



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA RECICLAGEM DE METAIS UTILIZANDO A SEPARAÇÃO ELETROSTÁTICA

Lucas Margarezzi Schmidt – mschmidt.lucas@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Av. Bento Gonçalves, 9500
Setor IV Prédio 74
Campus do Vale
Bairro Agronomia
CEP: 91509-900
Porto Alegre – RS

Pablo Ribeiro Dias – pablo.dias@ufrgs.br

Faculty of Science and Engineering
Macquarie University,
Sydney
NSW 2109
Australia

Prof. Dr. Hugo Marcelo Veit – hugo.veit@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Av. Bento Gonçalves, 9500
Setor IV Prédio 74
Campus do Vale
Bairro Agronomia
CEP: 91509-900
Porto Alegre – RS

Prof. Dr. Andrea Moura Bernardes – amb@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Av. Bento Gonçalves, 9500
Setor IV Prédio 74
Campus do Vale
Bairro Agronomia
CEP: 91509-900
Porto Alegre – RS

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Resumo: A energia proveniente de fontes renováveis é cada vez mais necessária devido à preocupação com a possibilidade de danos irreversíveis à natureza devido ao uso de combustíveis fósseis. A tecnologia fotovoltaica permite transformar a luz solar em eletricidade sem nenhuma outra forma de energia. Porém, módulos fotovoltaicos têm vida útil de 20-30 anos, de modo que grande parte está atualmente virando resíduo eletroeletrônico. Portanto, faz-se necessário desenvolver tecnologias visando a reciclagem de resíduos eletrônicos e avaliar o risco de seu descarte. O módulo fotovoltaico é basicamente composto por uma camada de um semicondutor (geralmente silício) posicionado entre camadas de vidro e polímeros, encapsulada por diversos materiais. Entre os seus metais, estão majoritariamente presentes Ag, Cu e Al. Diversos métodos para reciclagem de fotovoltaicos são utilizados, tais como processos hidro e piro metalúrgicos. A separação eletrostática auxilia os demais sem gerar resíduos, já que separa seus constituintes por propriedades elétricas. Neste estudo, o uso do separador eletrostático como um processo de separação é estudado e otimizado com o objetivo de reciclar o resíduo fotovoltaico e recuperar materiais valiosos presentes no módulo. Primeiramente, o módulo foi moído e posteriormente separado eletrostaticamente. Foram utilizados como parâmetros a rotação do rolo central e a tensão entre o eletrodo e o rolo. Para avaliar a quantidade de metais (Ag e Cu) foi feita a digestão de todas as amostras e posteriormente analisou-se por espectrometria de emissão óptica com plasma. Os resultados mostram que é possível separar 95% dos metais presentes nos módulos por separação eletrostática.

Palavras-chave: Painel solar; reciclagem; separação eletrostática.

Abstract: Energy from renewable sources is paramount given the possibility of irreversible damage to the environment due to the use of fossil fuels. Photovoltaic technology transforms sunlight into electricity without the assistance of any other form of energy. However, photovoltaic modules have a lifespan of 20-30 years, and is thus becoming waste electrical and electronic waste. Therefore, it is important to develop technologies for the recycling of electronic waste and to evaluate the risk of its disposal. The photovoltaic module is composed of a layer of a semiconductor (usually silicon) positioned between layers of glass and polymers, encapsulated by various materials. Ag, Cu and Al are found among its metals. Various methods for the recycling photovoltaic are currently used, such as hydro and pyro metallurgical processes. The electrostatic separation assists the others without generating residues, since it separates its constituents by electrical properties. In this study, the use of the electrostatic separator as a separation process is studied and optimized to recycle the waste photovoltaic and recover valuable materials present in the modules. The module was initially milled and electrostatically separated subsequently. The rotation of the central roller and the tension between the electrode and the roller were used as parameters. To evaluate the separation of the metals (Ag and Cu), all samples were digested and then analyzed by plasma optical emission spectrometry. The results show that it is possible to separate the metals present in the modules by electrostatic separation.

