

Recuperação de prata de resíduos analíticos: síntese sustentável de nitrato de prata e aplicação em tinta condutora

Ana Júlia B. Dias (IC)¹, Luana P. da Silva (IC)¹, Cristiane Pitol C. Ferreira* (PG)¹, Jane S. de Medeiros (PQ)¹, ,
Cristina M. dos S. Sad (PQ)¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo – Departamento de Química Campus Goiabeiras

Resumo: Este trabalho aborda a recuperação sustentável da prata de resíduos de titulação argentimétrica, solucionando um problema ambiental e financeiro. A metodologia transforma o resíduo em dois produtos de valor: nitrato de prata com 93,7% de pureza, validado por titulação e difração de raios X para reuso em aulas, e uma tinta condutora funcional, demonstrada na construção de um circuito elétrico. O tratamento do cromo residual também foi realizado, garantindo o descarte adequado do efluente. A iniciativa reintegra o material ao ciclo de ensino e fomenta a inovação, alinhando-se à economia circular e à Química Verde. Os resultados confirmam a viabilidade do processo, que une a prática didática à geração de materiais tecnológicos de maior valor agregado.

Palavras-chave: Prata, resíduos, sustentabilidade, nitrato de prata, tinta condutora

Introdução

As aulas práticas de Química Analítica, especialmente as que utilizam métodos de argentimetria, geram resíduos contendo prata, um metal de alto custo e toxicidade elevada (Andrade, 2022). O descarte inadequado desses efluentes representa um sério problema ambiental e financeiro, sendo regulamentado pela Resolução CONAMA nº 430 (Brasil, 2011). Diante disso, o gerenciamento e tratamento desses resíduos em ambiente acadêmico são fundamentais para a promoção de práticas sustentáveis (Santos; Rocha Junior, 2024; Assunção, Sousa Neto, Lins, 2024; Afonso *et al.*, 2003).

A recuperação da prata contida nesses resíduos surge como uma estratégia alinhada à economia circular, permitindo não apenas a minimização do impacto ambiental, mas também a revalorização do material (Assunção, Sousa Neto, Lins, 2024). Este trabalho explora uma rota de *upcycling*, na qual a prata recuperada é convertida em dois produtos: nitrato de prata (AgNO_3) de alta pureza para reuso didático e uma tinta condutora para aplicações tecnológicas, um produto de maior valor agregado (Camargo *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2021).

