Gestão:

Reunião de Acompanhamento e Avaliação - RAA 2026

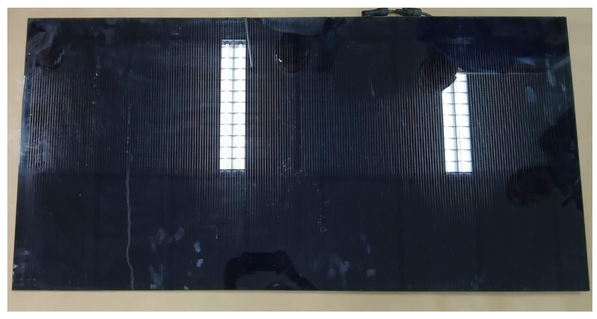
Reciclagem de metais críticos em painéis solares

Salvi, D. C. [1]; Espinosa, D. C. R [2]; .[1]Bolsista do PRH 51, curso de mestrado, São Paulo – SP. E-mail:danielasalvi98x@usp.br [2]Docente do curso de Engenharia Química da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP. E-mail: espinosa@usp.br

Introdução

Os módulos fotovoltaicos de película fina baseados em CdTe contêm materiais de interesse tecnológico, o que torna necessário o desenvolvimento de rotas de reciclagem capazes de promover a recuperação de seus componentes. A caracterização prévia do módulo é fundamental para determinar sua composição, a distribuição dos elementos e seu comportamento durante o pré-tratamento. Este trabalho apresenta a caracterização de um módulo CdTe de segunda geração e a avaliação de um pré-tratamento térmico destinado à separação de suas camadas e à preparação da fração de interesse para etapas posteriores de recuperação.

Metodologia



Modelo FS-4117-3
Massa: 11,60 kg (sem conectores)
Dimensões: 120 × 60 cm
Tecnologia: CdTe (película fina)
Estrutura: vidro–vidro
Encapsulante: EVA

Figura 1: Módulo fotovoltaico FS-4117-3

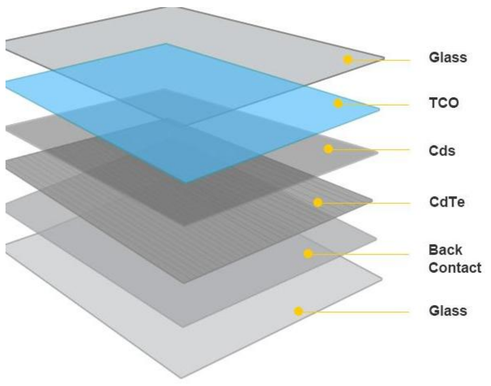


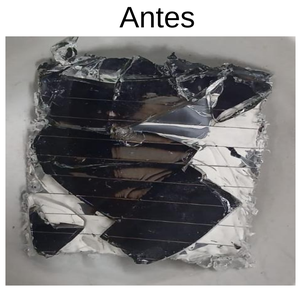
Figura 2: Estrutura do módulo fotovoltaico CdTe



Figura 3: Fluxo experimental

Resultados e discussão

Antes



Depois



Condições experimentais
T: 500 °C
Taxa de aquecimento: 10 °C/min
T: 90 min
Atmosfera inerte: Argônio
Resfriamento em mufla

Figura 4: Fragmento do módulo antes e após tratamento térmico com remoção do encapsulante

- O polímero presente foi identificado como EVA por FTIR-ATR. Com base na literatura e nos resultados de TGA, foi estabelecida a temperatura de 500°C, sob atmosfera inerte, para a degradação do encapsulante.

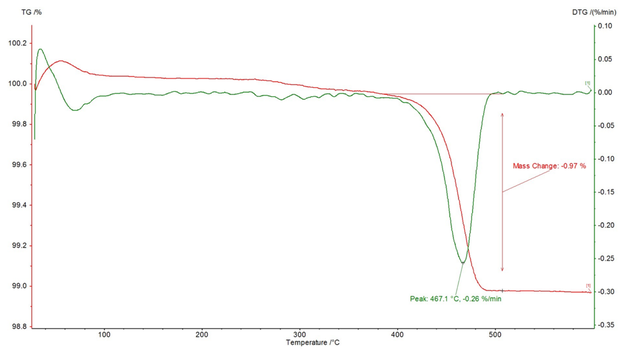


Figura 5: Curva termogravimétrica

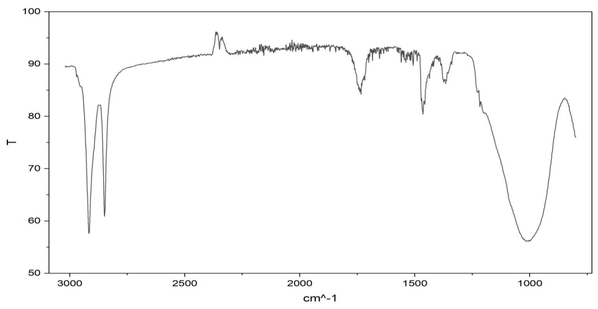


Figura 6: Espectro de FTIR do polímero extraído

A perda de massa associada ao EVA correspondeu a aproximadamente 3% da massa do módulo.