Keywords: Solar panel; recycling; electrostatic separation.

1. INTRODUÇÃO

O constante desenvolvimento da tecnologia aliado ao crescimento populacional tem gerado um aumento da demanda de energia para a melhoria do estilo de vida humano (HERNANDEZ, et al 2014). Segundo a Agência Internacional de Energia (2017), o consumo de energia global aumentará em 30% entre 2017 e 2040, sendo equivalente a adicionar outra China e Índia no consumo. A maior parte da produção mundial de energia é gerada a partir de combustíveis fósseis, que são fontes não renováveis. A possibilidade do esgotamento destes combustíveis e a possibilidade de danos irreversíveis à natureza gerados por emissões excessivas de gases poluentes têm incentivado a pesquisa de novas formas de energia (NISHIMURA, et al 2010).

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

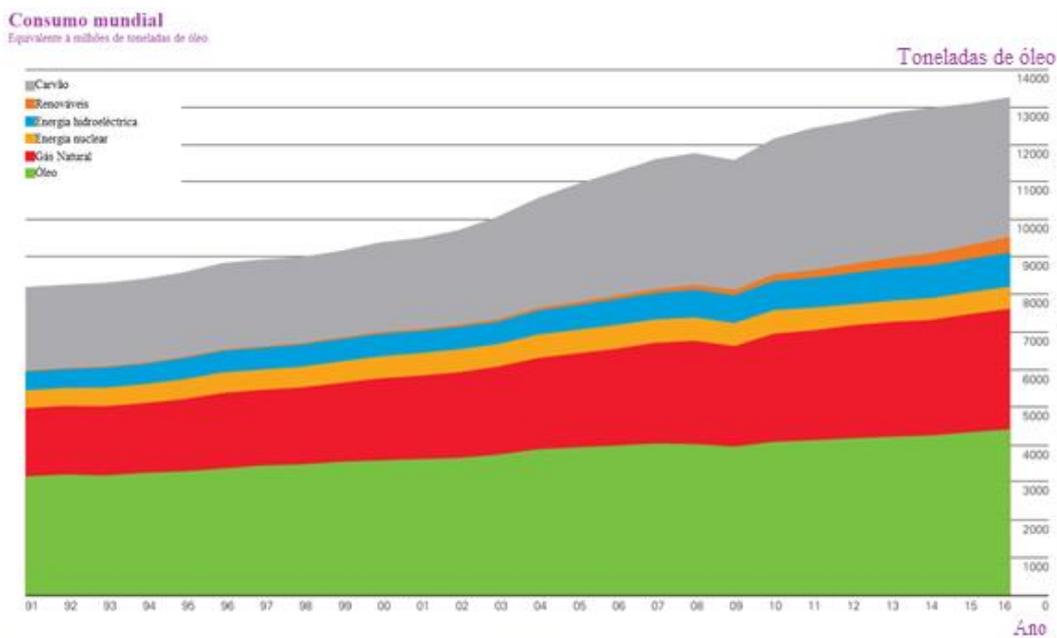


Figura 1: Consumo mundial de energia equivalente a milhões de toneladas de óleo por ano (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Dentre as formas alternativas de obtenção de energia, a energia fotovoltaica é considerada como uma tecnologia promissora (ZUSER, et al 2011). É possível transformar luz solar diretamente em eletricidade através do efeito fotovoltaico, sem utilizar nenhuma outra forma de energia, em dispositivos chamados de painéis fotovoltaicos (PV) (Kalogirou, 2009). Segundo o Conselho Mundial de Energia (2016), considerando a incidência média de luz solar no mundo, por dia é possível produzir a mesma quantidade de energia gerada por um barril de óleo, por metro quadrado. A instalação global de energia a base de luz solar tem crescido exponencialmente, representando 1% de toda a eletricidade usada no planeta em 2015 (Conselho Mundial de Energia 2016).

