

BIOSSÍNTESE DE PARTÍCULAS DE ZINCO UTILIZANDO EXTRATO DE *CITRUS SINENSIS* COM ACOMPANHAMENTO ESPECTROFOTOMÉTRICO

Bruna Goulard^{1,2}; Suzana Cimara Batista^{1,3}

¹Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Palhoça, Brasil

²Estudante ³Docente

Resumo: O presente trabalho apresenta a biossíntese de partículas de óxido de zinco (ZnO) a partir de extrato aquoso de folhas de *Citrus sinensis* e sulfato de zinco. A formação do material foi acompanhada por espectrofotometria UV-Vis durante 35 dias. As alterações observadas na região do ultravioleta e a formação de precipitado indicaram a interação entre os constituintes do extrato vegetal e os íons Zn^{2+} , apresentando comportamento compatível com a formação de material particulado à base de zinco, destinado a estudos posteriores de aplicação catalítica.

Palavras-chave: partículas de ZnO; biossíntese verde; espectrofotometria UV-Vis

INTRODUÇÃO

A poluição por polímeros sintéticos representa um dos maiores desafios ambientais da atualidade. A persistência desses materiais no ambiente, combinada com sua resistência à degradação natural, tem impulsionado a busca por tecnologias inovadoras e sustentáveis de remediação (GEYER et al., 2017).

Nesse contexto, a nanotecnologia verde surge como alternativa promissora. A síntese biológica de nanopartículas metálicas, utilizando extratos vegetais como agentes redutores e estabilizantes, representa uma abordagem ecologicamente sustentável em comparação aos métodos

físico-químicos convencionais, que frequentemente envolvem reagentes tóxicos e elevado consumo energético (IRAVANI, 2011).

As nanopartículas de ZnO destacam-se por suas propriedades fotocatalíticas, antimicrobianas e semicondutoras, apresentando amplo potencial de aplicação na degradação de compostos orgânicos persistentes. A síntese verde de ZnO mediada por extratos de *Citrus sinensis* já foi demonstrada, com obtenção de material cristalino e atividade fotocatalítica (LUQUE et al., 2018). Mais recentemente, o extrato aquoso das folhas da espécie também foi empregado na obtenção de nanopartículas de ZnO, evidenciando a aplicabilidade desse material vegetal na rota verde (MEHREENA et al., 2026). Compostos fenólicos e flavonoides presentes nos extratos vegetais podem interagir com os íons metálicos e contribuir para a formação e estabilização das partículas (IRAVANI, 2011).

O presente trabalho tem como objetivo sintetizar partículas de óxido de zinco por rota verde, utilizando extrato aquoso de folhas de *Citrus sinensis* e sal de zinco com a finalidade de utilizar como catalizador para a degradação de polímeros.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção do extrato e purificação

As folhas de *Citrus sinensis* in natura foram coletadas e higienizadas com água corrente para remoção de impurezas. Em seguida, foram secas em estufa a 100 °C por aproximadamente 30 minutos, visando à redução da umidade do material vegetal. As Figuras 1 e 2 ilustram as folhas antes e após o processo de desidratação.



Figura 1. Folha de *Citrus sinensis* in natura. Fonte: As autoras, 2026.



Figura 2. Folha de *Citrus sinensis* desidratada. Fonte: As autoras, 2026.

Após a secagem, foram pesados aproximadamente 10 g de folhas secas em balança analítica. O material foi transferido para um gral e submetido à maceração manual com auxílio de pistilo, utilizando 80 mL de água destilada como solvente extrator (Figura 3). A suspensão obtida foi transferida para tubos de centrifugação e centrifugada por 10 minutos (Figura 4). O sobrenadante foi coletado com auxílio de pipeta de Pasteur e submetido a uma segunda centrifugação nas mesmas condições, favorecendo a separação do extrato líquido dos resíduos sólidos. Ao término do processo, foram obtidos 21 mL de extrato aquoso.



Figura 3. Maceração das folhas com auxílio de pistilo e água destilada. Fonte: As autoras, 2026.



Figura 4. Centrifugação da suspensão para separação do extrato aquoso. Fonte: As autoras, 2026.