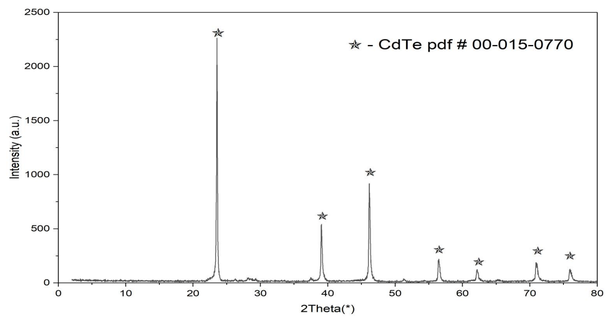


Figura 7: Difratograma DRX camada metálica após tratamento térmico. Identificação da camada metálica contendo CdTe

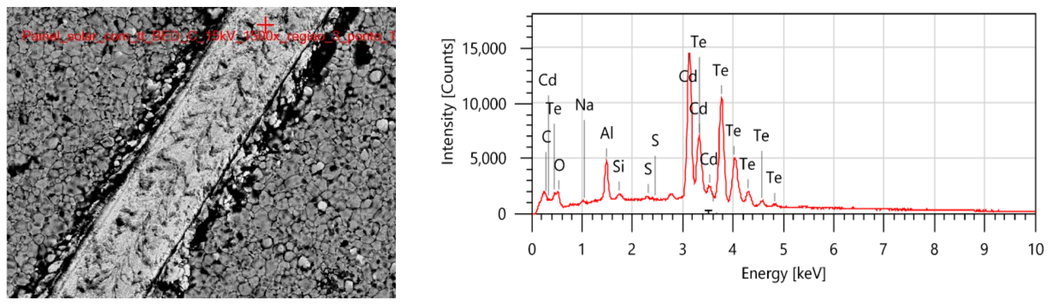
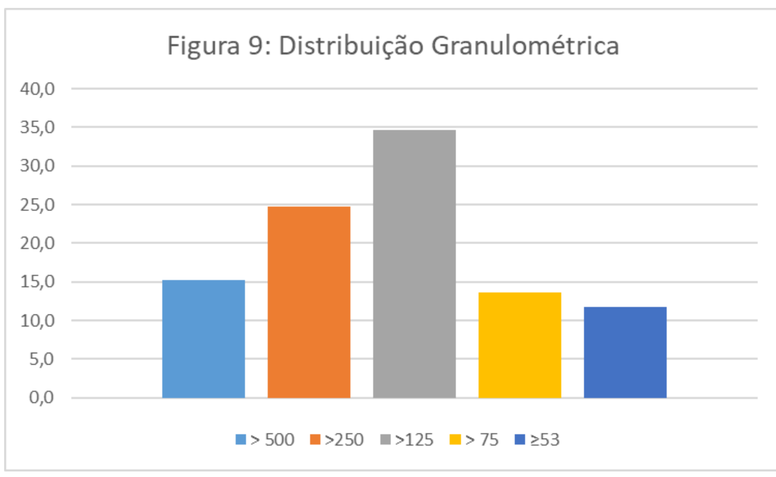


Figura 8: Imagem de MEV da camada metálica após tratamento térmico

Após o tratamento térmico, o material foi cominuído e separado em diferentes frações granulométricas. Todas as frações foram submetidas à digestão assistida por micro-ondas, utilizando HF + HNO_3, obtendo-se abertura completa da matriz, condição necessária para a posterior quantificação dos elementos por ICP-OES.



Elementos identificados (EDX-Omnian Análise qualitativo)



A análise qualitativa por EDX – Omnian identificou Te, Cd, e outros elementos presentes na amostra. Observou-se também a predominância de Si, associada à matriz vítrea do módulo.

Conclusões

1. O módulo analisado apresentou estrutura vidro–vidro, com EVA como material encapsulante.
2. O tratamento térmico a 500 °C favoreceu a remoção do encapsulante, representando um 3% do painel.
3. A caracterização por MEV/EDS e DRX/WDRX confirmou a predominância da matriz vítrea e a presença de Cd e Te nas frações analisadas, com maior relevância nas frações granulométricas mais finas.
4. Com base nos resultados obtidos, a próxima etapa do processo será direcionada à lixiviação seletiva do Te.

Próximas atividades



Referências

Birtürk, A., Keskin, T., & Çeliktaş, M. S. (2023). The effect of thermal treatments on photovoltaic module recycling. Handbook of Thermal Management Systems: E-Mobility and Other Energy Applications, 659–671.

de Oliveira, M. C. C., Soares, L. G., Viana, M. M., Diniz, A. S. A. C., & Lins, V. de F. C. (2020). Development of ethylene-vinyl acetate copolymer/graphene oxide nanocomposites for crystalline silicon photovoltaic modules. International Journal of Adhesion and Adhesives, 100(May 2019). https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102595

Souza, R. A. (2023). Estudo de uma rota de reciclagem de módulos fotovoltaicos através de processamento mecanico e hidrometalurgia. Accident Analysis and Prevention.