Capacidade Solar Instalada por Região

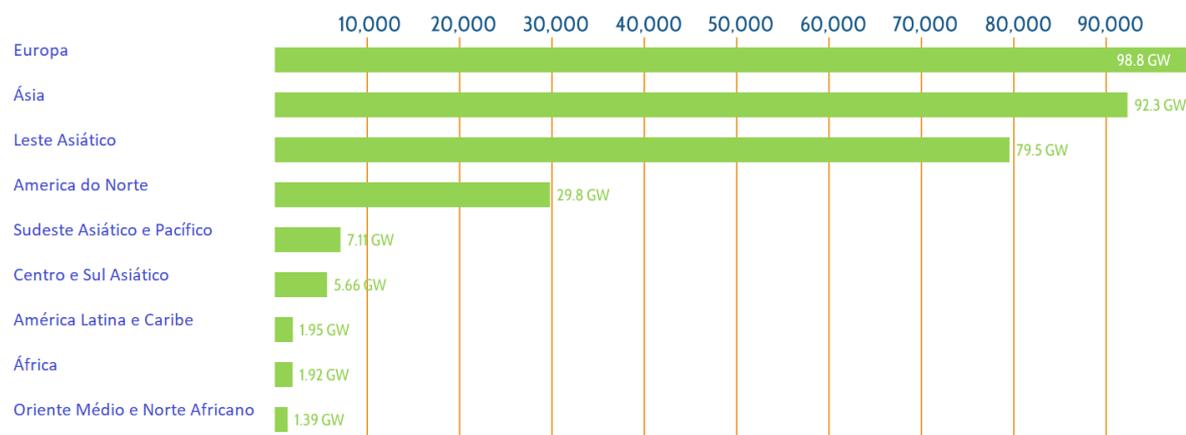
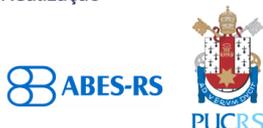


Figura 2: Os dados anuais da capacidade instalada e da produção anual (GWh) são provenientes da Agência Internacional de Energia Renovável (2016) e representam os valores no final do ano de 2015.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2017), 43,8% da matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis de energia, e a previsão chega a 83,3% da produção de energia elétrica interna, sendo que a mundial corresponde a 24,1%. Porém, a energia fotovoltaica não é significativa no Brasil, reforçando ainda mais a necessidade do seu desenvolvimento. Dos painéis fabricados no mundo, há um domínio da produção utilizando tecnologias baseadas em silício cristalino devido ao alto número de aplicações e alta eficiência em faixa de preço acessível (Office of Energy efficiency & Renewable Energy).

Considerando que a tecnologia fotovoltaica começou a ser desenvolvida nos anos 90 e que células PV tem vida útil de 20-30 anos, atualmente está sendo gerada uma grande quantidade de resíduo eletroeletrônico. Segundo a International Energy Agency (2013), em 2035 deve ser gerado 1 milhão de toneladas de resíduo eletroeletrônico no descarte de painéis solares. Portanto, faz-se necessário desenvolver novas tecnologias para reciclar este resíduo. Também é necessário avaliar o risco de descarte deste resíduo, que contém materiais possivelmente nocivos à saúde humana e que necessitam de tratamento (International Energy Agency (2013)).

1.1 Módulos Fotovoltaicos

Módulos PV são compostos por basicamente uma camada de um semicondutor (geralmente silício) posicionado entre camadas de vidro e polímero, encapsulada por diversos materiais. Entre os seus metais, estão presentes majoritariamente Al, Ag e Cu, e em menores proporções Pb, Cr, Cd e Ni (TAMMARO et al. 2016). Os módulos PV são encapsulados com diversos materiais (Figura 3) de maneira a proteger as células e circuitos elétricos da ação do meio ambiente (Hansen, 2000).

