



# Seleção de metais obtidos de placas de circuitos eletrônicos e aplicação na síntese de estruturas metalorgânicas

## Selection of metals obtained from electronic circuit boards and application in the synthesis of metal organic frameworks

Leonardo S. Araújo\*, Marcio E. Berezuk<sup>†</sup>

### RESUMO

Devido ao período da pandemia global de Coronavírus associado à dificuldade de acesso aos laboratórios de Química do Campus Apucarana, este trabalho contemplou apenas uma revisão bibliográfica a respeito das principais técnicas de extração e separação de importantes metais como cobre e estanho que são majoritários em placas de circuitos impressos eletrônicos. Os estudos apresentados contemplam que a extração ácida de metais por hidrometalurgia é bastante eficaz na recuperação de cobre e estanho das placas, mas a eficácia é dependente do tipo e das concentrações dos ácidos lixivantes utilizados.

**Palavras-chave:** Circuitos eletrônicos, Metais, Extração ácida, Hidrometalurgia.

### ABSTRACT

Due to the global pandemic period of Coronavirus associated with the difficulty of accessing the chemistry laboratories of Campus Apucarana, this work contemplated only a bibliographical review regarding the main extraction and separation techniques of important metals such as copper and tin, which are the majority in electronic printed circuit boards. The studies presented here contemplate that the acid extraction of metals by hydrometallurgy is quite effective in recovering copper and tin from the boards, but the effectiveness is dependent on the type and the concentrations of the leaching acids performed.

**Keywords:** Electronic circuits, Metals, Acid extraction, Hydrometallurgy.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, de acordo com o IBGE, cerca de 90% das residências brasileiras possuem aparelho celular, mais de 40% possui microcomputador e 11% possui tablete, em 2019. Ou seja, a quantidade de eletrônicos que são utilizados todos os dias tem um valor muito alto, uma vez que, conforme a empresa Market Analysis (2013), o aparelho celular dura em torno de dois anos e meio. Além disso, tem-se o fator do consumismo, em que a cada dia que passa, novas tecnologias são descobertas e apresentadas para o mundo. Dessa maneira, a quantidade de lixo eletrônico também é muito alarmante (IBGE EDUCA, 2021).

O lixo eletrônico ou “e-lixo”, possui compostos como metais pesados, os quais são essenciais para a manutenção da vida humana, porém em quantidades controladas. Quando essas quantidades de metais pesados

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [leozin521@gmail.com](mailto:leozin521@gmail.com)

<sup>†</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



são muito superiores ao permitido causam grandes impactos à saúde não só humana, mas de animais e vegetais (GADD, 2000). Ademais, esse fato se agrava devido ao fato da maneira errônea com que os eletrônicos são descartados no meio ambiente.

Placas eletrônicas para computadores, celulares, televisões, pilhas, baterias, impressoras e entre outros, possuem metais pesados. Quando esses componentes são descartados de maneira incorreta, o lixo é depositado em aterros sanitários, e as substâncias ali presentes podem acabar contaminando o solo e atingindo o lençol freático. No momento em que entram em contato com o lençol freático, esses metais pesados, como, ouro, prata, mercúrio, arsênio, cádmio, chumbo e entre outros, contaminam a água que pode ser fonte para irrigação de plantas, bebida para animais, e conseqüentemente, acaba no alimento do homem (GIESE, 2017).

As redes organometálicas (MOFs) pertencem a uma classe de polímeros de coordenação com desenvolvimento bem recente que une três características, sendo elas: cristalinidade, alta porosidade e existência de forte interação metal-ligante orgânico (RAMOS, TANASE, ROTHENBERG, 2014).

Além disso, essas organizações podem modular a estrutura porosa assim como as propriedades eletrônicas do sítio ativo, quando é escolhido de maneira cuidadosa o ligante orgânico ou modificando essas estruturas com tratamentos pós-síntese, o que acarreta em uma grande utilização industrial nos dias de hoje, destacando as áreas da química fina e na fabricação de produtos químicos (RAMOS, TANASE, ROTHENBERG, 2014).