Síntese das partículas de zinco

Ao extrato obtido foram adicionados 1,4 g de sal de zinco. A mistura foi homogeneizada e acondicionada em frasco com tampa de rosca, devidamente identificado, sendo mantida em repouso durante 35 dias para acompanhamento da reação de formação do material particulado.

Análise espectrofotométrica

A reação de biossíntese foi acompanhada por espectroscopia UV-Vis, com leituras de absorbância na faixa de 290 a 900 nm, mediante a retirada de alíquotas em diferentes tempos reacionais.

O acompanhamento espectrofotométrico foi conduzido durante 35 dias, permitindo o monitoramento temporal da reação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reação de biossíntese foi monitorada ao longo do tempo por espectrofotometria UV-Vis. A Figura 5 apresenta os espectros de absorbância obtidos durante o período de análise. A primeira leitura correspondeu

ao extrato vegetal puro, enquanto as leituras posteriores foram realizadas com a mistura contendo o extrato vegetal e o sal de zinco.

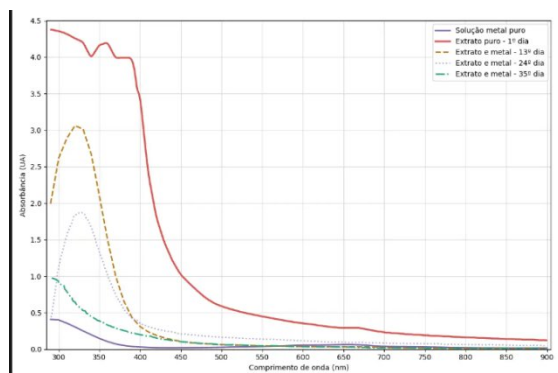


Figura 5. Espectros UV-Vis do acompanhamento da reação de biossíntese de partículas de zinco.

Os espectros de UV-Vis evidenciaram alterações expressivas após a adição do sulfato de zinco ao extrato de *Citrus sinensis*. O extrato puro apresentou elevada absorvância entre 300 e 400 nm, comportamento compatível com a presença de diferentes constituintes fitoquímicos capazes de absorver radiação no ultravioleta. Na síntese verde de ZnO, compostos orgânicos contendo grupos hidroxila, carbonila e outros sítios coordenantes podem interagir com os íons Zn^{2+} e atuar na complexação, nucleação, crescimento e recobrimento superficial do material. Doan Thi et al. (2020) propuseram que flavonoides, limonoides e carotenoides presentes em extratos cítricos podem funcionar como ligantes dos íons de zinco, enquanto Mehreena et al. (2026), utilizando especificamente extrato aquoso de folhas de *Citrus sinensis*, confirmaram a participação de grupos funcionais orgânicos na obtenção e estabilização de nanopartículas de ZnO. Esses estudos sustentam o emprego do extrato foliar

como matriz biológica ativa na rota proposta. Ressalta-se que a curva de menor absorvância corresponde à solução do metal, empregada como controle do precursor de Zn^{2+} , e não ao zinco metálico; sais solúveis de zinco são utilizados como fontes do cátion na síntese verde de ZnO (DOAN THI et al., 2020). A baixa absorvância desse controle é importante para a interpretação dos resultados, pois evidencia que a elevada intensidade do extrato e as modificações observadas nas misturas não decorrem predominantemente da absorção direta do sal isolado, mas da contribuição dos constituintes fitoquímicos e das interações estabelecidas entre esses compostos e os íons Zn^{2+} . Assim, a leitura do precursor isolado fortalece a atribuição das mudanças de intensidade e do perfil espectral à evolução do sistema reacional, embora a confirmação de nanopartículas de ZnO dependa de caracterizações complementares (SEGETS et al., 2009; DOAN THI et al., 2020).