Diversos métodos de reciclagem de módulos fotovoltaicos são utilizados, tais como processos piro e hidro metalúrgicos. Jung et al. (2016) utilizou tratamento térmico em painéis solares para decompor a camada de EVA e separar das diferentes de painéis solares. Doi et al (2001) utilizou solventes orgânicos com o objetivo de dissolver a camada de EVA. Müller et al. (2007) bem como Wang et al (2012) utilizou digestão ácida para recuperar a prata presente no resíduo de painéis solares. No entanto, conforme demonstrado em estudos anteriores (Dias et al 2016), o uso de processos mecânicos pode auxiliar na reciclagem de painéis fotovoltaicos e reduzir o seu custo. Processos mecânicos devem ser utilizados antes dos processos hidro e piro metalúrgicos, a fim de tornar tais métodos mais baratos.

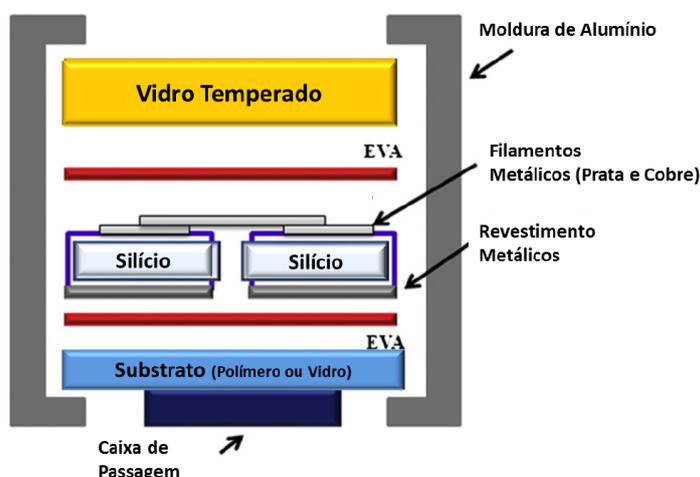


Figura 3: Estrutura típica de um módulo FV de silício cristalino (Adaptado de Kang, et al 2012).

Realização

Correalização

Informações:

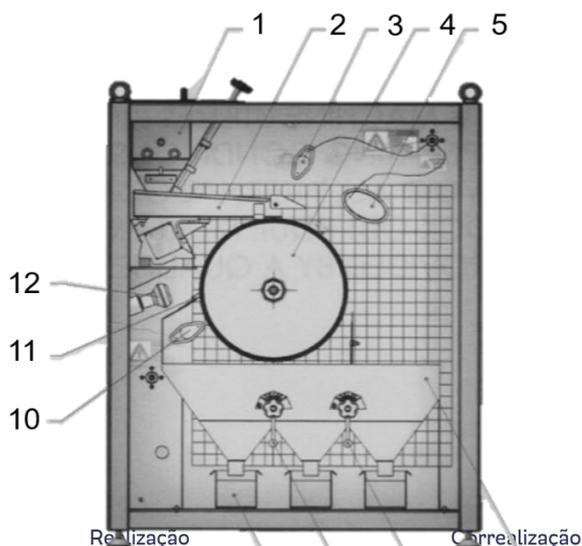
O Cobre é um dos metais mais importantes na sociedade devido às suas propriedades, tais como resistência à corrosão, alta maleabilidade e plasticidade, tendo diversas aplicações na indústria (LI, et al. 2017). Não há perda de propriedades no processo de reciclagem do cobre. A produção a partir do minério tem um custo seis vezes maior que o cobre reciclado, pois são necessárias reações de oxirredução no processo. A produção secundária do cobre corresponde a apenas um sexto da produção total no mundo, evidenciando a necessidade de desenvolver os métodos de reciclagem (ROCIO, et al 2011).

