



## SÍNTESE VERDE MEDIADA POR MICRO-ONDAS PARA FORMAÇÃO DE ÓXIDO DE LANTÂNIO, EMPREGANDO O EXTRATO AQUOSO DA SEMENTE DE *SYZYGIUM MALACCENSE* L.

Araiele S. Freitas<sup>1</sup>, Ludmila S. B. Gomes<sup>1</sup>, João Daniel S. Castro<sup>1,2</sup>, Cesário F. das Virgens<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Licenciatura em Química, CEP 41195-001, Salvador, BA, Brazil

<sup>2</sup>Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada, CEP 41195-001, Salvador, BA, Brazil

**Palavras-Chave:** Síntese verde, óxido de lantânio, nanopartícula.

### Introdução

O aumento de 42% nos níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico tem sido um fator significativo nas mudanças climáticas mundialmente, um problema que impacta todo ecossistema (Clemente-Castro et al., 2022). Esse aumento é amplamente atribuído ao crescimento da produção industrial e do desmatamento. Neste contexto, a biomassa se destaca como uma das principais alternativas no cenário global para minimizar tais problemas. Classificada como a terceira fonte de energia renovável mais relevante caracterizada por sua reutilização (Rayanne.A, et al., 2019) a biomassa desempenha um papel importante na geração de subprodutos e em destaque como percurso de óxidos metálicos ganhando relevância por preconizar a minimização do emprego de reagentes tóxicos. Como alternativa para o aproveitamento de biomassa, as sementes de *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry, uma planta tropical da família Myrtaceae, apresentam-se como uma opção promissora. Conhecidos popularmente como maçã rosa ou jambo, esses frutos são originários do Sudeste Asiático e foram propagados para regiões tropicais das Américas e da África (Tamiello et al., 2018). No Brasil, a produção do fruto não é em grande escala, sendo encontrada principalmente nas regiões Norte e Nordeste, com uma produção estimada em aproximadamente 69 toneladas por ano, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Figura 1 ilustra as regiões de maior produção.



Figura 1: Mapa (BR)-Jambo-Valor da produção (Mil Reais); Fonte: IBGE

Os frutos da *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & Perry possuem formato oval e uma massa média de 40 g, dos quais aproximadamente 20% correspondem à semente como pode observado na figura 2. No entanto, essas sementes não têm aplicação ou aproveitamento significativo e são frequentemente categorizadas como resíduo sólido (Castro & Virgens, 2021). No contexto brasileiro, há um esforço crescente para explorar o potencial agrícola e florestal para o aproveitamento e reutilização de biomassa (Clara et al., 2020). A Lei nº 12.305/2010, estabelecida em 2010, regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos e busca promover a gestão sustentável dos resíduos (POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS 3a Edição, et al., 2010). Nesse cenário, a implementação dos princípios dos 5R's (Repensar, Reduzir, Recusar, Reutilizar e Reciclar) tem sido incentivada como parte de um processo educativo para promover mudanças nos hábitos cotidianos dos cidadãos.



Figura 2: Fruto do jambo-vermelho (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L. M. Perry) Fonte: imagens google

A gestão de resíduos sólidos apresenta desafios significativos, especialmente em áreas urbanas e em países em desenvolvimento. Em resposta a esses desafios, pesquisadores têm se dedicado à busca de soluções para mitigar este problema ambiental. Entre as abordagens exploradas, destacam-se a relevância na diminuição de reagentes tóxicos em efluentes e reutilização de resíduos sólidos na geração de novas matérias com potencial aplicabilidade (Anukam & Berghel, et al., 2020)

Portanto o objetivo deste trabalho visa a utilização da semente da *Syzygium malaccense* L, como agente verde (agente precipitante) junto ao agente precursor (solução de nitrato de lantânio) na síntese verde mediada por micro-ondas promovendo a formação de nanopartícula de óxido de lantânio, diminuindo o seu tempo, sendo que sínteses convencionais duram de 4 a 5 horas e a síntese verde utilizada foi realizada em 5 minutos, eliminando poluentes da reação e minimizando impactos ambientais.

