

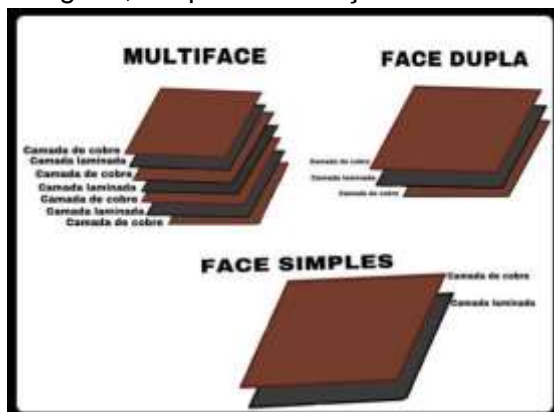
A obtenção de cobre a partir da reciclagem química de Placas de Circuito Impresso

Poucos são os questionamentos feitos acerca do mundo ao redor, mas basta o olhar minimamente atento para a percepção de que estamos na era tecnológica mais avançada de toda a história. A tecnologia está presente na maior parte da vida cotidiana, e as consequências disso transparecem em nosso planeta de forma positiva, e, negativa: quanto maior o consumo de eletrônicos, mais resíduos são gerados.

Tablets, celulares, computadores, o instrumento usado para realizar esta leitura, independentemente: no momento da utilização, houve o questionamento sobre o destino deste aparelho? Ele será apenas lixo, oferecendo riscos de contaminação às pessoas e animais, ou será uma ferramenta para uma finalidade economicamente e ambientalmente vantajosa? A resposta depende do seu descarte e da consciência das pessoas com relação a isso.

Lixo eletrônico (ou E-Waste) é o nome dado aos resíduos elétricos ou eletrônicos (como pilhas, baterias, placas e circuitos) que não possuem mais utilidade ou que estão danificados, prontos para serem descartados. No Brasil, a produção anual desses resíduos é de, em média, 2 milhões de toneladas, de acordo com o relatório: Thé global E-Waste Monitor 2020 [1], da ONU, sendo a taxa de reciclagem, menos de 3%. Por esta razão, é importante que a população tenha informações sobre o assunto, tal como formas de evitar o descarte incorreto desses eletrônicos.

Um dos resíduos eletrônicos que entra na classificação de E-Waste e que está presente em diversos produtos é a Placa de Circuito Impresso (PCI), possuindo variados tipos: placa mãe, de vídeo, modem, e placa de rede; podendo ser classificada entre[2]: faces simples, faces duplas ou multifaces, dependendo para qual finalidade e em qual equipamento será utilizada. Em geral, ela possui a função de favorecer o funcionamento dos dispositivos eletrônicos.



Fonte: Autoria própria, 2022

As camadas laminadas que compõem as placas, são cobertas pelas camadas de cobre e podem apresentar diferentes composições, como por exemplo: fenolite (papelão impregnado com uma resina fenólica), fibra de vidro, composite (mistura de resina fenólica com a fibra de vidro) e cerâmicos[3]. Além dessas camadas, existem os circuitos integrados que possuem específicas funções para o funcionamento do sistema, sendo compostos por silício, ouro, prata, níquel, ferro, alumínio e outros materiais, unidos através da solda com chumbo e estanho.

Esses resíduos eletrônicos, em geral, quando descartados de forma incorreta, podem causar severos problemas para o meio ambiente e para as pessoas que entram em contato,

pois alguns deles possuem componentes perigosos como: chumbo, mercúrio, cádmio, tungstênio, arsênio, estanho, titânio e alumínio, que segundo o Departamento de Microbiologia da Universidade de São Paulo (USP) [4], são classificados como Micro contaminantes ambientais. Dentre estes, é possível encontrar em abundância nas placas de circuito impresso: chumbo e alumínio. Eles podem causar, nos seres humanos, respectivamente: doenças prejudiciais ao sistema nervoso (central e periférico), medula óssea e rins; doenças relacionadas, principalmente, aos sistemas: digestório (como constipação intestinal) e nervoso (coordenação de movimentos e fala), além de doenças hepáticas e renais. Outros que também podem ser considerados contaminantes são: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel.