Dessa maneira, este projeto de iniciação tecnológica e inovação tem por objetivo principal a recuperação de alguns metais presentes em placas de computadores, circuitos eletrônicos, placas-mãe, discos rígidos e microchips que são descartados de maneira errônea no meio ambiente, procurando fazer de forma seletiva e sintetizar novos materiais químicos com grande capacidade tecnológica, os quais sejam aplicáveis na indústria química.

## 2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

Devido à grande dificuldade de acessar os laboratórios de pesquisa no Campus Apucarana da UTFPR durante o ano de 2020 causado pela pandemia da COVID-19, não foi possível desenvolver as atividades práticas dos alunos e desenvolver a pesquisa. Neste sentido, este relatório irá apenas mostrar um trabalho de fundamentação teórica sobre a temática abordada além de apresentar metodologias mais propícias para a melhor separação de metais obtidos de lixos eletrônicos encontrado na literatura.

### 2.1 Separação de metais por hidrometalurgia

O processo hidrometalúrgico se baseia na separação de metais, onde sua fase mais importante é a prática de dissolução do material em soluções lixiviantes, ácidas ou alcalinas, seguida de etapas de separação como extração por solvente, precipitação, troca iônica, filtração e destilação para isolar e concentrar o material de interesse (SUM, 1991).

#### 2.1.1 Separação das placas para manuseio

Conforme o trabalho de Martins (2007), placas de circuitos eletrônicos foram desmontadas para separar a parte não metálica da metálica, e posteriormente foram direcionadas para o corte em guilhotinas manuais e os fragmentos alimentados a um moinho de panela com temporizador. Deixou-se a moagem ocorrer durante oito minutos e depois peneirou-se o produto em uma malha de abertura padrão de 0,208mm. Na sequência, o produto da moagem com granulometria inferior a 0,208mm foi lavado com água destilada.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [leozin521@gmail.com](mailto:leozin521@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)

Depois disso, as amostras de pó foram coletadas e caracterizadas pela técnica de Difração de raios-X e a determinação da concentração das espécies metálicas foram realizadas por Espectrometria de Absorção Atômica.

### 2.1.2 Separação do cobre e estanho por lixiviação

A separação do cobre, pode ser realizado através de lixiviação ácida. Nessa metodologia, 50g de pó lavado, vindos do processamento das placas de circuitos eletrônicos foram alimentados em um béquer de vidro borossilicato com capacidade nominal de 1,0L contendo 500ml de solução de lixiviação ( $2,18\text{ N H}_2\text{SO}_4$ ,  $2,18\text{ N H}_2\text{SO}_4 + 3,0\text{ N HCl}$  ou  $3,0\text{ N HCl} + 1,0\text{ N HNO}_3$ ) (MARTINS, 2007).

A poupa formada foi mantida à temperatura de  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  e sob intensa agitação por meio de uma placa aquecedora com agitação magnética. Amostras de licor da lixiviação foram coletadas em intervalos de 10, 30, 60 e 120 minutos de experimento. Por fim, as amostras foram filtradas, armazenadas e encaminhadas para análise química com o objetivo de determinar a concentração de cobre e estanho no licor da lixiviação por espectroscopia de absorção atômica (MARTINS, 2007).

Os resíduos sólidos provenientes da lixiviação foram recolhidos por centrifugação, seco em estufa a  $60^\circ\text{C}$  por 24 horas e pesado em balança analítica. Amostras de 10g deste resíduo foram enviadas para caracterização por difração de raios-X e determinação das concentrações de Sn e Cu por espectrometria de absorção atômica.

