



Biossíntese verde de partículas de prata mediada por extrato aquoso de *Cymbopogon citratus*: evidências preliminares e perspectivas para remediação de efluentes

Maira Eduarda Ayala¹; Suzana Cimara Batista¹

¹Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil e e-mail:mariaeduardaayala4@gmail.com

Resumo: Este estudo avaliou uma rota verde para obtenção de material particulado de prata com extrato aquoso de *Cymbopogon citratus*. Folhas secas foram maceradas em água, e o extrato foi reagido com nitrato de prata. O escurecimento observado aos 28 e 128 dias indica transformação do sistema compatível com redução de íons prata.

Palavras-chave: *Cymbopogon citratus*; síntese verde; prata; extrato vegetal; remediação ambiental.

INTRODUÇÃO

A descarga de efluentes contendo corantes sintéticos por setores têxtil, farmacêutico, alimentício, cosmético e de papel e celulose constitui um problema ambiental relevante. Muitos desses compostos apresentam estruturas aromáticas complexas, elevada estabilidade e baixa biodegradabilidade, o que dificulta sua remoção por tratamentos convencionais. Além do impacto visual, concentrações reduzidas podem alterar a penetração de luz, a fotossíntese e a dinâmica de oxigênio nos corpos hídricos, enquanto produtos de degradação podem apresentar toxicidade ou persistência ambiental (Crini, 2006).

A busca por processos de menor impacto tem ampliado o interesse por rotas de síntese de materiais metálicos mediadas por organismos ou extratos naturais. Na síntese verde, metabólitos presentes em plantas podem participar da redução de íons metálicos e da estabilização das partículas formadas, diminuindo a necessidade de redutores e agentes de recobrimento sintéticos. A disponibilidade da biomassa, a simplicidade do preparo e a possibilidade de condução em meio aquoso são vantagens frequentemente associadas a essa abordagem (Irvani, 2011; Makarov et al., 2014).

A formação de partículas de prata envolve, de modo simplificado, a redução de Ag^+ a prata metálica (Ag^0), seguida de nucleação, crescimento e estabilização superficial. Grupos funcionais de fenóis, flavonoides, terpenos, açúcares e proteínas podem doar elétrons ou adsorver-se à superfície do material, embora o mecanismo dependa da composição do extrato e de variáveis como pH, temperatura, concentração do sal, proporção entre extrato e precursor e tempo de reação (Irvani, 2011; Siddiqi et al., 2018; Nguyen et al., 2023).

Entre as espécies vegetais investigadas, o *Cymbopogon citratus* destaca-se por ser uma gramínea aromática amplamente cultivada em regiões tropicais. A literatura descreve a presença de citral e outros terpenoides, além de compostos fenólicos e flavonoides, cuja composição varia conforme origem, parte vegetal e método de extração (Shah et al., 2011; Basera et al., 2019). Essas

classes químicas justificam o interesse da espécie como matriz de biossíntese.

Estudos específicos já demonstraram a obtenção de nanopartículas de prata a partir de extratos de *C. citratus*, com confirmação por técnicas como UV-Vis, FTIR, difração de raios X e microscopia eletrônica. Ajayi e Afolayan (2017) observaram mudança de amarelo para castanho-escuro e caracterizaram material nanométrico cristalino. Basera et al. (2019) relacionaram grupos funcionais do extrato à redução e ao recobrimento das partículas. Mais recentemente, Kurra et al. (2025a) demonstraram que a padronização do pH, da temperatura, do tempo e da concentração de AgNO_3 influencia diretamente tamanho, dispersão e estabilidade.

