

APLICAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS NATURAIS NA OBTENÇÃO DE Co_3O_4 POR ROTA SUSTENTÁVEL

Geovana Tayná S. de Moraes^{1*}, Érica K. A. de Lima², Aluska do N. S. Braga³ e Valdeci Bosco dos Santos¹

¹Deptº de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina-PI, Brasil

*(geovana.morais@ufpi.edu.br)

²Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos-SP, Brasil

³Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB, Brasil

Resumo: Este estudo desenvolveu um método sustentável para a síntese de nanopartículas (NPs) de Co_3O_4 usando amidos (coco babaçu e de mandioca) como bioquelantes naturais. NPs calcinadas à 600 °C exibiram predominantemente a fase estrutural Co_3O_4 , com tamanhos de cristalitos em 28,02 nm (babaçu) e 26,38 nm (mandioca), indicando influência do precursor no crescimento cristalino. FTIR confirmou a formação de Co_3O_4 . Os resultados destacam o potencial dos amidos como opção sustentável e de baixo custo.

Palavras-chave: Co_3O_4 ; Síntese verde; amido de coco babaçu; amido de mandioca.

INTRODUÇÃO

As nanopartículas (NPs) de óxido de cobalto (Co_3O_4) têm atraído grande interesse no campo da pesquisa científica devido às suas propriedades físico-químicas únicas, como estabilidade térmica, características magnéticas, elétricas e eficiência catalítica (Mashan *et al.*, 2025; Narayanan *et al.*, 2026). Além disso, o Co_3O_4 é um semicondutor do tipo p com estrutura de espinélio cúbico, cuja banda proibida indireta é de aproximadamente 1,5 eV e a banda proibida direta em torno de 2,2 eV (Zhao; Ma, 2023). Essas características possibilitam sua aplicação em dispositivos eletrônicos, eletroquímicos e fotocatalíticos, sensores, não sendo restrito a essas aplicações, com potencial também em áreas emergentes como a biomédica no diagnóstico e tratamento de doenças (Mubraiz *et al.*, 2021; Mohandes *et al.*, 2023).

Nesta estrutura espinélio, os íons de cobalto localizados nos sítios A, de coordenação tetraédrica, apresentam estado de oxidação +2 (Co^{2+}), enquanto os íons situados nos sítios B, de coordenação octaédrica, encontram-se no estado +3 (Co^{3+}), apresentando ainda uma leve distorção trigonal em sua geometria (Wang *et al.*, 2022a). A Figura 1 mostra a representação da célula unitária do Co_3O_4 , na qual os íons de Co^{3+} e Co^{2+} são, respectivamente, as esferas de cor de azul

escuro e azul claro, enquanto as esferas vermelhas indicam íons de O^{2-} (Nayuca *et al.*, 2021).

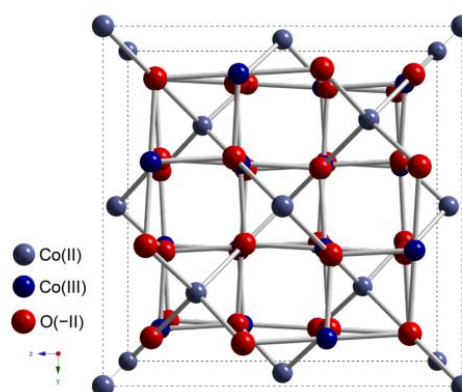


Figura 1. Representação da célula unitária de Co_3O_4 .
Fonte: ECHA (2026).

Atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (ONU, 2026), abordagens mais ecológicas de síntese de nanomateriais tem avançado a nível global. Contribui para minimizar o impacto ambiental (uso de matérias-primas renováveis) e no baixo consumo energético, uma vez que reduz o consumo de energia em 30% a 40% (Reda; Park, 2025).

Neste sentido, estudos comprovam que o uso de matérias primas naturais a exemplos de extrato aquoso de *Alhagi maurorum* (Moawad *et al.*, 2025), extratos da planta *Aerva javanica* (Mubraiz *et al.*, 2021), e usando extratos foliares de *Pedaliium murex* (Manikandan *et al.*, 2025), na síntese de NPs de Co_3O_4 não apenas reduz os impactos ambientais, mas também melhora a biocompatibilidade e as propriedades finais (térmica, elétrica e magnética) do material (Mohandes *et al.*, 2023). Além disso, outras fontes sustentáveis não vegetais, como resíduos orgânicos (por exemplo, extrato de café usado), também têm sido utilizadas com sucesso (Drummer; Mkhari; Chowdhury, 2024) e até resíduos biológicos, como urina bovina, que pode atuar como agente redutor e quelante em processos de síntese verde (Varunamugi *et al.*, 2024).

