



Estudo do Potencial do Ácido Cítrico na Recuperação Sustentável da Folha de Alumínio em Baterias de Íons de Lítio.

Ingrid C. Leu(G)^{1*}, Isabella C.F. dos Santos(G)¹, Ana O.G. Moraes (G)¹, Fernanda Vieira(PQ)¹, Nelcy D.S. Mohallem(PQ)², Juliana B. da Silva(PQ)¹.

¹ Serviço de Análise e Meio Ambiente - Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, CDTN

² Departamento de Química - UFMG

ingrid.leu@cdtn.br

RESUMO

O crescimento no uso de baterias de íons de lítio (LIBs) traz a necessidade de processos eficientes e sustentáveis para reciclagem dos materiais catódicos e anódicos, visando a recuperação dos metais valiosos e a minimização dos impactos ambientais. Este estudo avalia o uso combinado de ácido cítrico e ultrassom para promover a separação da folha de alumínio do óxido de lítio-cobalto (LiCoO_2) no cátodo, propondo uma alternativa de baixo custo e menor impacto ambiental. Os resultados indicam que o ácido cítrico é eficaz no desprendimento das folhas metálicas dos demais materiais, permitindo sua recuperação íntegra sem a necessidade de solventes agressivos. A metodologia proposta se destaca como uma alternativa ambientalmente amigável, de baixo custo e com potencial de aplicação em processos de reciclagem mais limpos e sustentáveis.

Palavras chave: Baterias de íons de lítio, LIBs, Ácido Cítrico, Reciclagem, Cátodo

Introdução

O avanço tecnológico e a crescente demanda por fontes de energia portáteis impulsionaram a ampla utilização das baterias de íons de lítio (LIBs), principalmente em dispositivos eletrônicos e veículos elétricos. Como consequência, o volume de resíduos gerados por LIBs ao final da vida útil tem aumentado significativamente, levantando preocupações ambientais e econômicas quanto ao descarte inadequado desses materiais. (1).

Em LIBs, os cátodos são compostos por materiais ativos, como LiCoO_2 , misturados a aditivos condutivos e fixados sobre folhas metálicas, de alumínio, que atuam como coletores de corrente. (1) Os processos hidrometalúrgicos voltados à reciclagem desses materiais têm se concentrado amplamente no uso de lixiviantes ácidos inorgânicos fortes, como o H_2SO_4 e o HCl . No entanto, pesquisas mais recentes têm direcionado o foco para lixiviantes à base de ácidos orgânicos, considerados alternativas mais sustentáveis. (2) Entre essas abordagens, destaca-se o uso do ácido cítrico, um agente biodegradável e menos agressivo, que tem demonstrado potencial na separação de metais presentes no cátodo e no anodo.

Neste trabalho, avaliou-se a aplicação do ácido cítrico, associado à ultrassom, na separação do LiCoO_2 da folha de alumínio do cátodo, com o objetivo de desenvolver uma metodologia limpa, seletiva e com potencial de reaproveitamento direto da folha metálica, sem necessidade de sua dissolução do alumínio.

Experimental

Desmantelamento da bateria

O procedimento se iniciou com a abertura manual de uma bateria do tipo Zippy Compact 5000 – LiPO descarregada. Foi realizada a abertura do invólucro externo para acesso aos componentes internos. Em seguida, a célula foi cuidadosamente aberta, e as folhas do cátodo foram separadas manualmente. (3) A desmontagem foi feita em capela de exaustão, com alicates e os EPI necessários, devido ao risco de irritação cutânea e inalação de vapores tóxicos.

Lixiviação ácida

Pesou-se uma folha do cátodo, à qual foi adicionada solução de ácido cítrico $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, respeitando a proporção de 10 mL de solução por grama de material sólido. O sistema foi submetido a tratamento por ultrassom durante 10 minutos, sem agitação.

Após o tratamento, a folha metálica foi separada manualmente, enquanto o material ativo desprendido foi recuperado por centrifugação a 2.000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante (solução ácida) foi filtrado e armazenado para posterior análise. Os sólidos resultantes foram lavados três vezes com 30 mL de água destilada, removidos dos tubos Falcon com auxílio de álcool etílico e secos em estufa a uma temperatura entre 60 °C e 80 °C.