Apesar desse potencial, é necessário distinguir observações indicativas de comprovação analítica. A alteração de cor pode acompanhar a formação de partículas de prata, mas também pode refletir oxidação de constituintes vegetais, agregação ou formação de outras espécies. A classificação como “nanopartícula” exige evidência de dimensão na faixa nanométrica e caracterização físico-química adequada.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi preparar extrato aquoso de *C. citratus*, empregá-lo em uma rota verde com nitrato de prata e registrar as alterações macroscópicas durante o armazenamento, discutindo os resultados à luz da literatura e delimitando os ensaios necessários para confirmar a natureza do material e sua futura aplicação ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do extrato aquoso

Folhas de *Cymbopogon citratus* foram coletadas no município de Palhoça, Santa Catarina. O material vegetal foi lavado em água corrente para remoção de partículas superficiais e, em seguida, submetido à secagem em estufa a 100 °C por aproximadamente 30 minutos. Após a secagem, foram pesados 10 g de folhas em balança analítica (Figura 1).



Figura 1. Pesagem do material vegetal após a secagem.
Fonte: as autoras (2026).



Figura 3. Aspecto da suspensão vegetal após a maceração.
Fonte: as autoras (2026).

As folhas foram maceradas manualmente em cadinho com auxílio de pistilo, utilizando-se 50 mL de água destilada como solvente extrator (Figura 2). A maceração promoveu a fragmentação do tecido e o contato entre a fase aquosa e os constituintes solúveis da planta.



Figura 2. Maceração das folhas de capim-cidreira em água destilada.
Fonte: as autoras (2026).

A suspensão obtida após a maceração apresentou coloração verde-escura e material vegetal em dispersão (Figura 3). A mistura foi centrifugada por 10 minutos, o sobrenadante foi recolhido e submetido a uma segunda centrifugação para melhorar a separação entre a fase líquida e os resíduos sólidos.

Na sequência, a fase líquida foi filtrada. O procedimento resultou em aproximadamente 15 mL de extrato aquoso, de coloração amarelada-esverdeada, utilizado imediatamente na etapa de reação com o nitrato de prata (Figura 4). Não foram realizados, nesta etapa, ensaios quantitativos de fenólicos totais, flavonoides ou capacidade redutora do extrato.



Figura 4. Extrato aquoso após centrifugação e filtração.
Fonte: as autoras (2026).

A água foi escolhida como solvente por apresentar baixa toxicidade, disponibilidade e compatibilidade com a proposta de síntese verde. Entretanto, a eficiência de extração depende de fatores como razão massa/volume, temperatura, tempo e granulometria. A padronização desses parâmetros é necessária para melhorar a reprodutibilidade entre lotes. Essa escolha é coerente com rotas vegetais conduzidas em meio aquoso descritas na literatura (Iravani, 2011; Makarov et al., 2014).

Reação com nitrato de prata

Para a síntese, foram pesados 1,4 g de nitrato de prata (AgNO_3) e 10 mL do extrato aquoso de *C. citratus* (Figura 5). Os componentes foram reunidos e homogeneizados em recipiente plástico com tampa de rosca. O sistema foi mantido em repouso, protegido de manipulações excessivas, para permitir a interação entre os constituintes do extrato e os íons prata.

Com base na massa molar do AgNO_3 ($169,87 \text{ g mol}^{-1}$), a massa registrada corresponde a aproximadamente 8,24 mmol. Considerando 10 mL como volume nominal do sistema, obtém-se uma concentração aproximada de $0,824 \text{ mol L}^{-1}$ (824 mM).



Figura 5. Nitrato de prata e extrato vegetal antes da homogeneização.

Fonte: as autoras (2026).



Figura 6. Sistema reacional após a homogeneização e o armazenamento.

Fonte: as autoras (2026).

Após o período de reação, as amostras foram centrifugadas por 10 minutos. O material sedimentado foi lavado sucessivamente com água destilada para remoção de constituintes solúveis e excesso de

reagentes. O material purificado foi armazenado em dessecador para análises posteriores.

Controles e critérios de reprodutibilidade

Em uma repetição do experimento, recomenda-se preparar pelo menos três grupos paralelos: extrato sem AgNO_3 , solução de AgNO_3 sem extrato e mistura completa. O primeiro grupo permite acompanhar a oxidação natural dos compostos vegetais; o segundo evidencia alterações do sal nas condições de armazenamento; e o terceiro representa o sistema de biossíntese. A comparação deve ser feita nos mesmos tempos e condições de luz e temperatura.