Entre os diversos recursos naturais disponíveis, o coco babaçu (fruto da palmeira babaçu - *Attalea speciosa*) (Figura 2a) é uma matéria prima promissora para a obtenção de propriedades de NPs verdes. É abundante e de fácil acesso, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, além de ser de baixo custo (Vieira *et al.*, 2023). O fruto apresenta elevado potencial econômico para aproveitamento tecnológico e industrial.

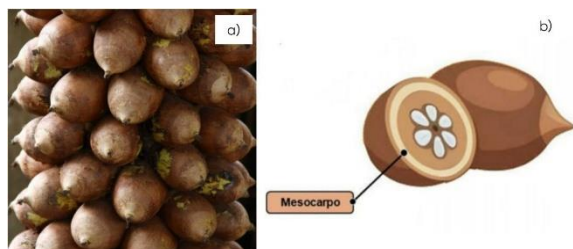


Figura 2. a) Fruto Coco babaçu e b) Corte transversal do fruto e seu mesocarpo.

Fonte: Carrer (2022); Sousa Santos *et al.*, (2023)

Por exemplo, sendo um dos constituintes do coco babaçu, o mesocarpo (Figura 2b) é de onde se é extraído a farinha (amido) de babaçu. Essa farinha (Figura 3) contém 60% de amido rico em carboidratos, fibra, sais minerais e possui propriedade anti-inflamatória (Silva *et al.*, 2021), porém a composição varia de acordo com sua origem. Além disso, o amido de babaçu possui importantes propriedades funcionais e tecnológicas, como absorção e retenção de água, gelificação, espessamento, biodegradabilidade e boa estabilidade térmica, ampliando seu potencial de uso em diversas aplicações (Mendes Silva *et al.*, 2025). Com essas propriedades, é amplamente utilizado na culinária, sendo seguro e ecologicamente correto, além de seu baixo custo.



Figura 3. Mesocarpo de coco babaçu.

Devido suas boas características, recentemente, Araruna *et al.* (2020) sintetizou e caracterizou com sucesso nanopartículas de prata utilizando o amido de mesocarpo de babaçu como agente redutor e estabilizante.

De forma semelhante, o amido de mandioca também se apresenta como uma alternativa relevante, em virtude de sua ampla disponibilidade, viabilidade econômica e propriedades físico-químicas favoráveis (Wang *et al.*, 2022b).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mandioca (EMBRAPA, 2026). A Figura 4a apresenta a raiz de mandioca, enquanto a Figura 4b mostra o aspecto visual do amido de mandioca (tapioca) obtido a partir dessa matéria-prima.



Figura 4. a) Imagem da mandioca e b) Amido de Mandioca (Tapioca).

Fonte: Jornada Amazônia (2025); Cozinha Técnica (2019)

Assim, investigações prévias mostraram com sucesso a síntese mediada por tapioca de NPs de CuFe_2O_4 , com tamanhos de cristalitos de 45 e 54 nm (Lima, 2023). Da mesma forma, a produção de NPs de CeO_2 (tamanho médio de cristalitos entre 8 e 16 nm) (Ferreira *et al.*, 2016) e NPs de ZnO com tamanho de cristalito três vezes menor em comparação a NPs ZnO sintetizados sem uso de tapioca (Almeida *et al.*, 2020).

Entre suas principais aplicações, destaca-se o uso do amido de mandioca como espessante e agente gelificante na indústria alimentícia, em razão de sua pasta transparente, alto teor de amilopectina, baixo teor de impurezas e baixa temperatura de gelificação

(Chamorro; Palencia; Lerma, 2025). Na estrutura do amido, a interação entre amilose e amilopectina resulta em um arranjo periódico, formando regiões amorfas e regiões cristalinas. Quando submetido ao aquecimento, o material sofre diferentes transformações, como absorção de água, intumescimento dos grânulos, ruptura das duplas hélices, fusão das microestruturas cristalinas, lixiviação de polissacarídeos, desorganização das partículas inchadas e, por fim, formação de pasta ou gel (Park; Kim, 2021).

