

# BIO-EXTRAÇÃO DE METAIS DE BASE A PARTIR DE SUCATA ELETRO-ELETRÔNICA

## BIO-EXTRACTION OF BASE METALS OUT OF ELECTRO-ELECTRONIC SCRAP

**Andriela Dutra Norberto de Oliveira**

Aluno de Graduação em Ciências Biológicas pela  
Universidade Estadual da Zona Oeste (UEZO)

Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: setembro de 2018 a julho de 2019  
andriela.norberto7@gmail.com

**Luis Gonzaga Santos Sobral**

Orientador, Engenheiro Químico, Ph.D.  
Lsobral@cetem.gov.br

### RESUMO

O avanço da tecnologia somado aos hábitos de consumo da sociedade e o curto tempo de vida de equipamentos eletrônicos modernos promove gradativamente um aumento da geração de sucata eletrônica. Atualmente, os resíduos eletrônicos podem alcançar, consideravelmente, um número superior a 60 elementos diferentes, com inerentes características físico-químicas, variando entre metais de base, metais preciosos, elementos de terras raras e elementos recalcitrantes. Existem várias rotas tecnológicas de processamento de sucatas eletrônicas para extração de metais preciosos e de base. Neste estudo, foi feita uma abordagem biotecnológica para a extração de metais de base contidos, especificamente, em placas de circuito impresso. Utilizou-se as bactérias *Acidithiobacillus ferrooxidans-LR* e *Leptospirillum ferrooxidans-ATCC53992* cuja função, nesse processo, é oxidar os íons  $Fe^{2+}$ , adicionados ao meio de cultivo na forma de sulfato ferroso, aos íons  $Fe^{3+}$  estabelecendo, dessa forma, um ciclo de reação, pois os íons férricos ( $Fe^{3+}$ ) atuam como agente oxidante e são reduzidos aos íons ferrosos ( $Fe^{2+}$ ) após a oxidação dos metais de base contidos nas sucatas eletrônicas.

**Palavras chave:** sucata eletrônica, biolixiviação, micro-organismos.

### ABSTRACT

The advancement of technology coupled with society's consumption habits and the short lifespan of modern electronic equipment gradually promotes an increase in the generation of electronic scraps. Nowadays, electronic waste can reach considerably more than 60 different elements with inherent physicochemical characteristics, ranging from base metals, precious metals, rare earth elements and recalcitrant elements. There are several technological routes for electronic scrap processing for precious and base metal extraction. In this study, a biotechnological approach was taken for the extraction of base metals contained specifically in printed circuit boards. The bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans-LR* and *Leptospirillum ferrooxidans-ATCC53992* were used, whose function in this process is to oxidize  $Fe^{2+}$  ions, added to the culture medium as ferrous sulfate, to  $Fe^{3+}$  ions, thus establishing a reaction cycle. as ferric ions ( $Fe^{3+}$ ) act as oxidizing agent and are reduced to ferrous ions ( $Fe^{2+}$ ) after oxidizing the base metals contained in electronic scraps.

**Keywords:** Electronic scrap, bioleaching, microorganisms.

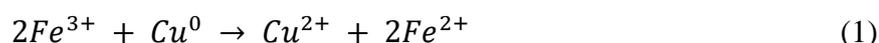
## 1. INTRODUÇÃO

A sucata eletroeletrônica é gerada pelo descarte de equipamentos obsoletos como celulares, computadores, entre outros. Tal material é composto por diferentes componentes (*i.e.*, placas de circuito impresso, baterias, LCD etc.) e também inúmeros elementos e substâncias químicas (*i.e.*, metais como Pb, Cu, Zn, cerâmicos e polímeros) (BHUTTA, OMAR, YANG, 2011 *apud* Jianzhi et al., 2004; SCHLUEP et al., 2009; YAMANE et al., 2011). Intensificado pelas inovações tecnológicas, esse descarte vem sofrendo um aumento gradual a cada ano, resultando numa problemática ambiental decorrente do montante de materiais que vem sendo acumulado. No entanto tais materiais podem ser considerados como fonte alternativa na extração de metais valiosos, como metais-base e metais preciosos (GUO et al., 2009; VEIT et al., 2006).

O constante avanço tecnológico vivido nos últimos anos trouxe diversas vantagens econômico-sociais. Entretanto, quando associado ao estímulo exacerbado pelo consumo, revela uma problemática: o aumento de Resíduos de Equipamentos Eletro-eletrônicos (REEE). Devido à fatores culturais, os consumidores têm preferido descartar a consertar equipamentos com mau funcionamento ou quebrados. Ao mesmo tempo os constantes lançamentos de novas tecnologias e modernização de equipamentos antigos também contribuem para a manutenção deste fenômeno (PUCKETT e SMITH, 2002).

