

SINTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COM ESTRUTURA ARGILA TIPO GERHARDTITA A PARTIR DE LIXO ELETRÔNICO

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.961112518031>

Data de aceite: 18/03/2025

Renata de Sousa Nascimento

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará

Rubens Costa da Silva

Faculdade de Química, Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Pará

Igor Alexandre Rocha Barreto

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará

Marcielly Victória Maciel de Araújo

Faculdade de Química, Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Pará

Haynara Lahanna Monteiro Carrera

Faculdade de Química, Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Pará

Bruno A. M. Figueira

Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Pará, Belém, Pará

RESUMO: Neste trabalho, fios de cobre obtidos de lixos eletrônicos foram coletados, separados e utilizados para produção de material lamelar tipo gerhardtita, um mineral raro de hidróxido nitrato de cobre. Utilizou-se um processo químico para a síntese do material, cujo produto final foi caracterizado por difratometria de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e análise térmica por TG-DSC. Os resultados indicaram que o material lamelar foi obtido com sucesso, com excelente grau de cristalinidade, morfologia em pétalas com tamanho de partícula em torno de 5 a 10 micrometros, estabilidade térmica acima de 270° C, sugerindo que um material de grande valor comercial pode ser obtido de um produto indesejável à natureza.

PALAVRAS-CHAVE: lixo eletrônico, transformação, cobre, argila, mineral gerhardtita.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MATERIAL WITH GERHARDTITE-TYPE CLAY STRUCTURE FROM ELECTRONIC WASTE

ABSTRACT: In this study, copper wires obtained from electronic waste were collected, separated, and used to produce lamellar material of the gerhardtite type, a rare copper nitrate hydroxide mineral. A chemical process was used for the synthesis

of the material, and the final product was characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and thermal analysis by TG-DSC. The results indicated that the lamellar material was successfully obtained, with excellent crystallinity, flower-like morphology, and particle size ranging from 5 to 10 micrometers, with thermal stability above 270°C. This suggests that a commercially valuable material can be derived from a substance that is undesirable for nature. **KEYWORDS:** electronic waste, transformation, copper, clay, gerhardtite mineral.

INTRODUÇÃO

E-wastes, também conhecidos como lixos eletrônicos, compreendem um grupo de resíduos sólidos provenientes de diversos aparelhos eletro-eletrônicos (ou partes deles), o qual estima-se que somente em 2025 totalizarão mais de 65,3 milhões de toneladas por metro cúbico, sendo que o Brasil é o 5º país que mais produz esse tipo de resíduo e o que menos recicla (Roy et al., 2022). São materiais sólidos facilmente encontrados em centros urbanos, descartados de forma inadequada e com grande dano ambiental, seja de caráter visual, físico ou químico (Jain et al., 2023).

Atualmente, vários esforços têm sido feitos para reciclagem e gerenciamento destes resíduos, dentre eles um dos mais importantes e promissores é a extração e recuperação de elementos químicos de grande valor tecnológico como alumínio, cobre, prata, ouro, estanho, platina e paládio. Estes elementos podem ser obtidos por processos de hidrometalurgia, pirometalurgia, biohidrometalurgia e lixiviação (Manikandan et al., 2023), e conseqüentemente serem uma fonte de baixo custo para produção de nanomateriais, catalisadores, adsorventes, fotocatalisadores dentre outros (Roy et al., 2022).

Neste trabalho, apresenta-se um estudo de síntese e caracterização de material lamelar com estrutura tipo gerhardtita (Fig. 1) a partir de cobre presente em lixos eletrônicos descartados inadequadamente em Belém-PA. Gerhardtita é um mineral raríssimo do grupo dos hidróxi-nitrato de cobre formado por camadas de octaedros $\text{Cu}^{\text{II}}\text{O}_6$ que geram um acúmulo de carga positiva nelas, sendo neutralizado pela presença de ânions OH^- e NO_3^- (Lawson et al., 2023).