Os reservatórios de prata no mundo já se encontram em escassez e, com a atual demanda, acredita-se que poderão se extinguir em 2075. Não há uma solução a curto prazo, exceto aumentar a taxa de reciclagem e a eficiência de uso (SVERDRUP, et al 2014).

A mineração e o beneficiamento de minerais estão associados diretamente à geração de resíduos e poluição devido às emissões de gases e contaminação de solo e água. Na produção de alumínio pelo processo Bayer, são consumidas grandes quantidades de cal e soda caustica, gerando um alto volume de resíduos, chamados de lama vermelha, um forte agente corrosivo e contaminante de água. Em outros processos de beneficiamento, tais como cobre, zinco e ouro, gera-se também uma grande quantidade de resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, geralmente descartados perto de suas respectivas minas (AYRES, 1997).

1.2 Separação Eletrostática

A separação eletrostática é vista como uma tecnologia útil e moderna na separação de materiais em resíduo eletrônico industrial. A separação eletrostática é um processo mecânico que separa diferentes materiais com diferentes condutividades elétricas, que são carregadas antes de serem expostos a forças eletrostáticas. O separador eletrostático de rolo (figura 5) funciona basicamente na atuação de dois eletrodos e um rolo aterrado. O primeiro eletrodo (Eletrodo Ionizador) carrega todos os materiais adicionados ao funil de alimentação. Os materiais condutores descarregam no rolo pelo contato físico, enquanto que materiais não condutores são atraídos pelo rolo (LAI, et al 2016). O segundo eletrodo (Eletrodo de Elevação) atrairá os materiais condutores por forças eletrostáticas, separando-os em compartimentos. Há três compartimentos, o condutor, o não condutor e o compartimento do meio, que caracteriza uma mistura dos outros dois. Veit et al. (2005) utilizou um separador eletrostático para recuperar metais preciosos de placas de circuito e concluiu que o uso da separação eletrostática foi eficiente em separar os materiais e obter frações de alta concentração de metais. A separação eletrostática auxilia nos processos seguintes de reciclagem dos materiais separados, facilitando a obtenção do metal e diminuindo gastos com energia e geração de efluentes. Neste estudo, a utilização da separação eletrostática é avaliada e otimizada na segregação de prata e cobre de resíduo de painéis PV.



1. Funil de Alimentação
2. Alimentador Vibratório
3. Eletrodo Ionizador
4. Rolo
5. Eletrodo de Elevação
6. Funil de Amostras
7. Divisor (Condutor)
8. Divisor (Semicondutor)
9. Painela de coleta
10. Limpador
11. Escova
12. Componente de Aquecimento

Informações:

Figura 4: Representação esquemática do separador eletrostático de alta tensão modelo MMPM-618C (Eriez, Erie, USA) utilizado. (ERIEZ 2013)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o uso da separação eletrostática na segregação de cobre e prata, foram utilizados cinco diferentes módulos solares de silício cristalino. A primeira etapa do processo foi remover a moldura de alumínio de todos os módulos, utilizando ferramentas como serra, alicate e chaves de fenda. Após a remoção, os módulos foram moídos quatro vezes, duas em cada abertura (2 e 4 mm), em moinho de facas (SRB 2305 Rone, São Paulo, Brasil), gerando em torno de 5 kg de material.

O material foi quarteado e dividido em frações de 300 g. A primeira parte do experimento de avaliação foi realizar testes empíricos no separador eletrostático, variando diversas configurações (Tabela 1). As três primeiras frações foram utilizadas para realizar os testes empíricos, tendo sido adotado como avaliação de um parâmetro a inspeção visual.