## Material e Métodos

### Coleta da biomassa

A coleta das sementes de *Syzygium malaccense* (L.) foram realizadas no 2º semestre de 2023, na cidade de Salvador, Bahia. A área de coleta está situada nas coordenadas 12°57'06.4"S 38°27'34.6"W, Após a coleta, as sementes foram transportadas para o Laboratório de Química do Estado Sólido, localizado no Campus I da Universidade do Estado da Bahia, em Salvador, onde foram submetidas aos procedimentos laboratoriais necessários.



Figura 3: *Árvore do Jambo ponto de coleta UNEB-Campus I; Fonte: Autoral*



Figura 4: *Semente do Jambo ponto de coleta UNEB-Campus I; Fonte: Autoral*

### Tratamento da biomassa

Após a coleta, frutos foram submetidos a um processo de lavagem em água corrente, visando a remoção de impurezas provenientes do descarte e armazenamento. Posteriormente, a polpa foi separada das sementes. As sementes foram lavadas com água ultrapura e deixadas em banho por 30 minutos para eliminar eventuais impurezas residuais. Em seguida, realizou-se a secagem das sementes em estufa com circulação de ar (modelo SL 100 - SOLAB) a 110°C por um período de 24 horas. O material seco foi então processado e peneirado utilizando uma malha de 80 mesh (J), resultando na amostra sólida de *Syzygium malaccense* (L.), conforme ilustrado na Figura 5.

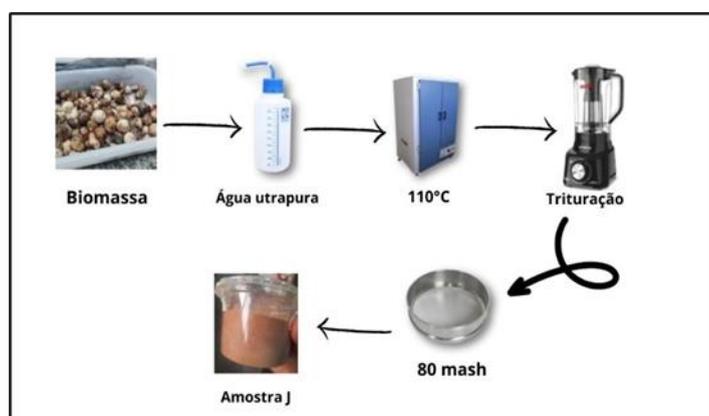


Figura 5: *Procedimento para tratamento da biomassa; Fonte: Autoral*

## Preparo do extrato

Em um balão de fundo redondo adicionou-se 12,0000g (J) e 200 ml de água ultrapura. O balão foi utilizado acoplado a um sistema de refluxo, por 2 horas a 80°C. Após essa etapa, foi realizada a filtração, utilizando bomba a vácuo ilustrado na figura 6.

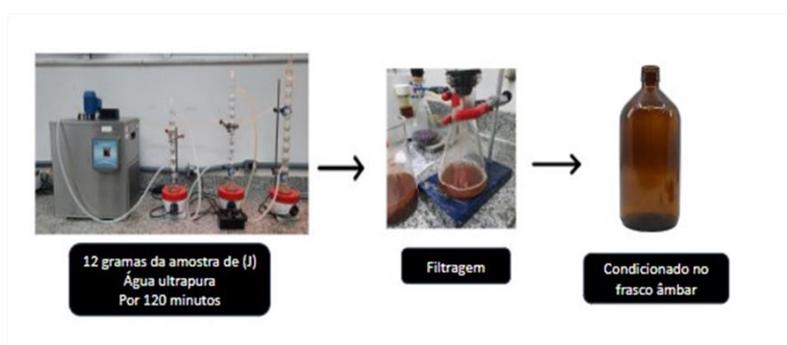


Figura 6: Procedimento para preparo do extrato; Fonte: Autoral

## Síntese verde mediada por micro-ondas

A síntese foi mediada em um reator de micro-ondas (CEM- Discovery) onde foi acoplado um balão de fundo redondo contendo 50 mL do extrato aquoso de *Syzygium malaccense* L juntamente com 50 mL de solução de nitrato de lantânio 0,01 mol.L<sup>-1</sup> numa proporção 1:1 v/v. Toda a síntese foi realizada, seguindo os programas previamente cadastrados: 5 minutos a 300W figura 7. Como pode ser observada na figura 8 que após 5 minutos no reator de micro-ondas é observada a formação de um precipitado de cor terracota. Em seguida o precipitado foi submetido a secagem em estufa à 120°C por 4h e calcinado a 500°C por 2h em mufla de micro-ondas (MFL 1000, Provecto Analítica) gerando o código (LaJe).