A produção de três réplicas independentes por condição permitiria estimar a variabilidade do processo. Para cada lote, devem ser registrados massa seca, volume, pH inicial e final, temperatura, tempo de reação e aparência. Nguyen et al. (2023) destacam que a concentração do precursor, o tipo e a quantidade de estabilizante e as condições energéticas modificam a nucleação, o tamanho e a polidispersidade das partículas de prata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alterações macroscópicas do sistema

O extrato recém-filtrado apresentou tonalidade amarelada-esverdeada. Após a adição do nitrato de prata e o armazenamento, observou-se escurecimento acentuado do sistema. Após 28 dias, a amostra apresentava coloração muito escura e aspecto relativamente homogêneo (Figura 7). Aos 128 dias, a coloração permaneceu escura, com indícios visuais de sedimentação e possível agregação (Figura 8).



Figura 7. Aspecto do sistema após 28 dias de armazenamento.

Fonte: as autoras (2026).

Em sínteses de prata mediadas por extratos vegetais, a transição de tonalidades claras para castanho ou castanho-escuro é frequentemente associada à redução de Ag^+ , à nucleação e ao desenvolvimento de

ressonância plasmônica de superfície. Ajayi e Afolayan (2017) relataram mudança visual semelhante em sistema preparado com *C. citratus*. Kurra et al. (2025a) também utilizaram a mudança de cor como indicação inicial.



Figura 8. Aspecto do sistema após 128 dias de armazenamento.
Fonte: as autoras (2026).

No presente trabalho, a observação visual é compatível com a ocorrência de transformação química. A matriz vegetal pode sofrer oxidação e polimerização, contribuindo para o escurecimento. Além disso, o armazenamento prolongado pode favorecer crescimento de partículas, agregação e sedimentação, fenômenos que alteram a aparência sem informar a composição do sólido.

Papel provável dos constituintes vegetais

O capim-cidreira contém terpenoides, compostos fenólicos e flavonoides, entre outros metabólitos. Grupos hidroxila, carbonila e amina podem participar de transferência eletrônica e adsorção superficial. Os estudos sobre biossíntese vegetal ressaltam, contudo, que o mecanismo não pode ser atribuído a um único composto sem análise química específica (Iravani, 2011; Siddiqi et al., 2018; Nguyen et al., 2023).

A função estabilizante é particularmente relevante, pois a elevada energia superficial das partículas favorece colisão e aglomeração. A persistência de uma fase escura em suspensão, seguida de sedimentação com o tempo, pode indicar estabilidade limitada.

Comparação crítica com estudos de capim-cidreira

Kurra et al. (2025a) avaliaram sistematicamente variáveis reacionais e demonstraram que pequenas alterações de pH, temperatura e proporção do extrato modificam o diâmetro hidrodinâmico e a estabilidade. A

comparação reforça que o longo período de 128 dias ocorrido neste ensaio é mais adequado para observar estabilidade e envelhecimento do sistema em estudo.

Assim, a principal contribuição dos resultados obtidos é documentar a viabilidade operacional da rota e identificar pontos críticos para a etapa seguinte.

LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS

Limitações experimentais

O estudo apresenta caráter exploratório. Não foram incluídos controles contendo apenas extrato vegetal ou apenas solução de AgNO_3 sob as mesmas condições de armazenamento. Esses controles são essenciais para separar o escurecimento natural do extrato das alterações associadas à prata. Também não foram registrados pH, temperatura efetiva de reação, exposição à luz e velocidade de agitação, variáveis que influenciam cinética, nucleação e agregação.

A secagem das folhas a 100 °C pode modificar compostos termossensíveis e voláteis. Estudos futuros devem comparar material fresco, secagem em menor temperatura e diferentes tempos de extração. A preparação em triplicata, a padronização da massa seca e a avaliação de fenólicos totais ou capacidade redutora também contribuiriam para a reprodutibilidade.