Vale ressaltar que esse comportamento não é exclusivo do amido de mandioca, sendo também observado em outros amidos naturais, como o amido do mesocarpo de babaçu. Esse material apresenta características semelhantes, como a predominância de amilopectina, a presença de regiões semicristalinas e a capacidade de gelatinização, embora diferenças na composição e morfologia dos grânulos possam afetar parâmetros como temperatura de gelatinização, viscosidade e estabilidade da pasta (Mendes Silva *et al.*, 2025).

Ambos os biopolímeros configuram-se como opções sustentáveis para substituição de reagentes convencionais em processos de síntese. Até o presente momento, não foram identificados trabalhos científicos em bases de periódicos e patentes que associem especificamente os dois (amido do mesocarpo de coco babaçu e amido de mandioca) biopolímeros à síntese verde de nanopartículas de Co_3O_4 .

MATERIAL E MÉTODOS

Para a síntese verde de nanopartículas de óxido de cobalto (Co_3O_4), utilizou-se nitrato de cobalto ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), da marca ACS Científica, como precursor de cobalto de alta pureza. Como agentes de síntese, foram empregados o amido extraído do mesocarpo do coco babaçu e o amido de mandioca (tapioca), ambos materiais biodegradáveis, de baixo custo e adquiridos em redes comerciais de cooperativas e mercados locais. Além disso, utilizou-se água destilada em todo o processo.

A síntese verde iniciou-se com o amido do mesocarpo do coco babaçu adicionado à água destilada. A mistura foi aquecida sob agitação constante, promovendo a gelificação do amido. Após esse processo, adicionou-se a solução de nitrato de cobalto, permanecendo sob agitação, a fim de garantir a completa homogeneização. Em seguida, a mistura foi levada à estufa a 100°C , etapa na qual ocorreu a formação do xerogel. Posteriormente, o xerogel foi macerado em almofariz para a obtenção de um pó, que então foi submetido à calcinação a $600^\circ\text{C}/2\text{h}$, visando à formação das nanopartículas de Co_3O_4 . Após a calcinação, o material foi deixado em resfriamento até atingir a temperatura ambiente. O pó obtido foi

novamente macerado em almofariz de ágata para melhorar a sua uniformidade e denominado de Co_3O_4 -BAB. O mesmo procedimento de preparação foi usado para a síntese aplicando o amido de tapioca, sendo a amostra nomeada de Co_3O_4 -TAP. A Figura 5 mostra um resumo da síntese em estudo.

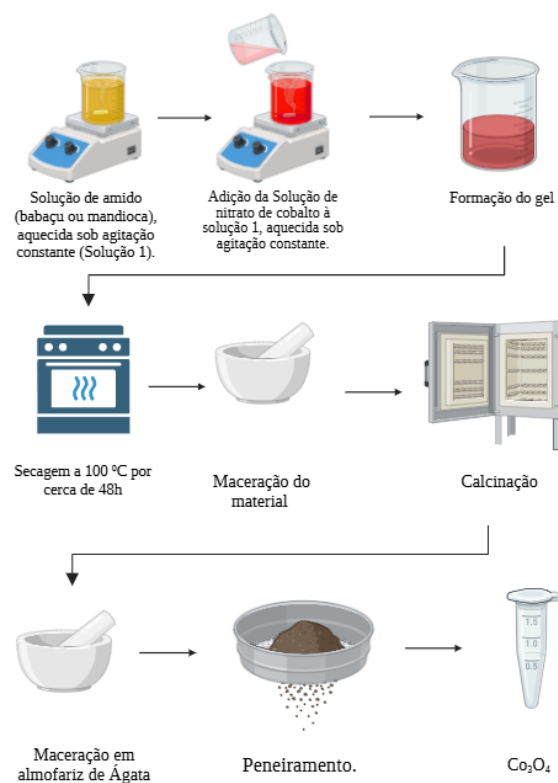


Figura 5. Fluxograma do processo de síntese das nanopartículas de Co_3O_4 .

As nanopartículas foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) utilizando um difratômetro (Shimadzu XRD-6000) com radiação $\text{K}\alpha$ de cobre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), na faixa 2θ de 5° a 80° e velocidade de $2^\circ/\text{min}$. Através desses dados, foram estimados os tamanhos de cristalitos por equação de Scherrer (Aaga e Anshebo, 2023), assim como o grau de cristalinidade com base no trabalho de Tarani *et al.*, (2023).

