o que sugere uma carbonização mais completa e maior uniformidade estrutural das partículas formadas. Isso pode estar relacionado à decomposição mais eficiente dos precursores orgânicos sob irradiação prolongada, resultando em estruturas mais homogêneas com menos impurezas ou intermediários parcialmente carbonizados (34).

A Figura 6 mostra os mapas de excitação-emissão dos PQC's em diferentes tempos de síntese e diluições.

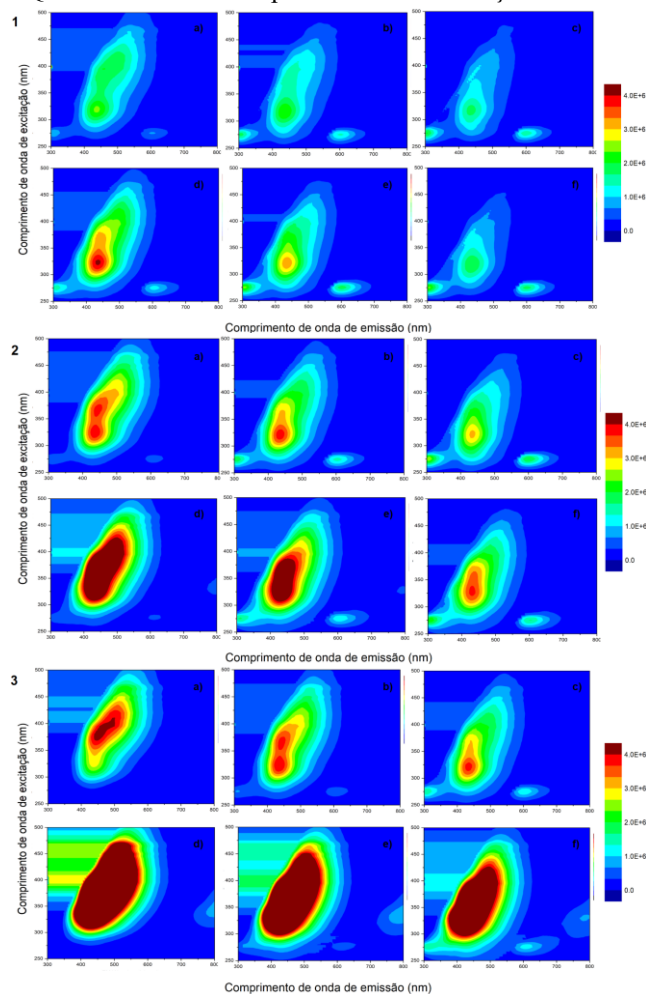


Figura 6. Mapas de excitação-emissão dos PQC's (1) 30, (2) 50 e (3) 100 mg/mL em diferentes tempos de síntese (a, b, c) 3, (d, e, f) 10 min e diluições (a, d) 50, (b, e) 100 e (c, f) 200 vezes.

Na Figura 6, observa-se que o tempo de síntese influencia significativamente os mapas de excitação-emissão. Os PQC's sintetizados por 10 min apresentam maiores intensidades de fluorescência em relação aos sintetizados por 3 min, indicando que o tempo adicional favorece o desenvolvimento de domínios π -conjugados e funcionalização superficial dos PQC's, ambos responsáveis pelo comportamento fotoluminescente mais estável e intenso (34).

Os mapas de excitação-emissão indicam que o aumento da concentração do bioprecursor e do tempo de síntese influencia diretamente a intensidade e definição de fluorescência dos PQC's. De modo geral, esses mapas revelam emissões características na faixa de 420 e 550, com máximos de excitação na faixa de 320 a 420 nm, atribuídas à presença de estruturas ricas em grupos funcionais oxigenados e aromáticos conjugados. Essas características estão associadas à formação de domínios conjugados e à funcionalização superficial dos PQC's (34).

A comparação entre os mapas de excitação-emissão do extrato aquoso com os dos PQC's evidencia que o extrato apresenta compostos naturais fluorescentes, como flavonoides, fenóis e clorofila. Em contraste, os PQC's exibem emissões em menores comprimentos de onda, com intensidades superiores e ausência de bandas atribuídas à clorofila, indicando a conversão dos compostos naturais precursores em estruturas carbonáceas durante o processo de síntese.