Por fim, a neutralização dos licores de lixiviação foi realizada em um béquer de vidro borossilicato com capacidade nominal de 1,0L. Os licores foram mantidos à temperatura ambiente e sob intensa agitação com o uso de um agitador magnético. Lentilhas de NaOH sólido foram adicionadas aos poucos ao licor de lixiviação e o pH da solução foi medido pelo uso de um eletrodo de referência de vidro conectado a um pHmetro digital. Os precipitados obtidos em valores específicos de pH, através da neutralização com o hidróxido de sódio, foram recolhidos por centrifugação, secos em estufa, pesados e encaminhados para caracterização por difração de raios-X e determinação de teores de Sn e Cu por espectrometria de absorção atômica (MARTINS, 2007).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Obtenção do cobre e estanho por lixiviação

A Tabela 1 mostra o percentual dos metais presentes na amostra de pó lavado originados das placas de circuito eletrônico, segundo trabalho de Martins (2007).

**Tabela 1 – Percentual dos metais presentes na amostra de pó lavado.**

Metais	Percentual (%)
Cu	2,85
Al	3,71
Zn	0,09
Sn	3,09
Ti	<0,1
Ni	0,05

Fonte: MARTINS, (2007).

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [leozin521@gmail.com](mailto:leozin521@gmail.com)

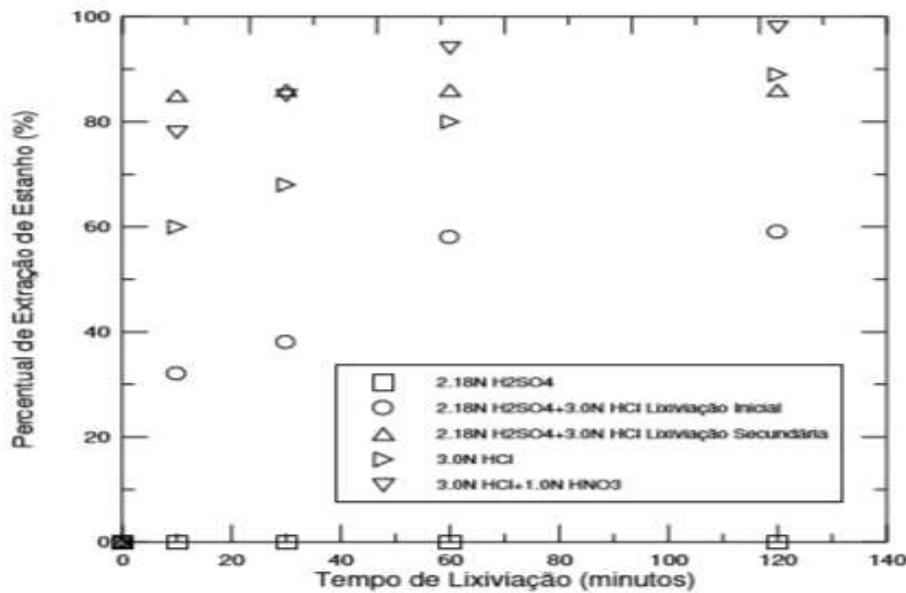
† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



De acordo com a Tabela 1, foi possível observar que os metais que foram obtidos em maiores quantidades foram: Al, Sn e Cu respectivamente. Conforme apresentado pelos autores, os valores em percentual de estanho e cobre foram superiores a outros estudos, dessa forma, foi escolhido continuar a recuperação somente desses dois metais.