Ambientalmente, a contaminação pode ocorrer por meio do contato com o solo, chegando até os lençóis freáticos, contaminando a água, que por sua vez, faz o mesmo com animais e produções agrícolas, chegando por último, nas pessoas, causando os severos problemas citados.

Principalmente devido a esse risco que envolve a população e o meio ambiente, juntamente com a possibilidade de recuperação dos metais presentes (o que é lucrativo, uma vez que não são somente descartados), esses resíduos eletrônicos devem ser encaminhados para a reciclagem especializada.

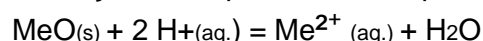
A primeira etapa deste processo é a mecânica, onde os materiais são separados em metais, materiais poliméricos (macromoléculas que podem possuir diferentes composições, sendo alguns providos de fontes renováveis e outros, não) e cerâmicos [5](consistentes de elementos metálicos e não metálicos, por exemplo, produtos como vidro e refratários), havendo as fases posteriores de: cominuição, classificação e separação [6].

Na cominuição, os resíduos são fragmentados, passando pelos processos de britagem (quebra em partículas maiores), e moagem (partículas menores). Na classificação, fatores como tamanho, densidade e superfície são considerados. Já a separação, é dividida em: magnética e eletrostática (metais classificados em mistos, condutores, ou não condutores).

Iniciando a segunda etapa, dos processos químicos, é realizada a hidrometalurgia (processo de separação de metais em meio aquoso), que ocorre através da técnica de lixiviação[7], o processo que consiste na solubilização de metais do estado sólido para o líquido, podendo ser dividida em três etapas [8]: mudança de fase do soluto na dissolução, a difusão através do solvente nos poros do sólido para o exterior das partículas, e a transferência do soluto em contato com as partículas para a massa principal da solução.

Cada etapa apresenta velocidades variadas, que são influenciadas por: dimensão das partículas (quanto maior a área de contato, maior a velocidade da reação), solvente (seletivo), temperatura (quanto maior, mais rápido será o processo), e agitação (aumenta a difusão e evita a sedimentação das partículas).

A lixiviação química pode ser feita de acordo com três vertentes [9]: Através de Cianeto, Tiosulfato, Tiureia e Hatelo; envolvimento de ligantes como oxalato, e ácidos: Nitrilotriacético, Dietilenotriaminopentacético e Etilenodiaminotetracético e por fim, tratamentos ácidos: clorídrico, sulfúrico, nítrico, hipoclorato de sódio, e água régia. Neste caso, a reação genérica da lixiviação ácida pode ser dada por:



Segundo um artigo realizado por Ching-Hwa Lee¹, Li-Wen Tang¹ e Srinivasa R Popuri², foi efetuado um experimento de lixiviação do cobre, elemento mais abundante nas Placas de Circuito Impresso, através de água de amônia.

Foram utilizados 2 g de amostra e 200 mL de solução de lixiviação com uma velocidade de agitação de 150 rpm. Os fatores considerados foram: concentração, tempo de lixiviação, relação sólido/solução, concentração de oxidante e temperatura, conforme demonstra a

Tabela:

Parâmetros de Condições	Solução de Amônia
Concentração (vol.%)	5,10,15,20,25,30
Tempo (h)	1
Relação sólido/solução	0,01g/200mL
Concentração de oxidante	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈): 45.6 g
Temperatura (°C)	27

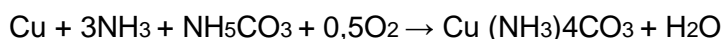
A reação de lixiviação obtida foi: $\text{Cu} + 2\text{NH}_3 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{NH}_4 \rightarrow \text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+} + \text{H}_2\text{O}$

Entretanto, a equação inicial usada para obter a quantidade de recuperação do cobre foi:

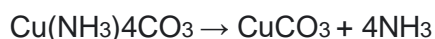
$$\text{Recuperação} = \frac{\text{Peso do metal lixiviado}}{\text{Peso do metal contido na amostra}}$$

Como resultado, a eficácia da água de amônia (com adição de persulfato de amônio) foi de 88.87%.