A caracterização de NPS de óxido de cobalto também incluiu a análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando o equipamento IRTracer-100 (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, Shimadzu). As medidas foram realizadas no modo de transmitância, cobrindo a faixa espectral de 500 a 4000 cm^{-1} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 (a, b) apresenta os difratogramas de raios X das NPs de Co_3O_4 sintetizadas com o uso de amido de mesocarpo de coco babaçu e amido de tapioca e calcinadas à $600^\circ\text{C}/2\text{h}$. Inicialmente, observam-se picos bem definidos, indicando a formação de fases

crystalinas, sendo o óxido de cobalto a fase estrutural predominante. Os DRX exibem os picos característicos do Co_3O_4 , em concordância com o padrão da ficha cristalográfica JCPDS n° 01-080-1541, cuja estrutura cristalina é do tipo cúbica.

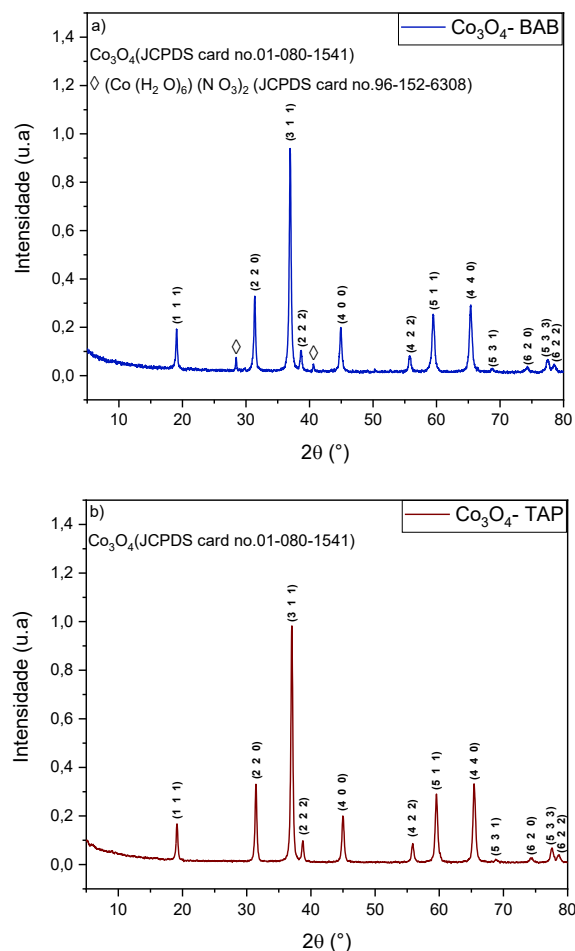


Figura 6. DRX das nanopartículas de Co_3O_4 sintetizadas com amido de: (a) mesocarpo de coco babaçu; (b) mandioca (Tapioca).

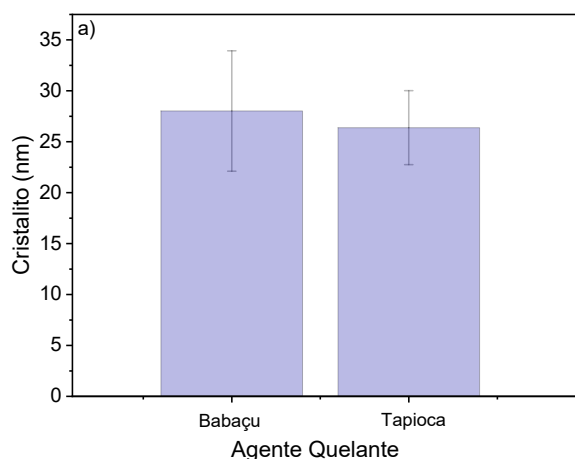
No entanto, diferenças significativas foram observadas entre as amostras sintetizadas com os diferentes amidos. A amostra apresentada na Figura 6a, sintetizada utilizando o amido do mesocarpo de coco babaçu, evidencia a presença de fases residuais, sendo identificadas apenas duas reflexões no total. Esta foi identificada como nitrato de cobalto hexahidratado ($\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6(\text{NO}_3)_2$), indicando que a decomposição do precursor não foi completamente efetiva nessa condição.