Após a adição do precursor metálico, observou-se redução da intensidade do espectro e modificação da banda na região de aproximadamente 320–340 nm. A literatura apresenta máximos de absorção em diferentes posições dentro da região ultravioleta para ZnO obtido por rotas verdes. Jayachandran et al. (2021) registraram máximo próximo de 320 nm para partículas sintetizadas com extrato de *Cayratia pedata*; Mehreena et al. (2026) observaram absorção em 281 nm para nanopartículas de ZnO produzidas com folhas de *Citrus sinensis*; e Molla et al. (2026) identificaram bandas entre 350 e 380 nm, com máximo próximo de 370 nm,

em materiais obtidos com casca de laranja. Assim, a posição observada no presente estudo encontra-se dentro da ampla faixa relatada para sistemas vegetais, cuja resposta óptica pode variar em função da composição do extrato, da proporção entre precursor e biomassa, do tamanho, da agregação e das características superficiais das partículas.

A comparação com esses trabalhos mostra que a banda de UV-Vis deve ser interpretada pelo conjunto formado por posição, intensidade, largura e evolução temporal, e não por um único comprimento de onda fixo. Segets et al. (2009) demonstraram que o perfil de absorvância de dispersões coloidais de ZnO é sensível à distribuição de tamanhos, à solubilidade e às propriedades superficiais. Molla et al. (2026) também observaram que mudanças na proporção entre o precursor de zinco e o extrato alteraram a intensidade da absorção, o grau de agregação e a morfologia das partículas. Desse modo, a diminuição e a modificação da banda após a adição do ZnSO_4 indicam uma reorganização do sistema químico e óptico, compatível com a interação dos metabólitos vegetais com Zn^{2+} e com a geração de uma fase particulada.

Considerando o espectro do extrato puro como referência inicial, a redução relativa da absorvância foi calculada em 300 e 350 nm. Em 300 nm, observaram-se reduções de 40,1%, 73,9% e 78,3% após 14, 28 e 35 dias, respectivamente. Em 350 nm, as reduções foram de 49,7%, 67,6% e 90,6% nos mesmos períodos. A queda progressiva foi mais acentuada em 350 nm ao final do acompanhamento, demonstrando que a região espectral

inicialmente dominada pelos constituintes do extrato sofreu transformação expressiva. Essa variação pode estar associada ao consumo, à complexação ou à adsorção de moléculas orgânicas na superfície do material formado, além da retirada de partículas da fase dispersa por agregação e sedimentação. Os percentuais representam a alteração relativa do sinal óptico em relação ao extrato puro, não correspondendo diretamente ao rendimento de síntese ou à fração de ZnO formada.

A Figura 6 apresenta a redução relativa da absorvância, calculada pela expressão:

$$\text{Redução relativa (\%)} = [(A_{\text{extrato puro}} - A_t) / A_{\text{extrato puro}}] \times 100$$

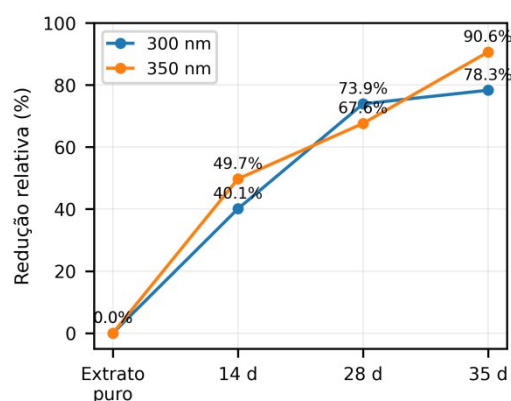


Figura 6. Redução relativa da absorvância em 300 e 350 nm após a adição do sal de zinco ao extrato de *Citrus sinensis*, utilizando o extrato puro como referência. Fonte: os autores, 2026.

O acompanhamento em diferentes tempos permite discutir a evolução do sistema como um processo constituído por etapas sucessivas. Caetano et al. (2011), por meio do monitoramento simultâneo por UV-Vis, SAXS e XAFS, descreveram a formação de nanocristais de ZnO como uma sequência envolvendo nucleação e crescimento, formação de agregados compactos, desenvolvimento de agregados de maior complexidade e nucleação secundária. Herbst, Hofmann e Förster

(2019) também verificaram que a síntese de ZnO inclui reações do precursor, nucleação, crescimento inicial e uma etapa posterior de cristalização, acompanhada por alterações na borda de absorção. Embora o presente estudo tenha caráter preliminar e utilize uma matriz vegetal, esses modelos fornecem base para interpretar a resposta temporal como resultado da coexistência de processos de formação, crescimento, reorganização e agregação do material à base de zinco.