Parâmetros	Variação	Posição na Figura 4	Preso?	Pinned at
Angulo separador (condutor)	[-45° to +45°]	7	Sim	10°
Angulo Separador (não condutor)	[-45° to +45°]	8	Sim	22°
Velocidade de vibração do alimentador	0-100%	2	Sim	25%
Pré Aquecimento	0-60 °C	12	Não Utilizado	Temperatura ambiente
Velocidade de rotação	0-300 RPM	4	Não	-
Diferença de Potencial Elétrico	0-40 kV	3, 4, 5	Não	-
Posição do eletrodo ionizador	650x720 mm ² X = [-200mm to +450mm]	3	Sim	x [90;240] y [110;260]
Posição do eletrodo de elevação	Y = [-450mm to +270mm]	5	Sim	x [255;450] y [95;160]
Posição da Escova		11	Sim	x[-200;-170] y [-70;35]

Tabela 1: Parâmetros utilizados nos testes empíricos

Com o resultado dos testes empíricos, foi escolhido variar a rotação do rolo e a diferença de potencial elétrico entre o rolo e o eletrodo ionizador. 24 e 28 kV foram escolhidos para a diferença de potencial e 50, 65 e 80 RPM, escolhidos para a rotação do rolo. Cada amostra inicial de 300 g foi dividida em 6, e separada representando a combinação dos parâmetros (tabela 2). Cada combinação de parâmetro gerou

3 amostras A para o compartimento dos condutores, B para o compartimento do meio e C para o compartimento dos não condutores, realizados em triplicata totalizando 18 amostras por parâmetro

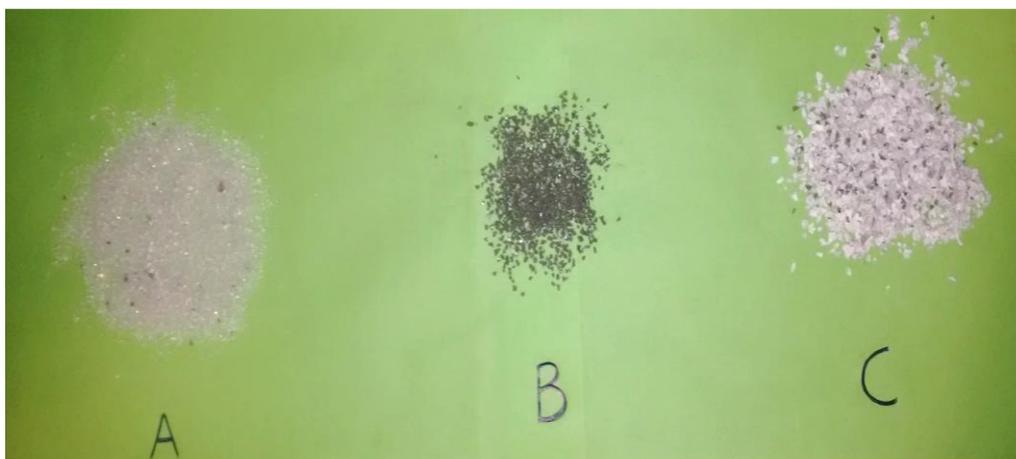
Voltagem (kV)	Velocidade de Rotação (RPM)		
	50	65	80
24	24.50.A	24.65.A	24.80.A
	24.50.B	24.65.B	24.80.B
	24.50.C	24.65.C	24.80.C
28	28.50.A	28.65.A	28.80.A
	28.50.B	28.65.B	28.80.B
	28.50.C	28.65.C	28.80.C

Tabela 2: Combinação dos parâmetros utilizados.

Para a avaliação de prata e cobre, foi feita a digestão de cada compartimento de cada amostra em ácido nítrico concentrado (65%) na proporção de 1:10 sólido-líquido, sob agitação magnética à temperatura ambiente, por duas horas. A amostra foi então filtrada, lavada, secada e reservada. A parte líquida foi diluída adequadamente para ser posteriormente analisada por espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES). O equipamento utilizado foi um 5110 ICP-OES (Agilent Technologies, Califórnia, EUA).