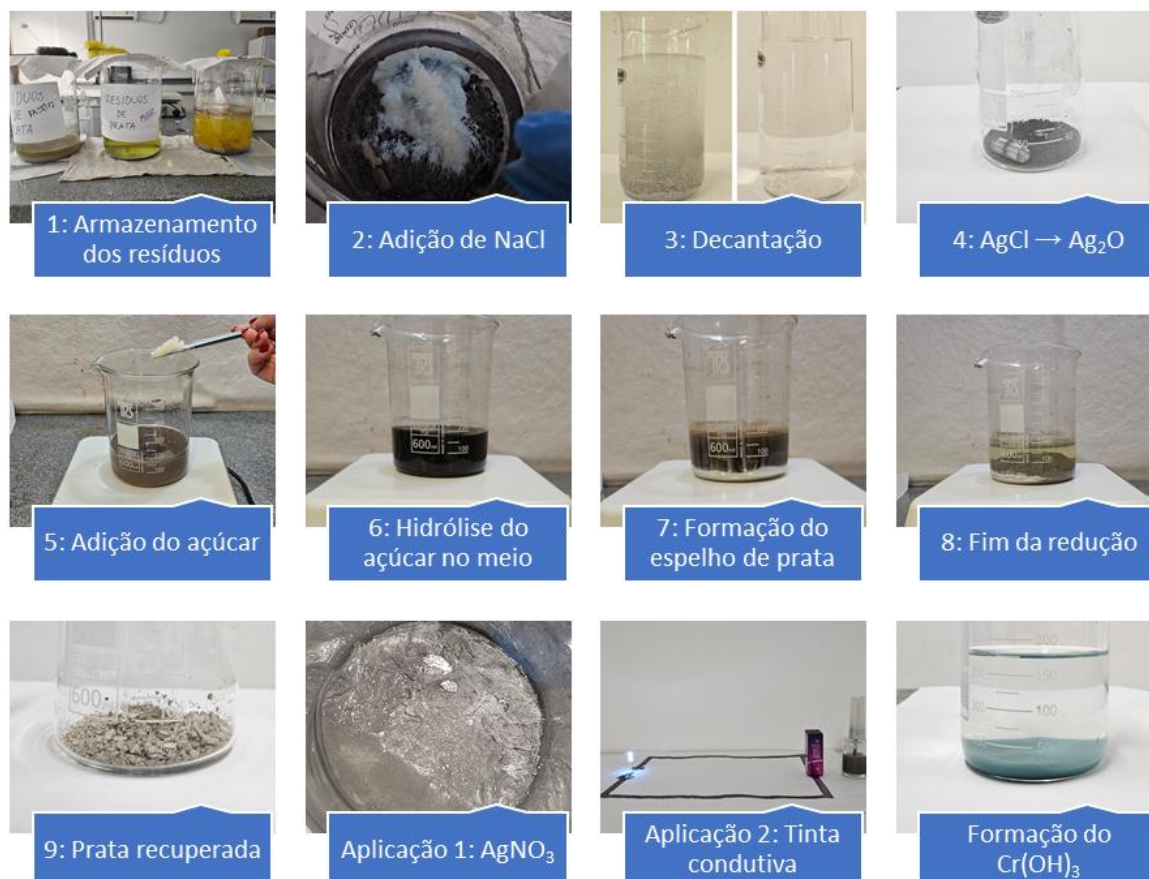
Este estudo tem como finalidade apresentar um método abrangente para a recuperação de prata proveniente de resíduos de titulação, sua conversão em AgNO_3 e posterior transformação em tinta condutora, bem como validar a qualidade dos produtos obtidos por meio de técnicas de titulação e difração de raios X (DRX). Adicionalmente, o sobrenadante do

resíduo contendo cromo foi analisado utilizando espectroscopia UV-Vis, evidenciando tanto a viabilidade técnica quanto a relevância sustentável do processo.

Metodologia

Os resíduos provenientes das titulações foram recolhidos ao final das aulas e tratados conforme o fluxograma da Figura 1. Inicialmente, os resíduos de titulação foram tratados com cloreto de sódio (NaCl comercial) para precipitação total da prata como AgCl. Após separação do sobrenadante (reservado para tratamento do cromo), o precipitado foi convertido a óxido de prata (Ag_2O) com hidróxido de sódio (NaOH comercial) em meio aquecido. A etapa seguinte consistiu na redução do Ag_2O a prata metálica (Ag^0) utilizando sacarose hidrolisada como agente redutor verde. Parte do metal recuperado foi dissolvido em ácido nítrico concentrado (HNO_3) para sintetizar o AgNO_3 , cuja pureza foi avaliada por titulação. Outra parte foi empregada na formulação de uma tinta condutora com esmalte como ligante. O tratamento do efluente envolveu a redução de Cr^{6+} a Cr^{3+} com metabissulfito de sódio, seguida de precipitação como $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Detalhes adicionais das etapas encontram-se no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia para tratamento e recuperação da prata metálica.



Fonte: Os autores (2025).

Resultados e Discussão

A pureza e concentração do nitrato de prata recuperado foi avaliada por titulação utilizando solução padrão de NaCl, apresentando os valores da Tabela 1.

Tabela 1 – Análise de pureza do nitrato de prata recuperado por titulação com cloreto de sódio padrão.