Os métodos convencionais de reciclagem envolvem rotas hidrometalúrgicas e pirometalúrgias; no entanto, a biolixiviação pode ser um método alternativo na extração de metais de base (CHOI et al., 2004; ILYAS et al., 2007; YANG et al., 2009) e de extração de metais preciosos da sucata eletrônica (BRANDL & FARAMARZI, 2006). Dessa forma, diversas técnicas utilizadas para o tratamento de sucatas eletrônicas foram desenvolvidas com o intuito de reduzir o grande volume característico das mesmas (HUANG, K. et al., 2009).

No processo de bio-extração de metais, os micro-organismos são os responsáveis pela geração do agente oxidante no sistema reacional ( $Fe^{3+}$ ) a partir da oxidação de  $Fe^{2+}$  que pode ser adicionado ao sistema tanto na forma solúvel ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) ou insolúvel ( $FeS_2$ ). Brandl et al., 2001, Ilyas et al., 2007, e Yang et al., 2009, demonstraram, em estudos nos quais foram empregados micro-organismos acidófilos mesofílicos e termofílicos, que metais podem ser recuperados de placas de circuitos impressos através da lixiviação microbiana. O método de dissolução dos metais contidos em sucatas eletrônicas é similar ao mecanismo de dissolução de sulfetos minerais, a exemplo da oxidação do cobre (Equação 1) na qual o  $Fe^{3+}$ , liberado no sistema a partir da ação oxidante das bactérias, oxida o cobre metálico a  $Cu^{2+}$ . O papel do micro-organismo, nesse caso, é reoxidar o  $Fe^{2+}$  produzido a  $Fe^{3+}$  estabelecendo, dessa forma, um ciclo de reação.



Os micro-organismos capazes de promover a oxidação de  $Fe^{2+}$  são acidófilos, quimiotróficos (obtem energia a partir da oxidação de compostos inorgânicos), autotróficos (executam a biossíntese de todos os constituintes celulares utilizando o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) como única fonte de carbono) e são classificados de acordo com a temperatura em que se desenvolvem, distinguindo-se em: mesófilos (até  $40^\circ C$ ), termófilos moderados ( $40^\circ - 55^\circ C$ ) e termófilos extremos ( $55^\circ - 80^\circ C$ ) (SHIPPERS, 2007).

## 2. OBJETIVO

Este estudo teve por objetivo realizar a biolixiviação de uma amostra de sucata eletro-eletrônica, visando à extração de metais de base pela utilização de íons férricos gerados biologicamente.

## 3. METODOLOGIA

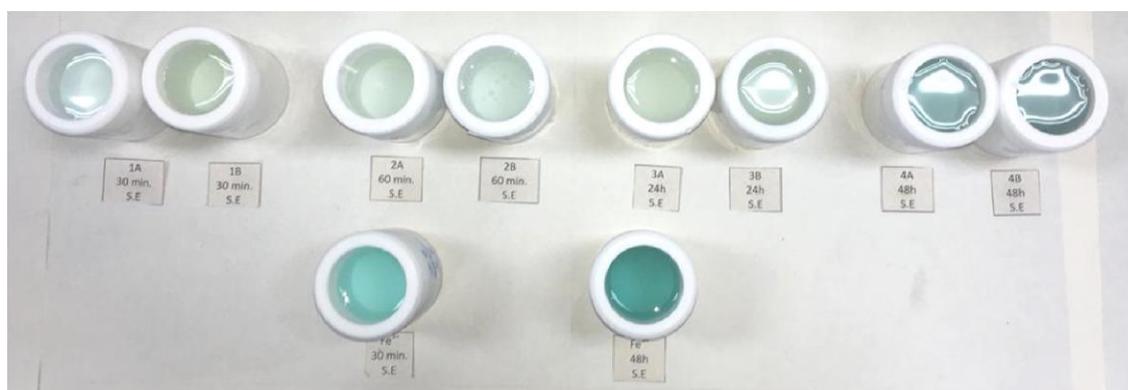
Inicialmente, foram coletadas partes, visivelmente, ricas em metais preciosos, por catação manual, a partir de placas de circuitos impressos. Em seguida, foi realizada uma cianetação intensiva para a extração dos metais preciosos (*i.e.*, ouro, prata e paládio) pois esses metais se encontram eletrodepositados, em camadas delgadas, em substratos de metais de base, cobre e

níquel em particular. As partes isentas de metais preciosos, agora com aparente exposição dos metais de base, foram cominuídas em moinho de anéis e uma amostra representativa deste material cominuído foi digerida em água-régia e a lixívia resultante submetida à análise dos constituintes metálicos por Espectrometria de Absorção Atômica, tendo sido encontrados: Cu 64,9%, Ni 1,3%, Zn 27,0%, Al 1,4%, Si 1,1%, Ti 0,12%, Fe 1,2%, Sn 1,8%, Ba 0,34%, Pb 0,56% e W 0,11%.