Resultados e Discussão

Em testes preliminares, os materiais catódicos foram tratados com reagentes mais agressivos, como HNO_3 , HCl , água régia e acetona. No entanto, a folha metálica apresentava a superfície severamente comprometida durante o processo. Por outro lado, o tratamento com ácido cítrico proporcionou resultados significativos. A folha de alumínio do cátodo destacou-se facilmente do material ativo, apresentando superfície íntegra e aparência limpa. Além disso, o uso de ultrassom favoreceu a separação, tornando o processo mais rápido e eficiente em comparação aos testes realizados sem ultrassom. A Figura 1 ilustra o aspecto da folha de alumínio após o processo.



Figura 1. Folha de alumínio do cátodo após o tratamento.

Análises por ICP-MS indicaram que não houve detecção significativa de metais dissolvidos no sobrenadante, reforçando que o processo não promove lixiviação dos componentes metálicos e preserva a integridade das folhas metálicas recuperadas.

A análise por difratograma de raios X (DRX), mostrada na Figura 2, apresentou os picos característicos do LiCoO_2 , sem evidência de fases secundárias ou impurezas, corroborando a preservação da estrutura cristalina e a integridade do material ativo após o tratamento.

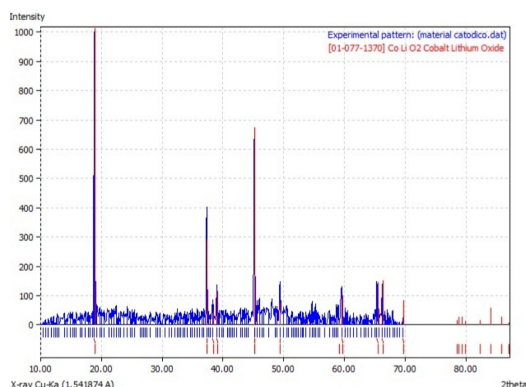


Figura 2. Difratograma de raios X do LiCoO_2 após tratamento com ácido cítrico e ultrassom.

Após o tratamento com ácido cítrico e ultrassom, verifica-se que o material catódico de LiCoO_2 mantém sua integridade estrutural, evidenciada por uma morfologia composta por cristais bem definidos e estruturas regulares. A micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV) apresentada na Figura 3 ilustra essas características.

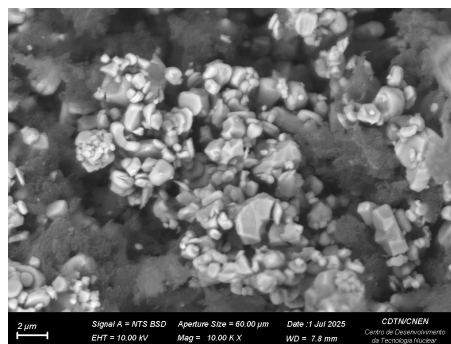


Figura 3. MEV do material de LiCoO_2 do cátodo após o tratamento

Conclusões

Esses resultados indicam o potencial do ácido cítrico como alternativa viável, especialmente quando se busca preservar a integridade do metal para fins de reaproveitamento ou caracterização. Diferentemente de ácidos fortes comumente utilizados, como o ácido clorídrico ou o ácido sulfúrico, que frequentemente causam corrosão acentuada nas folhas metálicas, o ácido cítrico mostrou-se menos agressivo, promovendo uma extração seletiva mais controlada. A aplicação de ultrassom também contribuiu significativamente para acelerar o processo, favorecendo a liberação dos metais ativos sem comprometer a estrutura. Isso se reflete na preservação morfológica observada nas imagens de MEV. Além disso, o ácido cítrico é um composto orgânico biodegradável, amplamente disponível e de baixa toxicidade, o que o torna uma opção significativamente mais sustentável do que os reagentes tradicionais. O bom desempenho juntamente com a baixa agressividade ambiental torna o ácido cítrico uma opção promissora na reciclagem de alumínio e do LiCoO_2 das LIBs.

Agradecimentos

CDTN, CNEN, FAPEMIG e CNPq.

Referências

1. M. del Mar Cerrillo-Gonzalez; J. M. Paz-Garcia; M. Munoz-Espinosa; J. M. Rodriguez-Maroto; M. Villen-Guzman, *J. Power Sources* **2024**, 592, 233870.
2. T. Punt; A. P. Van Wyk; S. M. Bradshaw; G. Akdogan, *Min., Metall. Explor.* **2024**, 41(6), 3463–3474.
3. P. M. Urias, Tese de Doutorado, *Processos de Recuperação de Cobalto e de Lítio de Baterias de Íons de Lítio*, 2017