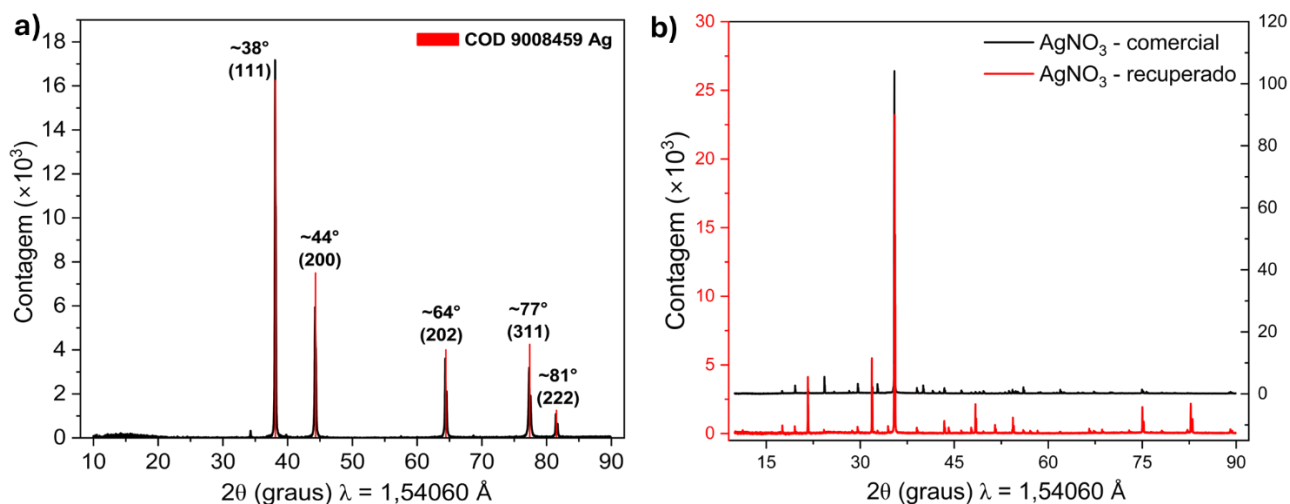
Parâmetro	Concentração (mol L ⁻¹)	Pureza obtida
Solução de AgNO ₃ comercial (padrão)	0,048	-
Solução de AgNO ₃ recuperado (amostra)	0,045	-
Pureza relativa calculada (%)	-	93,75

Nota: A pureza foi calculada como ([amostra]/[padrão]) × 100.

Fonte: autoria própria (2025).

A pureza indica uma recuperação eficiente em comparação com o padrão analítico. O resultado da titulação mostrou-se bastante próximo ao valor esperado, reforçando a viabilidade da metodologia empregada. Assim, após o ciclo de recuperação, o sal de nitrato de prata manteve um grau de pureza adequado para aplicações em aulas de laboratório. A caracterização estrutural por DRX (Figuras 2a,b) confirmou a cristalização da prata metálica obtida, bem como a preservação da estrutura cristalina do AgNO₃ recuperado.

Figura 2 – Difratomogramas de raios X (DRX): a) prata metálica b) AgNO₃ recuperado.

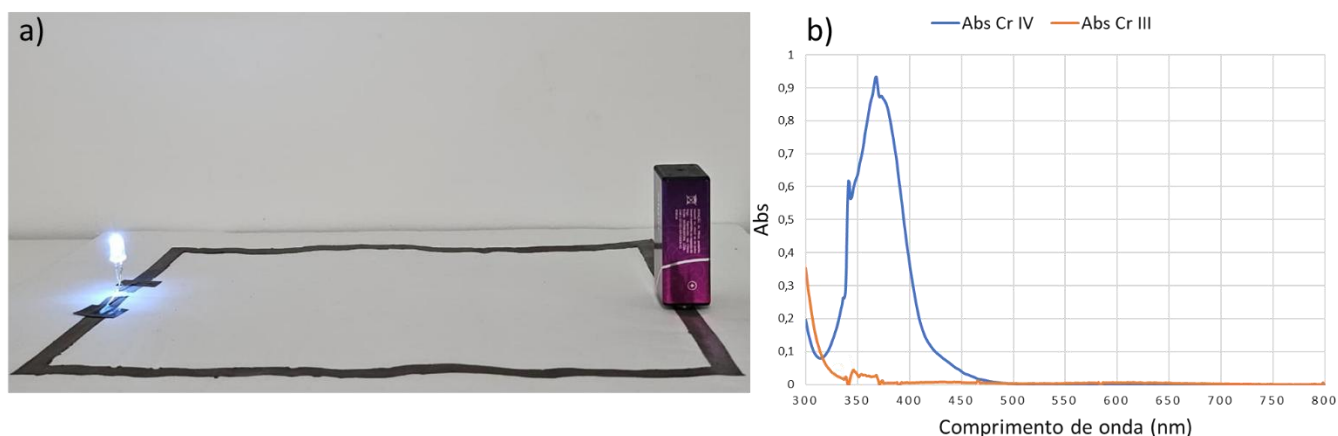


Fonte: dados do laboratório/autor (2025).