Em contrapartida, a Figura 6b, correspondente à amostra sintetizada com amido de mandioca, apresenta um padrão de difração compatível exclusivamente com o Co_3O_4 , sem presença detectável de impurezas. Esse resultado indica a formação de uma fase única e maior pureza cristalina do material obtido.

A influência do agente natural na eficiência da decomposição do precursor e na consolidação da fase espinélio tem sido discutida na literatura. Mohandes *et al.*, (2023), ao utilizarem extrato vegetal como agente redutor e estabilizante na síntese verde de Co_3O_4 , observaram que as condições de síntese e calcinação foram determinantes para a obtenção de fase única e maior cristalinidade, evidenciando que a natureza do agente orgânico empregado pode afetar diretamente a formação estrutural final do material.

Através dos dados de DRX, foram estimados os tamanhos médios dos cristalitos. Para tal foi empregada a equação de Scherrer (Aaga; Anshebo, 2023), com base na largura à meia altura (FWHM) de três picos de difração característicos do Co_3O_4 , localizados em aproximadamente $2\theta \approx 31,27^\circ$, 37° e $65,24^\circ$, correspondentes aos planos cristalográficos (220), (311) e (440), respectivamente, sendo o valor final obtido a partir da média dos tamanhos calculados. Já a taxa de cristalinidade foi obtida de acordo com o método descrito por Tarani *et al.* (2023), que utiliza a razão entre as áreas das fases cristalina e amorfa obtidas por ajuste dos picos no difratograma de DRX.

Assim, os resultados apresentados na Figura 7 (a, b), demonstram que o agente de síntese exerce influência direta sobre as características estruturais do Co_3O_4 . A amostra sintetizada com mesocarpo de coco babaçu apresentou tamanho médio de cristalito de 28,02 nm e taxa de cristalinidade de 85,74%, enquanto a amostra obtida com amido de mandioca (tapioca) apresentou cristalitos menores (26,38 nm) e maior taxa de cristalinidade (88,58%).



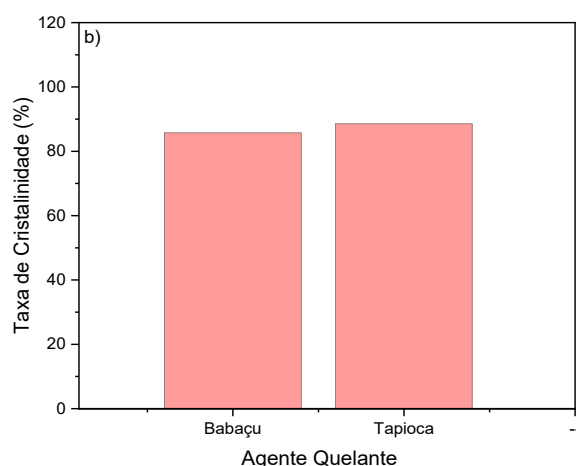


Figura 7. Nanopartículas de Co_3O_4 : (a) Tamanho de cristalito; (b) Taxa de cristalinidade.

Assim, para os resultados do presente estudo, no qual manteve-se constante a temperatura de calcinação de 600°C , observa-se a redução no tamanho de cristalito associada ao aumento da cristalinidade quando do uso do amido de mandioca. Esse comportamento sugere que o tipo de biomassa empregada na síntese verde influencia o processo de nucleação e crescimento dos cristalitos, podendo favorecer uma organização estrutural mais eficiente durante a calcinação (Alam *et al.*, 2026).

Os tamanhos de cristalito obtidos neste trabalho são comparáveis ou inferiores aos reportados na literatura para nanopartículas de Co_3O_4 sintetizadas por rotas verdes. No estudo realizado por Raimundo *et al.*, (2023), nanopartículas de Co_3O_4 foram sintetizadas por meio de rota verde utilizando *Plantago ovata* como agente redutor e estabilizante. Após a formação do precursor, o material foi submetido à calcinação a 600°C , sendo confirmada por DRX a formação da fase espinélio cúbica característica do Co_3O_4 , apresentando tamanho médio de cristalito de aproximadamente 25,3 nm. De maneira semelhante, no estudo de Mohandes *et al.* (2023), nanopartículas de óxido de cobalto foram sintetizadas por meio de um método verde utilizando extrato de sementes da planta *Caccinia macranthera*. Pós foram calcinados a 600°C , apresentaram tamanho médio de cristalito de 44,5 nm.