*Figura 7: Síntese, secagem e calcinação; Fonte: Autoral*



*Figura 8: Formação do precipitado; Fonte: Autoral*

### Caracterizações

Após a obtenção da amostra, o material então foi submetido aos testes de caracterização, evitando qualquer contaminação, para que não tenha interferências nos resultados dos testes. O material foi submetido a caracterizações por espectroscopia no Infravermelho, em um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) na faixa de 4000 – 400  $\text{cm}^{-1}$ , Difração de Raios X com fonte  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) e varredura de  $10^\circ$  a  $80^\circ$  no equipamento XRD 6000 da Shimadzu.

### Resultados e Discussão

As bandas evidenciadas na análise do FT-IR podem ser observadas na Tabela 1, onde são especificados os grupos funcionais vestígios do extrato adicionado na síntese do óxido de lantânio  $\text{La}_2\text{O}_3$ . A banda característica de alongamento La-O aparece em  $697 \text{ cm}^{-1}$  e  $501 \text{ cm}^{-1}$  indicando eficiência da síntese pela formação do-óxido de lantânio figura 9.

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Atribuições
3442	alongamento OH
2923	CH Alongamento
2857	Alongamento OH do extrato
2359	CH alongamento do extrato
1633	C=O
1486	CO
1415	Alcance CH alongamento/NO
1071	alongamento
857	alongamento CN
697 e 501	dobra CH alongamento La-O

Tabela 1: Atribuições de frequência FTIR proveniente da SJ-A La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.; Fonte: Autoral

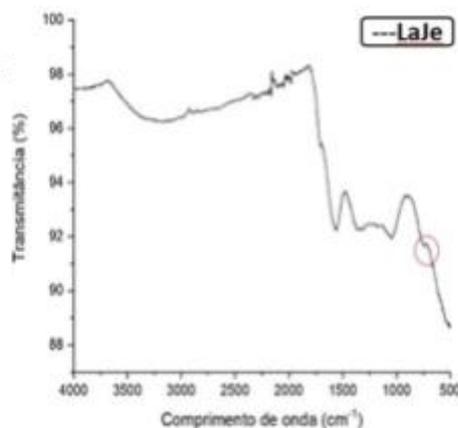


Figura 9: Gráfico Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR/ATR).; Fonte: Autoral

A difração de raios X (DRX) confirmou a formação da estrutura cúbica de corpo centrado das nanopartículas de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(SJN) encontrada na literatura. O comportamento óptico das La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi analisado pelo espectro UV-Vis. A energia bandgap das NPs La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi encontrada em 10,31 eV, conforme a figura 10.