Conclusões

Neste estudo, foi demonstrada a viabilidade da utilização do pó das folhas de *Lippia grata* como bioprecursor para a síntese de pontos quânticos de carbono (PQC's) por meio de método assistido por microondas. A análise de FTIR do pó de *Lippia grata* revelou bandas características de diferentes grupos funcionais presentes em metabólitos secundários relevantes para a formação da estrutura dos PQC's.

Os resultados obtidos evidenciaram que tanto o tempo de síntese quanto a concentração do bioprecursor influenciam significativamente as propriedades ópticas dos materiais produzidos. Os espectros de absorção UV-Vis confirmaram a presença de estruturas aromáticas e grupos funcionais oxigenados, característico de nanomateriais de carbono, enquanto os mapas de excitação-emissão revelaram forte fluorescência na faixa de 420-550, com máximos de excitação entre 320 e 420, atribuídos à presença de domínios conjugados e à funcionalização superficial dos PQC's.

A comparação entre os espectros do extrato e os PQC's indicou uma conversão eficiente dos compostos naturais, como fenóis, flavonoides e clorofila, em estruturas carbonáceas fluorescentes com emissão na região azul-esverdeada. A ausência de fluorescência relacionada à clorofila reforça a eficácia do método de síntese assistida por microondas dos PQC's.

Assim, os resultados obtidos validam o uso de *Lippia grata* como fonte de carbono e bioprecursor para produção de PQC's, os quais se destacam como materiais promissores para aplicações em fotocatalise heterogênea, contribuindo para o avanço em tecnologias sustentáveis.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais (PPGCN), à Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA) da UERN e ao Laboratório do Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono da UFRSA.

Referências

1. Z. Yu; F. Li; Q. Xiang, *J. of Mater. Sci. & Tech.* **2024**, 179, 244-257.
2. A. Nag; S. Pawar; D. P. Damera. In: *Chapter 16 - Carbon Dots in Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 213-224.
3. Y. Wang; A. Hu. *J. Mater. Chem. C* **2014**, 2, 6921-6939.
4. X. Xu; R. Ray; Y. Gu; H. J. Ploehn; L. Gearheart; K. Raker; W. A. Scrivens, *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, 126, 12736-12737.
5. C. Sakdaronnarong; A. Sangjan; S. Boonsith; D. C. Kim; H. S. Shin, *Catalysts*. **2020**, 10, 320.
6. L. Cui; X. Ren; M. Sun; H. Liu; L. Xia, *Nanomaterials*. **2020**, 11, 3419.
7. J. B. Raval; S. K. Kailasa; V. N. Mehta. In: *Chapter 3 - Carbon Dots in Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 31-41.
8. C. A. Pal; L. P. Lingamdinne; Y. Y. Chang; J. R. Koduru. In: *Chapter 13 - Carbon Dots in Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 161-180.
9. F. Limosani; E. M. Bauer; D. Cecchetti; S. Biagioni; V. Orlando; R. Pizzoferrato; P. Proposito; M. Carbone, *Nanomaterials*. **2021**, 11, 2249.
10. D. Nagarajan; D. Gangadharan; S. Venkatanarasimhan. In: *Chapter 1 - Carbon Dots in Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 1-13.
11. F. J. Chao-Mujica; L. Garcia-Hernández; S. Camacho-López; M. Camacho-López; M. A. Camacho-López; D. R. Contreras; A. Pérez-Rodríguez; J. P. Peña-Caravaca; A. Páez-Rodríguez; J. G. Darias-Gonzalez; L. Hernandez-Tabares; O. A. de Fluente; E. Prokhorov; N. Torres-Figueroa; E. Reguera; L. F. Desdin-García. *J. Appl. Phys.* **2021**, 129, 163301.
12. J. Jumardin; A. Maddu; K. Santoso; I. Isnaeni. *Jurnal Ilmu Fisika*. **2023**, 15, 91-105.
13. N. R. Devi; T. H. V. Kumar; A. K. Sundramoorthy. *Journal of The Electrochemical Society*. **2018**, 165, G3112-G3119.
14. H. N. Abdelhamid. In: *Chapter 7 - Carbon Dots in Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 77-86.
15. G. Gedda; V. L. N. B. G. Tiruveedhi; G. Ganesh; J. Suribabu. In: *Chapter 11 - Carbon Dots in*

- Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 137-147.
16. H. Ferjani; S. Abdalla; O. A. Oyewo; D. C. Onwudiwe. *Inorganic Chemistry Communications*. **2024**, 160, 111866.
 17. M. Kavgaci; H. V. Kalmis; H. Eskalen, *International Journal of Innovative Engineering Applications*. **2023**, 7, 32-38.
 18. A. Ahlawat; T. K. Dhiman; P. R. Solanki; P. S. Rana; *Environmental Science and Pollution Research*. **2024**, 31, 46752-46759.
 19. S. Ganesan; R. Kalimuthu; T. Kanagaraj; R. Kulandaivelu; R. Nagappan; L. A. Pragasan; V. K. Ponnusamy, *Environmental Research*. **2022**, 206, 112589.
 20. N. A. Qandeel; A. A. El-Masry; M. Eid; M. A. Moustafa; R. El-Shaheny, *Analytica Chimica Acta*. **2023**, 1237, 340592.
 21. N. Sharma; I. Sharma; M. K. Bera, *Journal of Fluorescence*. **2022**, 32, 1039-1049.
 22. D. Ozyurt; M. A. Kobaisi; R. K. Hocking; B. Fox, *Carbon Trends*. **2023**, 12, 100276.
 23. C. Zhao; C. Xuebin; Y. Li; Y. Fu; L. Ye; N. Wang; V. Wang; L. Li; M. Mohammadniaei; M. Zhang; Q. Zhang; J. Liu, *Journal of Nanobiotechnology*. **2020**, 18, 1-32.
 24. A. Vibhute; T. Patil; R. Gambhir; A. P. Tiwari, *Applied Surface Science Advances*. **2022**, 11, 100311.
 25. W. Li; X. Wang; J. Lin; X. Meng; L. Wang; M. Wang; Q. Jing; Y. Song; A. Vomiero; H. Zhao, *Nano Energy*. **2024**, 122, 109289.
 26. T. V. de Medeiros; J. Manioudakis; F. Noun; JR. Maceiran; F. Victoria; R. Naccache, *Journal of Materials Chemistry C*. **2019**, 7, 7175-7195.
 27. N. Jamaludin; S. A. Rashid; B. Tongling. In: *Chapter 5 - Synthesis, Technology and Applications of Carbon Nanomaterials*. S. A. Rashid; R. N. I. R. Othman; M. Z. Hussein, Ed.; Elsevier, **2019**, 109-134.
 28. J. R. Zárate-Salazar; L. M. de Souza; M. B. de Moraes; L. P. Neto; L. Willadino; A. Gouveia-Neto; C. Ulisses, *South African Journal of Botany*. **2020**, 135, 164-171.
 29. L. E. S. Lazzarini; S. K. V. Bertolucci; A. A. de Carvalho; A. C. Santiago; F. V. Pacheco; M. M. F. Célio; J. E. B. P. Pinto, *Industrial Crops & Products*, **2019**, 129, 35-44.
 30. S. F. Felix; A. M. Rodrigues; A. L. M. Rodrigues; J. C. C. de Freitas; D. R. Alves; A. A. da Silva; D. L. dos Santos; K. R. L. de Oliveira; R. A. Montes; M. V. F. da Silva; F. F. da S. Lopes; S. M. de Moraes, *Pharmaceuticals*. **2021**, 14, 250.
 31. E. M. de O. Cruz; L. M. Costa-Junior; J. A. O. Pinto; D. de A. Santos; S. A. de Araujo; M de F. Arrigoni-Blanka; L. Bacci; P. B. Alves; S. C. de H. Cavalcanti; A. F. Blank. *Veterinary Parasitology*. **2013**, 195, 198-202.
 32. K. Kavipriya; M. Chandran. *Biomedical and Pharmacology Journal*. **2018**, 11, 141-147.
 33. M. Krysa; M. Szymanska-Chargot; A. Zdunek. *Food Chemistry*. **2022**, 393, 133430.
 34. M. Mansi; M. Bhikhu; S. Gaurav. In: *Chapter 24 - Carbon Dots in Analytical Chemistry*, S. K. Kailasa; C. M. Hussain, Ed.; Elsevier, **2023**; 319-328.