O experimento de bio-extração de metais foi conduzido em 8 frascos Erlenmeyer com capacidade para 250 mL, contendo 5 g sucata finamente cominuída,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   $33,3 \text{ g.L}^{-1}$ , 90 mL de solução MKM [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ :  $0,08 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ :  $0,08 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ :  $0,008 \text{ g.L}^{-1}$ ] pH 1,8, 5 mL de *Acidithiobacillus ferrooxidans* e 5 mL de *Leptospirillum ferrooxidans*. Os ensaios foram realizados em duplicatas, utilizando frascos de sacrifício e o controle foi feito em frascos nos quais não foram adicionados micro-organismos, contendo uma solução ácida de  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  a  $23,96 \text{ g.L}^{-1}$ . Os frascos foram submetidos à agitação orbital de 150 rpm e temperatura de  $30^\circ\text{C}$  por um período de 48 horas, sendo a primeira duplicata retirada com 30 minutos de ensaio, a segunda duplicata com 60 minutos de ensaio, a terceira com 24 horas de ensaio e, por fim, a quarta duplicata com 48 horas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de bio-extração de metais foram realizados, contudo, até o momento da confecção deste relatório, sem a entrega dos resultados analíticos pelo Departamento Análises Químicas, por motivo de força maior. Entretanto, o que pode ser observado, qualitativamente, é uma intensificação da coloração da solução em função do tempo de processo, típica da dissolução de cobre metálico, elemento majoritário na amostra ensaiada. A coloração azul é característica da presença de íons cúpricos (*i.e.*,  $\text{Cu}^{2+}$  de cor azulada), conforme pode ser observado na Figura 1, a seguir.



**Figura 1.** Da esquerda para a direita na parte superior, observa-se alíquotas de lixívia amostradas em função do avanço do tempo de processo. Na parte inferior da figura, nota-se duas alíquotas referentes à lixiviação férrica. A da esquerda foi amostrada após 30 minutos de ensaio e a da direita, após 48 horas.

Nota-se, ao observar a Figura 1, que ocorreu uma intensificação da cor azul da lixívia com o tempo de reação, caracterizando a presença do cobre solubilizado. As alíquotas amostradas estão sendo mantidas em frascos de Teflon<sup>®</sup> para serem analisadas posteriormente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios realizados espera-se a solubilização dos metais de base a partir da ação do íon férrico que é, continuamente, mantido no sistema pela ação microbiana. A coloração azulada observada na solução é um dado qualitativo que demonstra a solubilização do cobre, elemento majoritário na amostra metálica ensaiada. Futuramente será possível avaliar, quantitativamente, com o advento dos resultados analíticos e a continuidade do estudo, a efetividade desse processo extrativo.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica, ao CETEM pela oportunidade de realização das atividades de iniciação científica, ao meu orientador Dr. Luis Sobral pelos ensinamentos, a Bióloga Dra. Débora Monteiro pelo auxílio e colaboração e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHUTTA, M. Khurram S.; OMAR, Adnan; YANG, Xiaozhe. Electronic Waste: A Growing Concern in Today's Environment. **Economics Research International**, USA, p. 1-5, abr. 2011. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/ecri/2011/474230/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

BRANDL, H., FARAMARZI, M.A. Microbe-metal-interaction for the biotechnological treatment of metal-containing solid waste. **China Particuology**, v. 4, n. 2, p. 93-97, 2006.

CHOI, M-S., CHO, K-S., KIM, D-S., KIM, D-J. Microbial recovery of copper from printed circuit boards of waste computer by Acidithiobacillusferrooxidans. **J. Environ. Sci. Health, Part A, Environ. Sci. Eng. Toxic. Hazard**, v. A39, n.11, p. 1-10, 2004.

GUO, J., GUO, J., XU, Z. Recycling of non-metallic fractions from waste printed boards: a review. **Journal of Hazardous Materials**, v.168, n. 2-3, p. 567-590, 2009.

ILYAS, S., ANWAR, M.A., NIAZI, S.B., GHOURI, M.A. Bioleaching of metals from electronic scrap by moderately thermophilic acidophilic bacteria. **Hidrometallurgy**, v. 88, n.1-4, p.180-188, 2007.

PUCKETT, J. et al. Exporting harm, the high-tech trashing of Asia. **The Basel Action Network (BAN) and Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC)**, Seattle, WA., USA, p. 1-54, fev. 2002. Disponível em: <<http://svtc.org/wp-content/uploads/technotrash.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

SCHIPPERS, A. Microorganisms involved in bioleaching and nucleic acid-based molecular methods for their identification and quantification. Em: DONATI, E.R.; SAND, W. **Microbial processing of metal sulfides**. La Plata: Springer, cap. 1, p. 3-33, 2007.

VEIT, H.M., BERNARDES, A.M., FERREIRA, J.Z., TENÓRIO, J.A.S., Malfatti, C.F. Recovery of Copper from Printed Circuit Boards Scraps by Mechanical Processing and Electrometallurgy. **Journal of Hazardous Materials**, v. B137, p.1704-1709, 2006.