No estudo realizado por Imtiyaz e Singh (2025), nanopartículas de Co_3O_4 foram sintetizadas por meio de abordagem verde utilizando extrato da planta *Iris kashmiriana*. As nanopartículas foram submetidas a calcinação a 300°C durante 3 horas, resultando em um tamanho médio de cristalito de 34,57 nm. Já no estudo conduzido por Drummer; Mkhari; Chowdhury, (2024), nanopartículas de Co_3O_4 foram sintetizadas usando extrato de borra de café, calcinadas a 400°C por 3 horas e com tamanho médio do cristalito obtido foi 29,01 nm. Portanto, os resultados deste trabalho

demonstram controle eficiente do crescimento cristalino por meio de uma rota de síntese verde, confirmando o potencial do método utilizado.

Dessa forma, os resultados obtidos neste trabalho confirmam que a rota verde adotada, utilizando amido de mesocarpo de babaçu e amido de mandioca como agente quelante, foi eficiente na formação da estrutura cristalina esperada.

A Figura 8 (a, b) apresenta os espectros de FTIR das amostras, com o objetivo de identificar os grupos funcionais presentes nas nanopartículas de óxido de cobalto sintetizadas com amido de mandioca (TAP) e com amido de mesocarpo de coco babaçu (BAB). Podem ser observadas bandas intensas localizadas em torno de 670 cm^{-1} e 570 cm^{-1} , atribuídas às vibrações de estiramento das ligações Co–O nos sítios octaédricos e tetraédricos, respectivamente (Obiedallah *et al.*, 2025). Essas bandas são características da estrutura espinélio do Co_3O_4 , corroborando os resultados obtidos por DRX para ambas as amostras.

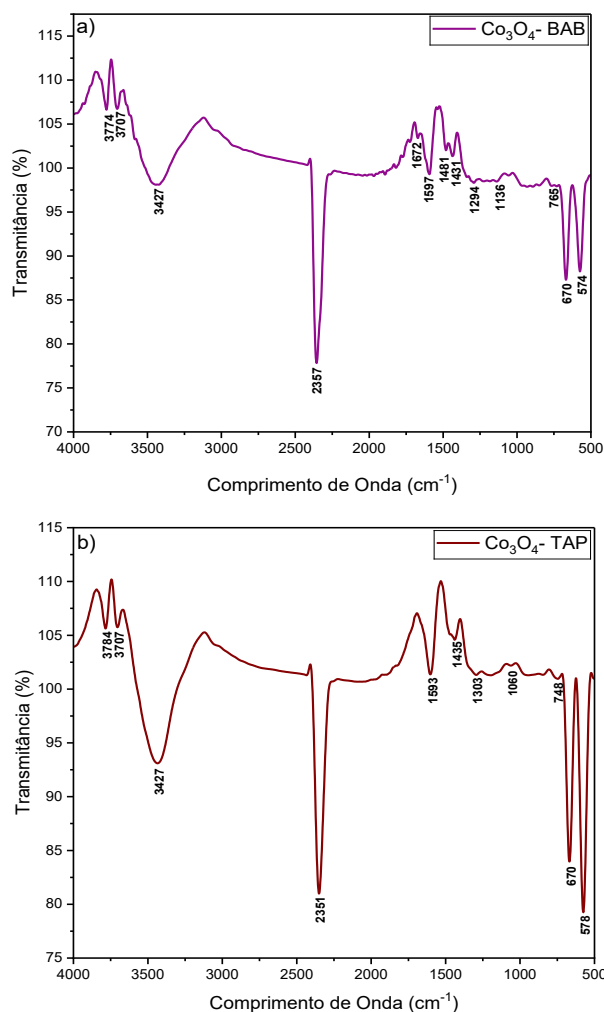


Figura 8. FTIR das nanopartículas de Co_3O_4 sintetizadas com amido de: (a) mesocarpo de coco babaçu; (b) mandioca (Tapioca).



De forma geral, na região entre aproximadamente 3800 e 3400 cm^{-1} , observa-se uma banda larga associada ao estiramento de grupos O–H, relacionada à presença de água adsorvida na superfície. Além disso, ambas as amostras apresentam bandas na região de 2400–2300 cm^{-1} , possivelmente atribuídas à presença de CO_2 adsorvido (Li *et al.*, 2024).