Parte da prata metálica obtida foi destinada à formulação de uma tinta condutora, adaptada de metodologias utilizadas em outros estudos (Camargo *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2021). Essa estratégia de baixo custo possibilitou a elaboração de circuitos elétricos. O circuito produzido foi conectado a uma bateria de 9V e apresentou passagem de corrente elétrica (Figura 3a), confirmando a condutividade da tinta e sua aplicabilidade em dispositivos de baixo custo, como em protótipos de circuitos, ensino experimental e até mesmo em sensores descartáveis.

O espectro de absorção UV-Vis do sobrenadante (Figura 3b), apresentou uma banda entre 360 e 380 nm, característica da presença de Cr^{6+} em solução, devido ao dicromato usado como indicador. Após a reação de redução, observou-se o desaparecimento desta banda, indicando a formação de Cr^{3+} , cujas transições d-d não são detectáveis no intervalo 350-400 nm.

Figura 3 – a) Circuito elétrico construído com tinta de prata. b) Espectros de absorção UV-Vis do sobrenadante contendo cromo, antes e após o tratamento de redução.



Fonte: autoria própria (2025).

Considerações Finais

Por fim, demonstrou-se que a recuperação da prata proveniente de resíduos de titulações é uma estratégia viável e eficiente. O processo aplicado possibilitou a obtenção de nitrato de prata com pureza próxima à do reagente comercial, confirmada por titulação e por difração de raios X, o que reforça o potencial de reaproveitamento em aulas práticas de Química Analítica. Além disso, a utilização da prata metálica recuperada na formulação de tinta condutora mostrou-se a aplicabilidade do material em circuitos elétricos simples. Tais resultados contribuem para as práticas de química verde em ambientes acadêmicos, reduzindo impactos ambientais e promovendo o uso racional de recursos. Como perspectivas futuras, sugere-se a ampliação da metodologia para a produção de nanomateriais de prata e o desenvolvimento de novas aplicações tecnológicas.

Agradecimentos

Agradecemos a Fapes (Mulheres na Ciência – Edital 21/2023, T.O.:731/2024), ao Laboratório de Difração de raios X (LDX-CCE) pelas análises de DRX (Acordo de Cooperação

Técnica nº CT-Infra 01/2007-FINEP 0202/08), ao Departamento de Química e à Ufes pelo suporte oferecido para a realização deste trabalho.

Referências

- AFONSO, J. C.; NORONHA, L. A.; FELIPE, R. P.; FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 602-611, ago. 2003.
- ANDRADE, J. C. de. Química analítica básica: volumetria de precipitação. **Revista Chemkeys**, v. 4, p. e022002, 2022.
- ASSUNÇÃO, J. A.; SOUSA NETO, D. de; LINS, R. F. Tratamento de resíduos químicos gerados em laboratórios de ensino que contém íons prata e cromo. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 12, n. 2, p. 118-125, 3 jun. 2024.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 92, 16 maio 2011. Seção 1, p. 8.
- CAMARGO, J. R.; FERNANDES-JUNIOR, W. S.; AZZI, D. C.; ROCHA, R. G.; FARIA, L. V.; RICHTER, E. M.; MUÑOZ, R. A. A.; JANEGITZ, B. C. Development of new simple compositions of silver inks for the preparation of pseudo-reference electrodes. **Biosensors**, v. 12, n. 9, p. 761, 16 set. 2022.
- OLIVEIRA, A. E. F.; PEREIRA, A. C.; RESENDE, M. A. C. de; FERREIRA, L. F. Fabrication of a simple and cheap screen-printed silver/silver chloride (Ag/AgCl) quasi-reference electrode. **Electroanalysis**, v. 34, n. 5, p. 809-819, 2 dez. 2021.
- SANTOS, L. O.; ROCHA JUNIOR, J. G. Programa de gestão de resíduos em laboratórios químicos de ensino, pesquisa e extensão: uma revisão das normatizações brasileiras de resíduos. **Revista Virtual de Química**, v. 16, n. 6, p. 876-888, 2024.