Utilizando outro artigo [10], podemos citar o sistema amoniacal NH₃/NH₅CO₃ (com arejamento), desenvolvido por Liu et al. (2009), obtendo a seguinte reação:



Esta, em seguida, passou pelos processos: de filtração (processo de separação de misturas heterogêneas do tipo sólido-líquido, neste caso), aquecimento (para remover o amoniacal: NH₃) e a extração do cobre após a precipitação (processo onde compostos químicos reagem com os íons de metais, de modo a formarem compostos insolúveis em água) do carbonato de cobre (CuCO₃), resultando na reação:



Na seguinte etapa, o carbonato (CuCO₃) foi aquecido a 550°C, formando óxido de cobre (CuO):



Analisando os resultados, os autores concluíram que para a dissolução total do cobre, seria necessário realizar, mais do que uma única vez, a reação do sistema (NH₃/NH₅CO₃), considerando também que quanto maior concentração do sistema, maior concentração de íons de cobre. Porém, com o passar do tempo, esta concentração de íons iria diminuir, devido a ação do arejamento, que provoca a condução da amônia para o exterior da solução.

Com esses dados, testes e resultados, é possível concluir que as PCIs, além de serem componentes eletrônicos complexos e fundamentais, também podem proporcionar a obtenção do cobre através de sua reciclagem.

O processo utiliza a técnica de lixiviação amoniacal, apresentando resultados eficientes, uma possibilidade oferecida pela química, economicamente e qualitativamente viável, dando credibilidade ao incentivo de reciclar o lixo eletrônico e recuperar os metais nele contidos, evitando contaminação ambiental e gerando lucro.

Referências:

- [1] TOKARNIA, Marina. Brasil é o quinto maior produtor de lixo eletrônico. 2021. Agência Brasil, Rio de Janeiro, 2021.
Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16560/1/PG_COENQ_2017_2_17.pdf](https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-10/brasil-e-o-quinto-maior-produtor-de-lixo-eletronico#:~:text=Apenas%20o%20Brasil%20descartou%2C%20em,algum%20eletroeletr%C3%B4nico%20no%20lixo%20comum.>></p><p>[2] TOZZI, Laís Pereira. Reciclagem de Placas de Circuito Impresso para a obtenção de metais não ferrosos. 2017. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.
Disponível em: <
- [3] GERBASE, Annelise Engel; OLIVEIRA, Camila Reis. Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química. 2012. Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/KSRbFmmLnnrkxcrKY37QS9m/?lang=pt#>>>
- [4] Disponível em: <<https://microbiologia.icb.usp.br/cultura-e-extensao/textos-de-divulgacao/bacteriologia/microbiologia-ambiental/metais-pesados-um-perigo-eminente/>>>
- [5] FERREIRA, Eduardo Bellini. Materiais Cerâmicos: aplicação e processamento. SMM0194 - Engenharia e Ciência dos Materiais 2. 2018. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5710089/mod_resource/content/1/Aula%204.%20Processos%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20Materiais%20Cer%C3%A2micos.pdf>
- [6] RIBEIRO, Pedro Paulo Medeiros. Concentração de metais contidos em Placas de Circuito Impresso de computadores descartados. 2013. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Metalúrgica, 2013.
Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9717/1/monopoli10007207.pdf>>
- [7] HECK, Nestor Cezar. Metalurgia Extrativa dos Metais Não-Ferrosos I-A. 2007. Graduação - UFRGS, 2007. Disponível em: <<http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06631/Lixiviacao.pdf>>
- [8] LOPES, Cristiana Ribeiro. 2017. Recuperação de metais de placas de circuito impresso lixiviação em sistema amoniacal. Dissertação - Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente 2016/2017. FEUP (Faculdade De Engenharia Universidade do Porto), Porto, 2017.
Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/107348/2/212381.pdf>>
- [9] SILVIAS, Flávia Paulucci Cianga. 2014. Utilização de hidrometalurgia e biometalurgia para reciclagem de placas de circuito impresso. Tese (Doutor em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-28082015-114810/publico/Tese_FlaviaPaulucciCiangaSilvas.pdf>
- [10] Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.964.4665&rep=rep1&type=pdf>>