Concentração nominal do precursor

A concentração nominal calculada para o protocolo deste trabalho (824 mM) é cerca de 550 vezes superior à condição de 1,50 mM selecionada por Kurra et al. (2025a), que avaliaram experimentalmente a faixa de 0,25 a 2,00 mM em sistema mediado por *C. citratus*. Os protocolos não são diretamente equivalentes, pois diferem em proporção de extrato, pH, temperatura e tempo; ainda assim, a diferença quantitativa mostra que a concentração de AgNO_3 deve ser tratada como variável crítica. Em uma repetição, recomenda-se confirmar a massa registrada e testar uma série de concentrações, mantendo constantes as demais condições, para verificar seu efeito sobre formação, agregação e prata residual (Kurra et al., 2025a; Nguyen et al., 2023).

Plano mínimo de caracterização confirmatória

Além da caracterização do sólido, o balanço experimental deve incluir massa seca recuperada, rendimento por volume de extrato e quantificação da prata dissolvida nos sobrenadantes e nas águas de lavagem por método analítico apropriado. Essa informação é necessária para estimar conversão, eficiência de lavagem e possibilidade de lixiviação, aspecto relevante porque a dissolução de Ag^+ e as

características de superfície influenciam a toxicidade ambiental das partículas de prata (Tortella et al., 2020).

Perspectivas para aplicação em efluentes

Partículas de prata podem atuar como catalisadores em reações de redução ou degradação de corantes, devido à elevada área superficial e à capacidade de facilitar transferência de elétrons. Em estudo com partículas sintetizadas por extrato aquoso de *C. citratus*, Kurra et al. (2025b) obtiveram elevada degradação de diferentes corantes na presença de borohidreto de sódio. Githala et al. (2022) também demonstraram atividade catalítica de partículas biossintetizadas em ensaios de degradação de corantes. Esses resultados demonstram uma perspectiva para a possibilidade de aplicação tecnológica do composto obtido por biossíntese após devidamente caracterizado o sólido.

Para avaliar a aplicação ambiental de forma válida, recomenda-se selecionar um corante-modelo, construir curva analítica, incluir controles de fotólise, adsorção e reação sem partículas, acompanhar a concentração por espectrofotometria e ajustar modelos cinéticos. Também devem ser avaliados recuperação do material, reutilização em ciclos, lixiviação de prata e efeitos ecotoxicológicos. A síntese por extrato vegetal reduz o uso de alguns reagentes perigosos, mas o produto final não é automaticamente isento de risco. Basera et al. (2019) observaram que o aumento da concentração de partículas de prata elevou a hemólise em ensaio celular. Revisão de Tortella et al. (2020) também ressalta que tamanho, forma, revestimento, dissolução de Ag^+ e composição do meio influenciam a toxicidade, reforçando a necessidade de avaliação de segurança antes de qualquer aplicação em escala ambiental.

CONCLUSÃO

Foi possível preparar extrato aquoso de *Cymbopogon citratus* e utilizá-lo em um sistema contendo nitrato de prata por uma rota operacionalmente simples. O escurecimento observado aos 28 e 128 dias fornece evidência preliminar de transformação do sistema e é compatível com relatos de redução de íons prata mediada por constituintes vegetais.

Entretanto, os dados disponíveis não comprovam, isoladamente, a obtenção de nanopartículas, pois não foram realizados controles paralelos nem caracterização óptica, estrutural, morfológica e elemental. A concentração nominal elevada do precursor também deve ser verificada e investigada como variável experimental.

Como continuidade, o composto obtido através de biossíntese deverá ser caracterizado por técnicas complementares e, somente após essa confirmação,

avaliado em ensaios controlados de remoção ou degradação de contaminantes de águas residuais, incluindo análise de prata residual, reutilização e segurança ambiental.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à instituição de ensino pelo suporte oferecido à realização do trabalho e à professora Suzana Cimara pela orientação e pelo acompanhamento das atividades experimentais.