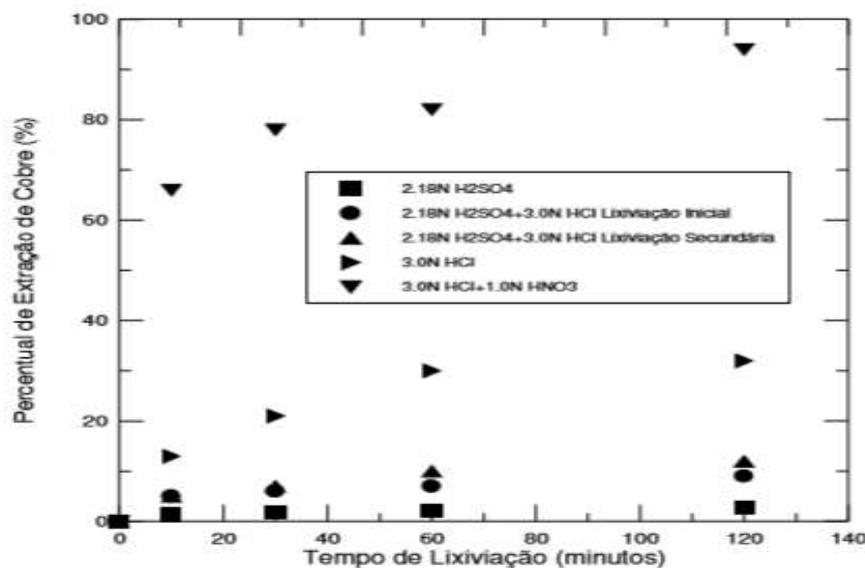
Os autores apresentaram gráficos que relacionam a extração de estanho e cobre versus tempo de lixiviação que podem ser observados nas Figuras 1 e 2 (MARTINS, 2007).

Figura 1 - Percentual de extração do Sn por tempo de lixiviação.



Fonte: Martins, (2007).

Figura 2 - Percentual de extração do Cu por tempo de lixiviação.



Fonte: Martins, (2007).

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [leozin521@gmail.com](mailto:leozin521@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



O autor fez uso de algumas concentrações e tipos de ácidos inorgânicos distintos para verificar a capacidade de lixiviação dos metais das placas de circuitos eletrônicos avaliadas. Foi observado que o sistema de ácidos que correspondem a 3,0N HCl + 1,0N HNO<sub>3</sub> foi o que apresentou os melhores resultados obtidos para extração de cobre e estanho. Já os piores resultados foram obtidos a partir do sistema 2,18 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (MARTINS, 2007).

Além disso, o outro sistema (2,18N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3,0N HCl), chamado de lixiviação secundária, alcançou 90% da extração de Sn em relação ao teor do metal no resíduo de lixiviação inicial que foi a alimentação da lixiviação secundária. A Tabela 2 apresenta os principais resultados obtidos pelo autor dos processos de lixiviação realizados. A partir destes resultados, o autor observou que a lixiviação secundária pode alcançar um percentual elevado de extração de estanho em comparação aos outros sistemas.

**Tabela 2 - Percentuais de extração de Sn e Cu nos sistemas de lixiviação estudados.**

Sistema de lixiviação	Sn extraído (%)	Cu extraído (%)
2,18 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,7	<0,01
2,18N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 3,0N HCl		
Lixiviação inicial	60	10
Lixiviação secundária	90	17
3,0N HCl	89	32
3,0N HCl + 1,0N HNO <sub>3</sub>	98	93

Fonte: MARTINS, (2007).

Segundo Martins (2007), o sistema que apresentou o pior resultado pode ter apresentado tal característica devido à presença de espécies orgânicas associadas ao pó de alimentação. A solubilização destas espécies orgânicas pelo contato com os agentes de lixiviação estudados, pode ter interferido na precipitação, causando uma modificação na constituição ou estrutura do precipitado, tornando-o amorfo e, por fim, não sensível à identificação por difração de raios-X.

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos para os teores de Sn e Cu nos precipitados obtidos a partir da neutralização dos licores de lixiviação dos sistemas estudados (MARTINS, 2007).