Diferenças entre os espectros podem ser observadas principalmente nas regiões entre 1700 e 1000 cm^{-1} , onde a amostra sintetizada com babaçu (BAB) apresenta maior intensidade e maior número de bandas, indicando a presença mais significativa de grupos funcionais orgânicos residuais, como C=O, C–O–C e C–N (Usman *et al.*, 2024). Já a amostra obtida com amido de mandioca (TAP) apresenta menor intensidade dessas bandas, sugerindo uma decomposição mais eficiente do material orgânico durante a calcinação.

Assim, a análise por FTIR confirmou a formação da fase Co_3O_4 em ambas as amostras e evidenciou a presença de grupos funcionais residuais, mais pronunciados na amostra sintetizada com mesocarpo de babaçu, possivelmente associados à maior complexidade da biomassa utilizada.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo desenvolver e comparar uma rota sustentável para a obtenção de nanopartículas de Óxido de Cobalto (Co_3O_4), utilizando matérias-primas naturais como agentes auxiliares na síntese, especificamente o amido do mesocarpo de coco babaçu e o amido de mandioca (tapioca).

Os resultados demonstraram que foi possível obter nanopós de Co_3O_4 por meio de ambos os biopolímeros naturais, evidenciando o potencial dessas matérias-primas como alternativas ecológicas aos agentes convencionais. No entanto, diferenças estruturais foram observadas entre as amostras. Quando sintetizada com amido de mandioca, a amostra apresentou formação de fase única de Co_3O_4 , com menor tamanho de cristalito (26,38 nm) e maior taxa de cristalinidade (88,58%), enquanto a amostra obtida com mesocarpo de coco babaçu apresentou a presença de fase residual associada ao precursor, indicando decomposição não totalmente efetiva na condição estudada.

O uso do amido de mandioca, possivelmente favorece a taxa de nucleação e ao crescimento cristalino, e consequentemente a uma organização estrutural mais eficiente durante a calcinação. Resultados de FTIR corroboraram com as análises obtidas por DRX para ambas as amostras.

Dessa forma, o estudo contribui para o avanço da síntese verde de nanopartículas de óxido de cobalto, demonstrando que tanto o mesocarpo de coco babaçu

quanto o amido de mandioca são alternativas viáveis, de baixo impacto ambiental, apoiando os ODS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/UFPI, e a infraestrutura utilizada na Pós-Graduação em Ciências de Materiais, e no Laboratório de Polímeros não convencional do Departamento de Física, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foram realizadas as análises de DRX e FTIR.

REFERÊNCIAS

AAGA, G. F.; ANSHEBO, S. T. Green synthesis of highly efficient and stable copper oxide nanoparticles using an aqueous seed extract of *Moringa stenopetala* for sunlight-assisted catalytic degradation of Congo red and alizarin red S. **Heliyon**, v. 9, n. 5, 2023.

AGÊNCIA EUROPEIA DOS PRODUTOS QUÍMICOS (ECHA). Tetróxido de tricobalto. Disponível em: <https://bit.ly/3fgynzt>. Acesso em: 10 abr. 2026.

ALAM, M. A. *et al.* Crystallographic bibliography of Co-precipitate derived Co_3O_4 crystalline materials. **Next Nanotechnology**, v. 9, 2026.

ALMEIDA, W. L. *et al.* Eco-friendly and cost-effective synthesis of ZnO nanopowders by tapioca-assisted sol-gel route. **Ceramics International**, v. 46, n. 8, p. 10835–10842, 2020.

BAMPOKY, N. A. Síntese de Co_3O_4 submicroestruturado pelo método hidrotermal: caracterização e aplicação como eletrocatalisador da reação de evolução de hidrogênio. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

BASTOS ARARUNA, F. *et al.* Green syntheses of silver nanoparticles using babassu mesocarp starch (*Attalea speciosa*) and their antimicrobial applications. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 13, 2020.

CARRER, L. A incrível versatilidade do coco babaçu. 2022. Disponível em: <https://flordejambu.com/a-incrivel-versatilidade-do-coco-babacu/>. Acesso em: 28 abr. 2026.

COZINHA TÉCNICA. Fécula de mandioca, polvilho doce, goma e amido de mandioca. 2019. Disponível em: <https://cozinhatecnica.com/>. Acesso em: 28 abr. 2026.