Entre 300 e 350 nm, a diminuição contínua da absorbância indica a redução das espécies que absorviam intensamente nessa região. Entretanto, em 400 e 450 nm, foi observado aumento intermediário aos 28 dias, seguido de diminuição aos 35 dias. Esse comportamento não linear pode representar uma etapa transitória em que o aumento da turbidez ou da quantidade de agregados dispersos elevou a contribuição de espalhamento da luz. A posterior queda do sinal é coerente com a sedimentação de parte desse material. Bala et al. (2015) demonstraram que o crescimento de ZnO sintetizado com extrato vegetal é sensível às condições da reação e que mudanças na formação das partículas são acompanhadas por alterações espectroscópicas. Ramesh, Anbuvaran e Viruthagiri (2015) também verificaram que partículas de ZnO obtidas com extrato foliar podem apresentar aglomeração e necessitam de caracterização conjunta por UV-Vis, DRX e microscopia para relacionar o comportamento óptico à estrutura formada. A formação de precipitado após 35 dias constitui evidência visual complementar da separação de uma fase particulada. A presença desse sólido, associada à redução

de até 90,6% da absorbância em 350 nm e à alteração da banda no ultravioleta, reforça que a adição do precursor desencadeou mudanças químicas e físico-químicas no extrato. Caetano et al. (2011) mostraram que a agregação pode integrar o próprio processo de evolução de sistemas coloidais de ZnO, enquanto Molla et al. (2026) registraram morfologias desde aglomerados densos até estruturas mais alongadas conforme a razão entre extrato e precursor. Nesse contexto, o precipitado observado pode representar o estágio em que agregados ou partículas maiores perderam estabilidade na suspensão e se depositaram no fundo do recipiente.

Os resultados também evidenciam a importância da razão entre a quantidade de extrato e a concentração do precursor metálico. Luque et al. (2018) observaram que diferentes quantidades de extrato de *Citrus sinensis* influenciaram a homogeneidade, o tamanho e a forma das partículas de ZnO. Doan Thi et al. (2020) e Molla et al. (2026) igualmente demonstraram que parâmetros de síntese e proporções dos reagentes afetam a estrutura, a morfologia e a resposta óptica. No presente trabalho, a utilização de 1,4 g de sulfato de zinco em 21 mL de extrato estabeleceu uma condição capaz de produzir alterações espectrais progressivas e material precipitado. Em trabalhos posteriores, a avaliação de diferentes razões extrato/precursor poderá permitir a identificação da condição de maior rendimento, menor agregação e melhor estabilidade da dispersão.

A literatura confirma ainda que o UV-Vis é uma ferramenta útil para acompanhar a formação de ZnO, mas sua interpretação é

fortalecida quando associada a técnicas complementares. Jayachandran et al. (2021) confirmaram o material por DRX, FESEM, EDS e FTIR; Mehreena et al. (2026) combinaram UV-Vis, potencial zeta, análise de tamanho, FTIR, MEV e DRX; e Luque et al. (2018) utilizaram caracterizações estruturais e morfológicas para demonstrar a fase cristalina do ZnO. Portanto, as evidências obtidas neste estudo sustentam a biossíntese de material particulado à base de zinco e justificam a continuidade da investigação. FTIR poderá indicar os grupos do extrato associados ao material; DRX permitirá confirmar a fase cristalina; microscopia eletrônica e EDS poderão determinar morfologia e composição; e DLS e potencial zeta contribuirão para avaliar o tamanho hidrodinâmico e a estabilidade coloidal.