REFERÊNCIAS

- AJAYI, E.; AFOLAYAN, A. Green synthesis, characterization and biological activities of silver nanoparticles from alkalized *Cymbopogon citratus* Stapf. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, v. 8, n. 1, art. 015017, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aa5cf7>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- BASERA, P. B. P.; LAVANIA, M.; AGNIHOTRI, A.; LAL, B. Analytical investigation of *Cymbopogon citratus* and exploiting the potential of developed silver nanoparticle against the dominating species of pathogenic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, art. 282, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00282>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource Technology*, v. 97, n. 9, p. 1061-1085, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.001>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- GITHALA, C. K.; RAJ, S.; DHAKA, A.; MALI, S. C.; TRIVEDI, R. Phyto-fabrication of silver nanoparticles and their catalytic dye degradation and antifungal efficacy. *Frontiers in Chemistry*, v. 10, art. 994721, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.994721>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, v. 13, n. 10, p. 2638-2650, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C1GC15386B>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- KURRA, H.; VELIDANDI, A.; SARVEPALLI, M.; PABBATHI, N. P. P.; GODISHALA, V. Aqueous *Cymbopogon citratus* extract mediated silver nanoparticles: Part I. Influence of synthesis parameters, characterization, and biomedical studies. *Nanomaterials*, v. 15, n. 5, art. 328, 2025a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano15050328>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- KURRA, H.; VELIDANDI, A.; PABBATHI, N. P. P.; GODISHALA, V. Aqueous *Cymbopogon citratus* extract mediated silver nanoparticles: Part II. Dye degradation studies. *Eng.*, v. 6, n. 5, art. 102, 2025b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/eng6050102>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- MAKAROV, V. V.; LOVE, A. J.; SINITSYNA, O. V.; MAKAROVA, S. S.; YAMINSKY, I. V.; TALIANSKY, M. E.; KALININA, N. O. "Green" nanotechnologies: synthesis



of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae*, v. 6, n. 1, p. 35-44, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.32607/20758251-2014-6-1-35-44>. Acesso em: 23 jun. 2026.

NGUYEN, N. P. U.; DANG, N. T.; DOAN, L.; NGUYEN, T. T. H. Synthesis of silver nanoparticles: from conventional to “modern” methods - a review. *Processes*, v. 11, n. 9, art. 2617, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr11092617>. Acesso em: 23 jun. 2026.

RAKIB-UZ-ZAMAN, S. M.; HOQUE APU, E.; MUNTASIR, M. N.; MOWNA, S. A.; KHANOM, M. G.; JAHAN, S. S.; AKTER, N.; KHAN, M. A. R.; SHUBORNA, N. S.; SHAMS, S. M. Biosynthesis of silver nanoparticles from *Cymbopogon citratus* leaf extract and evaluation of their antimicrobial properties. *Challenges*, v. 13, n. 1, art. 18, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/challe13010018>. Acesso em: 23 jun. 2026.

SHAH, G.; SHRI, R.; PANCHAL, V.; SHARMA, N.; SINGH, B.; MANN, A. S. Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, Stapf (lemon grass). *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, v. 2, n. 1, p. 3-8, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4103/2231-4040.79796>. Acesso em: 23 jun. 2026.

SIDDIQI, K. S.; HUSEN, A.; RAO, R. A. K. A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties. *Journal of Nanobiotechnology*, v. 16, art. 14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0334-5>. Acesso em: 23 jun. 2026.

TORTELLA, G. R.; RUBILAR, O.; DURÁN, N.; DIEZ, M. C.; MARTÍNEZ, M.; PARADA, J.; SEABRA, A. B. Silver nanoparticles: toxicity in model organisms as an overview of its hazard for human health and the environment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 390, art. 121974, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121974>. Acesso em: 23 jun. 2026.