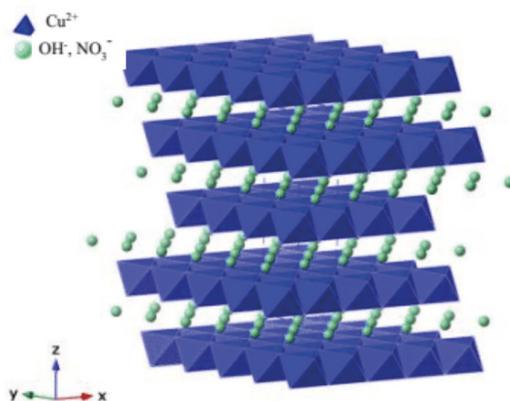


Fig. 1: Ilustração da estrutura gerhardtita.

MATERIAL E MÉTODOS

Processo de transformação do lixo eletrônico em argila de cobre

Os E-wastes foram coletados em um local de descarte irregular de lixo na cidade de Belém do Pará. Após os coleta, concentrou-se em fios de cobre encapados com plásticos que foram cuidadosamente removidos com faca. Em seguida, os fios de cobre foram cortados em pedaços menores e tratados hidrotermalmente em autoclave por 3 h até formação de um precipitado azul. O precipitado foi secado, pulverizado e codificado como RUB-1.

Caracterizações

Uma caracterização inicial de RUB-1 foi feita por difratometria de raios-X em um difratômetro de bancada D2Phaser (Bruker), equipado com goniômetro de varredura vertical e um tubo de cobre ($\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$) de 400 W de potência, geometria de Bragg-Brentano no modo contínuo, velocidade de varredura de $0,25^\circ / \text{min}$, tendo como sistema de detecção um detector rápido modelo LynxEye. A tensão foi de 30 kV e 10mA, respectivamente. A morfologia e composição química foi analisada através de microscopia eletrônica de varredura com microanálise por EDS (MEV-EDS) através de um microscópio da Veja Tescan, em condições de análise utilizando imagens secundárias obtidas a 20 KV, com distância de trabalho de 11 mm. O comportamento termal de RUB-1 também foi investigado através de análise TG-DSC em um termo-analisador da NETZSCH (STA 449 F5 Júpiter), com forno cilíndrico vertical, conversor digital acoplado a um microcomputador e um fluxo de N_2 de 50 ml/s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização mineralógica e morfológica de RUB-1 por DRX e MEV-EDS é apresentada na Fig 2. O padrão DRX mostrado na Fig. 1a indicou picos basais 00l típicos de materiais em camada próximos a $14,87$ e 30° (2 theta) correspondentes aos planos (001) e (002), com distância interlamelar de $6,9 \text{ \AA}$ e tamanho médio de cristalito de 89 nm (equação de Scherrer). Picos DRX adicionais em $34,66$; $38,05$; $39,1$; $41,74$; $42,23$; $45,8$; $47,58$; $49,5$; $51,4$ e $57,3^\circ$ (2 theta) e foram bem correlacionados aos planos (140), (012), (201), (150), (221), (231), (132), (061), (202) e (152) de gerhardtita (PDF 01-084-0599).