Do ponto de vista aplicado, a obtenção de material à base de zinco por uma rota mediada por *Citrus sinensis* é relevante para o desenvolvimento de processos sustentáveis. Luque et al. (2018) demonstraram atividade fotocatalítica de ZnO sintetizado com extrato cítrico na degradação de azul de metileno, enquanto Mehreena et al. (2026) observaram atividade antifúngica de nanopartículas de ZnO produzidas com folhas de laranja. Doan Thi et al. (2020) também relataram atividade antibacteriana de ZnO obtido com resíduo de laranja. Esses resultados da literatura não representam comprovação de atividade para o material do presente estudo, mas indicam que a rota investigada possui fundamento para etapas posteriores de caracterização e avaliação catalítica. Assim, o acompanhamento espectrofotométrico realizado constitui

uma etapa inicial consistente para orientar a recuperação, purificação e aplicação futura do material biossintetizado.

A Figura 7 apresenta o aspecto visual da mistura de extrato de *Citrus sinensis* e sulfato de zinco após 35 dias de repouso, evidenciando a formação e a sedimentação do material particulado discutido anteriormente.



Figura 7. Aspecto visual da mistura de extrato de *Citrus sinensis* com sal de zinco após 35 dias, evidenciando a formação de precipitado.

CONCLUSÃO

A rota verde utilizando extrato aquoso de folhas de *Citrus sinensis* e sal de zinco promoveu a formação de material particulado, evidenciada pelas alterações no perfil de UV-Vis e pelo aparecimento de precipitado ao longo de 35 dias. A modificação da banda próxima de 320–340 nm e as reduções observadas em 300 e 350 nm demonstram a evolução da reação e sustentam a viabilidade da rota proposta.

Os resultados indicam que os compostos bioativos presentes no extrato vegetal participam da interação com os íons Zn^{2+} e da formação das partículas. O material obtido mostra-se promissor para caracterizações complementares e para posterior avaliação em processos catalíticos de degradação de polímeros sintéticos. As análises por FTIR, DRX e microscopia eletrônica permitirão



consolidar a identificação estrutural e morfológica das partículas biossintetizadas.

REFERÊNCIAS

BALA, N. et al. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Hibiscus sabdariffa leaf extract: effect of temperature on synthesis, antibacterial activity and antidiabetic activity. *RSC Advances*, v. 5, p. 4993–5003, 2015.

CAETANO, B. L. et al. In situ and simultaneous UV–Vis/SAXS and UV–Vis/XAFS time-resolved monitoring of ZnO quantum dots formation and growth. *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 115, n. 11, p. 4404–4412, 2011.

DOAN THI, T. U. et al. Green synthesis of ZnO nanoparticles using orange fruit peel extract for antibacterial activities. *RSC Advances*, v. 10, p. 23899–23907, 2020.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, v. 3, n. 7, e1700782, 2017.

HERBST, M.; HOFMANN, E.; FÖRSTER, S. Nucleation and growth kinetics of ZnO nanoparticles studied by in situ microfluidic SAXS/WAXS/UV–Vis experiments. *Langmuir*, v. 35, n. 36, p. 11702–11709, 2019.

IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, v. 13, n. 10, p. 2638–2650, 2011.

JAYACHANDRAN, A.; ASWATHY, T. R.; NAIR, A. S. Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Cayratia pedata leaf extract. *Biochemistry and Biophysics Reports*, v. 26, 100995, 2021.

LUQUE, P. A. et al. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Citrus sinensis extract. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, v. 29, p. 9764–9770, 2018.

MEHREENA, S. et al. Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Citrus sinensis leaf extract for antifungal activity against Macrophomina phaseolina. *ChemistrySelect*, v. 11, n. 13, e04733, 2026.

MOLLA, A. et al. Green synthesis of ZnO nanoparticles using Citrus sinensis peel: optimizing volume ratios for enhanced antibacterial and banana preservation activities. *BMC Biotechnology*, v. 26, art. 62, 2026.

RAMESH, M.; ANBUVANNAN, M.; VIRUTHAGIRI, G. Green synthesis of ZnO nanoparticles using Solanum nigrum leaf extract and their antibacterial activity. *Spectrochimica Acta Part A*, v. 136, p. 864–870, 2015.

SEGETS, D. et al. Analysis of optical absorbance spectra for the determination of ZnO nanoparticle size distribution, solubility, and surface energy. *ACS Nano*, v. 3, n. 7, p. 1703–1710, 2009.