DRUMMER, S.; MKHARI, O.; CHOWDHURY, M. Green synthesis of Co_3O_4 nanoparticles using spent coffee: application in catalytic and photocatalytic dye degradation. **Next Nanotechnology**, v. 6, 2024.



FERREIRA, N. S. *et al.* Cassava-starch-assisted sol-gel synthesis of CeO_2 nanoparticles. **Materials Letters**, v. 165, p. 139–142, 2016.

JORNADA AMAZÔNIA. Produção de mandioca na Amazônia: como essa cadeia impulsiona a bioeconomia? 2025. Disponível em: <https://jornadaamazonia.org.br/>. Acesso em: 28 abr. 2026.

LI, G. *et al.* Facile synthesis of Co_3O_4 nanoparticles with enhanced catalytic performance. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 509, p. 1530–1534, 2011.

LIMA, E. K. A. Síntese sustentável de nanopós de ferrita de cobre. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2023.

MANIKANDAN, R. *et al.* Eco-friendly synthesis and analysis of cobalt oxide nanoparticles mediated by *Pedalium murex*. **Indian Journal of Science and Technology**, 2025.

MASHAN, T. T. *et al.* A comprehensive overview of Co_3O_4 nanoparticles: solution combustion synthesis and potential applications. **Nanomaterials**, v. 15, 2025.

MENDES SILVA, S. *et al.* Extração alcalina e caracterização físico-química e funcional de amido de babaçu. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 28, n. 1, 2025.

MOAWAD, R. *et al.* Biosynthesis and health promoting traits of green synthesized cobalt oxide nanoparticles. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, 2025.

MOHANDES, A. *et al.* Biosynthesis of cobalt oxide nanoparticles using *Caccinia macranthera* extract and evaluation of their cytotoxicity and photocatalytic activity. **Materials Science and Engineering B**, v. 297, 2023.

MUBRAIZ, N. *et al.* Microbial and plant assisted synthesis of cobalt oxide nanoparticles and their antimicrobial activities. **Agronomy**, v. 11, n. 8, 2021.

NARAYANAN, L. *et al.* Biogenic synthesis of Co_3O_4 nanoparticles: a multifunctional approach. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 117, n. 3, 2026.

OBIEDALLAH, F. M. *et al.* Hydrothermal synthesis of $\text{CuWO}_4/\text{Co}_3\text{O}_4$ nanocomposites for water remediation. **Ceramics International**, v. 51, n. 10, p. 13478–13492, 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/>. Acesso em: 24 abr. 2026.

RAIMUNDO, R. A. *et al.* Green synthesis of Co_3O_4 nanoparticles using *Plantago ovata*. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 932, 2023.

REDA, A. T.; PARK, Y. T. Sustainable synthesis of functional nanomaterials. **Chemical Engineering Journal**, v. 516, 2025.

SOUSA SANTOS, S. *et al.* Babaçu: explorando suas características e potencialidades. In: **Biotecnologia e Farmacologia: Abordagens Interdisciplinares na Terapêutica com Recursos Naturais**. 2023. p. 97–111.

TARANI, E. *et al.* Calculation of the degree of crystallinity of HDPE/GNPs nanocomposites. **Journal of Materials Science**, v. 58, n. 4, p. 1621–1639, 2023.

USMAN, O. *et al.* Green synthesis of metal nanoparticles and study their anti-pathogenic properties against pathogens effect on plants and animals. **Scientific Reports**, v. 14, p. 11354, 2024.

VARUNAMUGI, R. *et al.* Synthesis and characterization of Co_3O_4 , CuO and NiO nanoparticles. **Physics Letters A**, v. 512, 2024.

VIEIRA, I. R. S. *et al.* Development and characterization of photoprotective nanoemulsions containing babassu extract. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 59, 2023.

WANG, R. P. *et al.* Analyzing the local electronic structure of Co_3O_4 . **Journal of Physical Chemistry C**, v. 126, n. 20, p. 8752–8759, 2022a.

WANG, Z. *et al.* Cassava starch: chemical modification and functional properties. **Food Hydrocolloids**, v. 129, 2022b.

ZHAO, F.; MA, H. Application of Co_3O_4 in photoelectrocatalytic treatment. **Crystals**, v. 13, 2023.