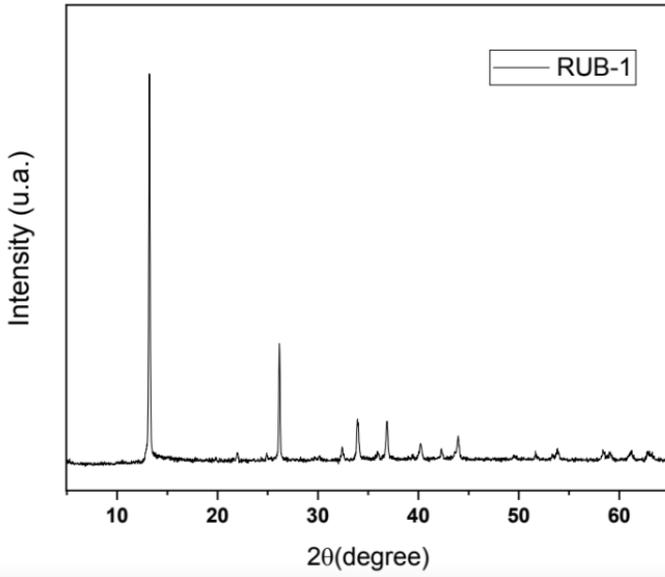
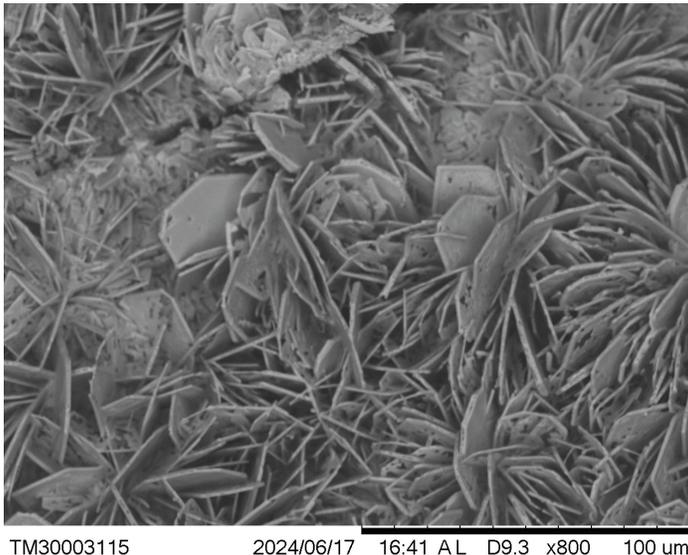
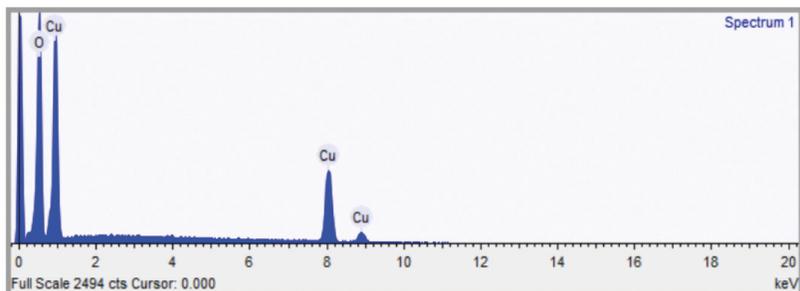


Fig 2: Padrão DRX da amostra RUB-1.

A fotomicrografia de RUB-1 é mostrada na Fig. 3, assim como sua respectiva composição química. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que o material lamelar de cobre é composto por um aglomerado de pétalas bem definidas com tamanho médio de cristalito entre 5 a 10 nm. Vale ressaltar que essa morfologia difere dos nanoanéis de gerhardtita descrita por Wang e Huang (2009). A presença majoritária de cobre, nitrogênio e oxigênio em RUB-1 está de acordo com a fórmula de gerhardtita $\text{Cu}_2(\text{OH})_3(\text{NO}_3)$ (Effenberg, 1983).





Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Oxygen	42.839	0.477	74.852
Copper	57.161	0.477	25.148

Fig. 3: Fotomicrografia e microanálise por MEV-EDS da amostra RUB-1.

O comportamento termal de gerhardita presente na amostra RUB-1 foi analisado por TG-DSC, cujo resultado é mostrado na Fig. 3. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se a presença de um evento termal exotérmico com perda de massa de 32,5 %. Segundo os autores Wang e Huang (2009), tal evento se refere a gradual perda de moléculas de H_2O adsorvidas na superfície do material e também no seu espaço interlamelar. Adicionalmente, perdas de moléculas de NO_2 e O_2 também são observadas nesta faixa de temperatura. Acima desta temperatura, observa-se a formação do óxido de cobre com estrutura tenorita (CuO), que se mantém estável até $900^\circ C$, conforme revelado pelo pico exotérmico nesta temperatura com perda de massa de 7,5 %.