3. RESULTADOS

Na primeira parte do experimento foi definido os parâmetros a serem fixados a fim de restringir os graus de liberdade na separação eletrostática, deixando fixos os parâmetros conforme a tabela 1. Foi verificado visualmente que as melhores separações envolveram voltagens maiores de 24 kV e rotações do rolo maiores de 30 rpm. Portanto, foi definido os valores de 24 e 28 kV, junto com rotações de 50, 65 e 80 rpm para a avaliação e otimização da separação eletrostática do resíduo fotovoltaico. A figura 6 mostra uma alta concentração de vidro no compartimento A mesmo o vidro sendo não condutor, devido a força gravitacional ser maior que a eletrostática na separação. No compartimento C, é visível uma concentração de material polimérico e no compartimento B, é visível a presença do silício, caracterizada pela cor cinza.



Realização

Correalização

Informações:

Figura 6: Análise visual de uma amostra após a separação eletrostática no teste empírico. A (Condutores) B (Meio) C (Não condutores).

As distribuições das concentrações das amostras analisadas no ICP-OES constam nas tabelas 3 e 4, todas realizadas em triplicata.

Tabela 3: Distribuição média de prata em cada compartimento pela devida combinação dos parâmetros escolhidos.

Parâmetros	A (%)	DP	B (%)	DP	C (%)	DP
24.50	62,88	7,58	30,75	11,36	6,37	4,71
24.65	62,33	15,33	33,04	11,31	4,63	4,02
24.80	71,08	8,51	27,59	7,93	1,33	0,83
28.50	71,34	7,25	22,81	7,00	5,85	3,08
28.65	69,05	0,99	25,07	6,80	5,88	6,87
28.80	65,67	4,59	27,13	10,44	7,20	10,53
p-valor	0,662		0,789		0,856	

DP = Desvio Padrão.

Tabela 4: Distribuição média de Cobre em cada compartimento pela devida combinação dos parâmetros escolhidos.

Parâmetros	A (%)	SD	B (%)	DP	C (%)	DP
24.50	67,11	34,41	41,01	25,36	1,27	0,49
24.65	48,81	20,24	50,67	20,38	0,53	0,33
24.80	59,94	2,27	36,34	4,64	3,72	4,01
28.50	47,02	1,56	52,60	1,44	0,38	0,20
28.65	68,92	7,16	29,79	7,10	1,29	0,51
28.80	61,20	21,74	38,06	21,35	0,74	0,49
p-valor	0,630		0,530		0,230	

DP = Desvio Padrão.

As tabelas 3 e 4 evidenciam que os metais se concentraram no compartimento dos condutores, seguido do compartimento do meio e dos não condutores. Foi concentrado 95% dos metais nos compartimentos A e B, em que somente 5% ficou no compartimento não condutor. As tabelas também mostram que não houve diferença estatística na separação dos metais na combinação dos parâmetros utilizados no estudo.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo, podemos concluir que:

- A separação eletrostática é efetiva na segregação de metais em resíduos de painéis PV de silício cristalino, visto que os metais se concentraram no compartimento dos condutores, seguido do compartimento do meio.
- A combinação de parâmetros utilizada não apresenta diferença estatística entre si na separação dos metais, não tendo influência tanto para o cobre quanto para a prata.
- A soma das concentrações dos metais nos compartimentos A e B somam 95%, enquanto os 5% restantes concentraram-se no compartimento C.

5. REFERÊNCIAS

A Nishimura, Y Hayashi, K Tanaka, M Hirota, S Kato, M Ito, *et al.* **Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high-concentration photovoltaic power generation system** Applied Energy, 87 (2010), pp. 2797-2807.

AYRES, Robert. 1997. **Metals recycling : economic and environmental implications** Resources, Conservation and Recycling Volume 21, Issue 3, November 1997, Pages 145-173.

BP Statistical Review of World Energy June 2017. Disponível em: <www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf> Acesso em: 07/04/2018.