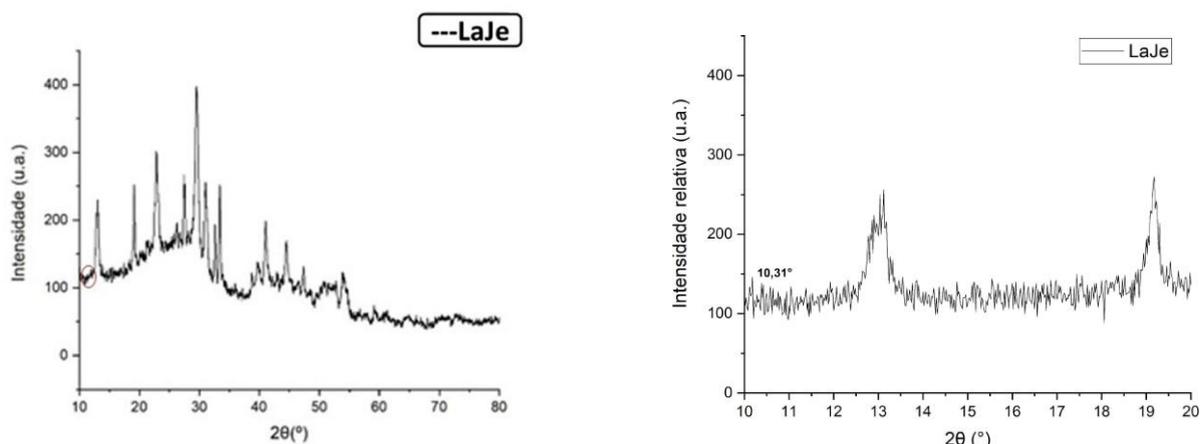


Figura 10 e 11: Gráfico Difração de Raios – X (DRX).; Fonte: Autoral

## Conclusões

A proposta de uma rota verde para a síntese mediada por micro-ondas visando a formação de óxido de lantânio utilizando extrato aquoso da semente de *Syzygium malaccense* L. se mostra não apenas viável, mas também promissora em diversos aspectos. A análise das caracterizações realizadas, juntamente com os gráficos obtidos, confirma a efetividade do método, evidenciando a formação do óxido de lantânio desejada, um dos principais avanços dessa abordagem foi a otimização do tempo de síntese, que foi significativamente reduzido em comparação aos métodos tradicionais. Essa eficiência temporal não apenas acelera o processo de produção, mas também diminui a quantidade de energia consumida, um fator crucial na busca por métodos mais sustentáveis.

Outro ponto importante a ser destacado é a considerável redução dos contaminantes gerados durante o processo. Essa característica é fundamental para a promoção de uma química mais verde, uma vez que minimiza a liberação de resíduos tóxicos e potencialmente



prejudiciais ao meio ambiente. Além disso, o uso de biomassa, como o extrato da semente de *Syzygium malaccense*, não só aproveita recursos naturais de forma mais sustentável, mas também abre caminho para a reutilização de materiais que, de outra forma, poderiam ser descartados. Portanto, a metodologia proposta não apenas avança na síntese do óxido de lantânio de maneira mais eficiente e menos poluente, mas também contribui para a discussão mais ampla sobre práticas sustentáveis na química, mostrando-se um modelo a ser seguido em futuras investigações e aplicações. Assim, a pesquisa não só se alinha com as diretrizes de desenvolvimento sustentável, mas também reforça a importância da busca por alternativas verdes na química.

### **Agradecimentos**

A Universidade do Estado da Bahia (UNEB), ao Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada e CNPq pela concessão da Bolsa.



## Referências

- Clemente-Castro, S., Palma, A., Ruiz-Montoya, M., Giráldez, I., & Díaz, M. J. (2022). Pyrolysis kinetic, thermodynamic and product analysis of different leguminous biomasses by Kissinger-Akahira-Sunose and pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105457>
- das Virgens, C. F., & Castro, J. D. S. (2021). Screening of slow pyrolysis routes for maximum biofuel production from *Syzygium malaccense* biomass by TGA-FSD and chemometric tools. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 146(5), 2005–2014. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10601-z>
- Sakulkit, P., Palamanit, A., Dejchanchaiwong, R., & Reubroycharoen, P. (2020). Characteristics of pyrolysis products from pyrolysis and co-pyrolysis of rubber wood and oil palm trunk biomass for biofuel and value-added applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104561>
- Anukam, A., & Berghel, J. (n.d.). Biomass Pretreatment and Characterization: A Review. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Masoud Salavati-Niasari, Ghader Hosseinzadeh, Fatemeh Davar, Síntese de nanopartículas de carbonato de lantânio via método sonoquímico para preparação de hidróxido de lantânio e nanopartículas de óxido de lantânio, *J. Alloy. Compd* 509 (2011) 134-140.
- Tamiel, C. S., Adami, E. R., & Acco, A. (2018). Características estruturais de polissacarídeos de frutos comestíveis de jambo (*Syzygium jambos*) e atividade antitumoral de pectinas extraídas. *Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas* (2018).