**Tabela 3 - Teores de Sn e Cu nos precipitados obtidos por neutralização dos licores de lixiviação nos sistemas estudados.**

Sistema de lixiviação	Precipitado obtido em pH inicial	Massa de precipitado (g)	%Sn	Sn recuperado (mg)	%Cu	Cu recuperado (mg)
<b>2,18 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0,5	1,48	<0,01	-	<0,01	-
	4,6	10,45	0,23	24	<0,01	-
	8,9	2,46	0,52	13	<0,01	-
<b>2,18N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3, 0N HCl</b>						
<b>Lixiviação inicial</b>	3,0	13,0	2,5	325	0,4	52
	4,3	33,8	1,5	507	0,2	57
	8,5	1,2	0,1	1,0	0,1	1,2
<b>Lixiviação secundária</b>	3,0	16,3	1,2	196	0,5	81
	8,5	13,2	0,8	106	0,3	39
<b>3, 0N HCl</b>	1,8	10,0	12,0	1200	0,2	20
	3,0	16,4	1,0	164	0,1	16
	4,2	1,3	<0,1	-	10,1	13,1
	2,6	25,6	3,1	793	0,4	10,2
	3,3	5,1	4,3	219	1,3	66

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [leozin521@gmail.com](mailto:leozin521@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



3,0N HCl + 1,0N HNO <sub>3</sub>	4,2	22,3	1,3	290	1,2	267
-------------------------------------	-----	------	-----	-----	-----	-----

Fonte: MARTINS, (2007) [8].

Conforme a apresentação dos dados na Tabela 3, o precipitado obtido em pH = 1,8 no sistema 3,0N HCl foi o que alcançou o maior valor de massa de Sn, seguida do precipitado obtido em pH = 2,6 no sistema 3,0N HCl + 1,0N HNO<sub>3</sub>. Para o cobre, o precipitado obtido em pH = 4,2 no sistema 3,0N HCl + 1,0N HNO<sub>3</sub> foi aquele que obteve um maior valor de massa de Cu.

#### 4 CONCLUSÃO

Para a extração de cobre e estanho a partir de lixiviação ácida, de acordo com o trabalho de Martins (2007), o sistema que obteve melhores resultados simultâneos de Sn e Cu foi o 3,0N HCl + 1,0N HNO<sub>3</sub>, já o sistema 2,18 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foi o que apresentou os piores resultados.

A lixiviação secundária do sistema 2,18N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3,0N HCl alcançou 90% de extração de estanho, a partir da lixiviação inicial, permitindo um valor aproximado do sistema de lixiviação 3,0N HCl.

#### AGRADECIMENTOS

À UTFPR – Câmpus Apucarana e à Fundação Araucária pela bolsa PIBITI.

#### REFERÊNCIAS

- Obsolescência programada: o ciclo de vida dos eletroeletrônicos.** MARKET ANALYSIS, Out. 2013. Disponível em: <<http://marketanalysis.com.br/publicacoes/obsolescencia-programada-o-ciclo-de-vida-dos-eletroeletronicos/>>. Acesso em: 12 de março de 2021.
- Uso de internet, televisão e celular no Brasil.** IBGE EDUCA. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/criancas/brasil/2697-ie-ibge-educa/jovens/materias-especiais/20787-uso-de-internet-televisao-e-celular-no-brasil.html>>. Acesso em; 20 de março de 2021.
- GADD, G. M. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. **Curr. Opin. Biotechnol.**, v. 11, p. 271-279, 2000.
- GIESE, E. C. Biolixiviação: uma avaliação das inovações tecnológicas na biomineração de minerais sulfetados no período de 1991 a 2015. **Tecnol. Metal. Mater. Min.**, v. 14, p. 192-203, 2017.
- RAMOS, A. L. D., TANASE, S., ROTHENBERG, G. Redes metalorgânicas e suas aplicações em catálise. **Quím. Nova**, v. 37, n. 1, p. 123-133, 2014.
- SUM, E. Y. L. The recovery of metals from electronic scrap. **J. Metal.**, v. 43, 1991. 53-61 p.
- MARTINS, A. H. Recuperação de estanho e cobre a partir da reciclagem de placas de circuito eletrônico de microcomputadores sucataados. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 3, n. 2, p. 124-131, 2007.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [leozin521@gmail.com](mailto:leozin521@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)