Dias P, Javimczik S, Benevit M, et al (2016) **Recycling WEEE: Extraction and concentration of silver from waste crystalline silicon photovoltaic modules.** Waste Manag 57:220–225 .

Doi T, Tsuda I, Unagida H, et al (2001) **Experimental study on PV module recycling with organic solvent method.** Sol Energy Mater Sol Cells 67:397–403.

Energy Resources Disponível em : <www.worldenergy.org/data/resources/resource/solar/> Acesso em: 07/04/2018.

ERIEZ (2013) **MMPM-618C Instalation operation maintenance manual - Laboratory electrostatic separator; High tension roll (HTR) separator.**

Hansen, AD, Sorensen P., Hansen LH, Bindner H (2000) **Models for a stand-alone PV system.** Riso National Laboratory, Roskilde

HERNÁNDEZ, Julia. Alonso, Benito de. Et al. **An Overview Of Solar Photovoltaic Energy in Mexico and Germany.** Renewable and Sustainable Energy reviews Volume 31, pages 639-649, March 2014.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, **World Energy Outlook** Disponível em: < www.iea.org/weo2017/#section-1-2> Data de acesso: 07/04/2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Photovoltaic Power Systems Programme. **Trends 2013 in**

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

Photovoltaic Applications. 2013. Relatório. Disponível em < www.ieapvps.org/index.php?id=3&eID=dam_frontend_push&docID=1733>.

Jung B, Park J, Seo D, Park N (2016) **Sustainable System for Raw-Metal Recovery from Crystalline Silicon Solar Panels: From Noble-Metal Extraction to Lead Removal.** ACS Sustain Chem Eng 4:4079–4083.

Kalogirou S (2009) **Solar energy engineering: processes and systems**, 1st ed. Elsevier, San Diego, California, USA.

Kang S, Yoo S, Lee J, et al (2012) **Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules.** Renew Energy 47:152–159.

Lai KC, Lim SK, Teh PC, Yeap KH (2016) **Modeling Electrostatic Separation Process Using Artificial Neural Network (ANN).** Procedia Comput Sci 91:372–381 .

LI, Liquan, PAN, De'na, et al. (2017). **Patterns and challenges in the copper industry in China.** Resources, Conservation and Recycling. Volume 127, December 2017, Pages 1-7.

Ministério de Minas e Energia. **Renováveis devem manter participação de 43% na matriz energética em 2017.** Disponível em:<www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017>Acesso em : 07/04/2018.

Müller, I. Röver, K. Wambach, D.W. von Ramin-Marro , **Recovery of high value material of different photovoltaic technologies**, in: Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, 2007, pp. 2613–2616.

Office of Energy efficiency & Renewable Energy. **Crystalline Silicon Photovoltaics Research** Disponível em: www.energy.gov/eere/solar/crystalline-silicon-photovoltaics-research.

ROCIO Marco, SILVA Marcelo, et al. (2011) **Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil.** BNDES Setorial 36, p. 397-428.

Tammaro M, Salluzzo A, Rimauro J, et al (2016) **Experimental investigation to evaluate the potential environmental hazards of photovoltaic panels.** J Hazard Mater 306:395–405 .

T.Y. Wang, J.C. Hsiao, C.H. Du , **Recycling of materials from silicon base solar cell module**, Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2012, pp. 2355–2358.

Veit HM, Diehl TR, Salami AP, et al (2005) **Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit boards scrap.** Waste Manag 25:67–74 .

VERDRUP Harald, KOCA Denis, RAGNARSDOTTIR Kristin (2014) **Investigating the sustainability of the global silver supply, reserves, stocks in Society and Market price using diferente approaches** Resources, Conservation and Recycling Volume 83, February 2014, Pages 121-140.

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Zuser A, Rechberger H (2011) **Considerations of resource availability in technology development strategies: The case study of photovoltaics.** Resour Conserv Recycl 56:56–65 . doi: 10.1016/j.resconrec.2011.09.004.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375