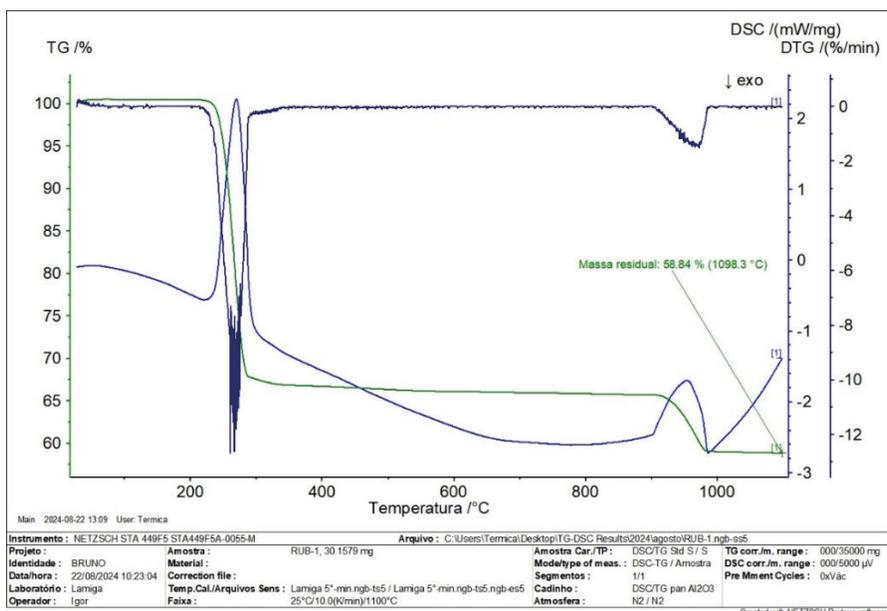


Fig. 3: Curvas TG-DSC-DTG de RUB-1.

CONCLUSÕES

Neste trabalho pode-se concluir que lixos eletrônicos podem ser uma interessante matéria prima de baixo custo para a produção de material lamelar de cobre com estrutura do mineral raro gerhardtita. O material se caracterizou com morfologia em pétalas e efetiva matriz para produção de material estruturado em tenorita (CuO), um versátil material de interesse tecnológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Campus de Ananindeua da UFPA, e o suporte técnico do LCM (UFPA), LAMIGA (UFPA) e MPEG (Belém).

REFERÊNCIAS

Effenberger, H.. "Verfeinerung der Kristallstruktur des monoklinen Dikupfer(II)-trihydroxi-nitrates $\text{Cu}_2(\text{NO}_3)_2(\text{OH})_3$ " Zeitschrift für Kristallographie - Crystalline Materials, vol. 165, no. 1-4, 1983, pp. 127-136.

Hridoy Roy, Tanzim Ur Rahman, Md. Burhan Kabir Suhan, Md. Rashid Al-Mamun, Shafaul Haque, Md. Shahinoor Islam, A comprehensive review on hazardous aspects and management strategies of electronic waste: Bangladesh perspectives, Heliyon, Volume 8, Issue 7, 2022.

Lawson, K.; Wallbridge, S. P.; Kirk, C. A.; Dann, S. E. Determination of layered nickel hydroxide phases in materials disordered by stacking faults and interstratification. J. Mater. Chem. A, 11, 789, 2023.

Muskan Jain, Depak Kumar, Jyoti Chaudhary, Sudesh Kumar, Sheetal Sharma, Ajay Singh Verma, Review on E-waste management and its impact on the environment and society, Waste Management Bulletin, Volume 1, Issue 3, 2023, Pages 34-44,

S. Manikandan, D. Inbakandan, C. Valli Nachiyar, S. Karthick Raja Namasivayam, Towards sustainable metal recovery from e-waste: A mini review, Sustainable Chemistry for the Environment, Volume 2, 2023, 100001.

WANG, X-B.; HUANG, L-N. A novel one-step method to synthesize copper nitrate hydroxide nanorings, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 19, Pages 480-484, 2009.