

EXTRAÇÃO DE METAIS PRECIOSOS A PARTIR DE SUCATA ELETRÔNICA, POR CIANETAÇÃO INTENSIVA E DE METAIS DE BASE POR AÇÃO DE ÍONS FÉRRICOS PRODUZIDOS BIOLÓGICAMENTE.

Ana Luisa Agostinho Marques dos Santos

Aluna de Graduação da Engenharia Ambiental 8º período, UFF
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015,

alasantos@cetem.gov.br

Luis Gonzaga Santos Sobral

Orientador, Engo. Químico, D.Sc.

lsobral@cetem.gov.br

Debora Monteiro de Oliveira

Co-orientadora, Bióloga, M.Sc.

dmonteiro@cetem.gov.br

Abstract

Due to the increasing technological advancement, the electronic equipment are often replaced in an ever shorter period of time causing a gradual increase in generating electronic scraps. The total number of chemical elements found in electronic waste, today, can achieve a significant number of more than 60 different elements, with different physico-chemical characteristics, ranging from base metals, precious metals, rare-earth elements and recalcitrant elements, such as cadmium, lead, selenium etc. There are several technological ways of processing electronic scrap for the extraction of precious and base metals. In this study, the intensive cyanidation was used for extracting precious metals followed by ferric leaching for extracting base metals. In this last step, the mechanism used in the dissolution of base metals is the indirect mechanism of bioleaching in which the ferric ions (Fe^{3+}), generated biologically, oxidize metals out of this type of scrap, such as copper, nickel and iron. After that oxidizing process, these ferric ions are reduced back to ferrous ions (Fe^{2+}). The role of microorganisms, in this case, is to re-oxidize the ferrous ions into ferric ions, establishing, this way, a reaction cycle. The experimental results confirm the effectiveness of the extractive processes practiced.

Keywords: electronic scraps; bio-extraction; precious metals; cyanidation.

Resumo

Devido ao crescente avanço tecnológico, os equipamentos eletrônicos são, muitas vezes, substituídos em um período de tempo cada vez mais curto causando o aumento gradual da geração de sucata eletrônica. O número total de elementos químicos encontrados nos resíduos eletrônicos, nos dias de hoje, pode alcançar um número significativo superior a 60 elementos diferentes, com distintas características físico-químicas, variando entre metais de base, metais preciosos, elementos de terras raras e elementos recalcitrantes, a

exemplo de cádmio, chumbo, selênio etc. Existem várias rotas tecnológicas de processamento de sucatas eletrônicas para extração de metais preciosos e de base. Neste estudo, utilizou-se a cianetação intensiva para extração dos metais preciosos seguida de lixiviação férrica para extração dos metais de base. Nessa última etapa, o mecanismo empregado na dissolução de metais é o mecanismo indireto de biolixiviação no qual os íons férricos (Fe^{3+}), produzidos biologicamente, oxidam alguns metais contidos nesse tipo de sucata, a exemplo do cobre, níquel e ferro. Após a oxidação, esses íons férricos são reduzidos aos íons ferrosos (Fe^{2+}). O papel dos micro-organismos, nesse caso, é reoxidar o Fe^{2+} produzido à Fe^{3+} estabelecendo, dessa forma, um ciclo de reação. Os resultados experimentais confirmam a efetividade dos processos extrativos praticados.

Palavras-chave: sucata eletrônica; bio-extração; metais preciosos; cianetação.

1. INTRODUÇÃO

O termo lixo eletrônico, ou “e-lixo”, como é denominado por alguns, refere-se a todo o rejeito oriundo do descarte de aparelhos eletrônicos, tais como: televisores, computadores pessoais — incluindo os seus componentes, como discos rígidos, placas-mãe etc. — aparelhos celulares, entre outros. Esses equipamentos são constituídos por um grande número de metais, o que se configura em elevada carga quando expostos no meio ambiente e, além disso, o descarte de bens metálicos com elevado valor agregado.

O descarte de equipamentos eletro-eletrônicos tem contribuído, consideravelmente, para o volume de lixo gerado na sociedade contemporânea. O setor apresenta uma fase de crescimento acelerado provocada pelos contínuos avanços tecnológicos, principalmente na área de Tecnologia da Informação. Portanto, a obsolescência, cada vez mais acelerada, dos equipamentos utilizados neste setor, somado aos aparelhos defeituosos, aponta para uma elevação do número de descartes de artigos de origem eletrônica ocasionando o crescimento do volume de tais resíduos.

A sucata eletrônica é uma mistura complexa de: a) metais preciosos (Ag, Au, Pd etc.), b) metais de base e metais especiais (Cu, Al, Ni, Zn, Sn, Fe, In, Sb, Bi etc.), c) metais que inspiram grande preocupação (Hg, Be, Pb, Cd, As etc.), d) Halogêneos (Br, F, Cl etc.), e) plásticos e outros compostos orgânicos, f) vidro e material cerâmico. Os aparelhos eletrônicos modernos podem conter acima de 60 elementos que representam alto risco ao meio ambiente se descartados em aterros sanitários ou se tratados de forma inadequada. Grande parte dos metais tóxicos e metais valiosos estão presentes nas placas dos circuitos eletrônicos. Essa sucata eletrônica se configura como uma fonte substancial desses metais para o futuro se constituindo como uma mineração de superfície ou uma “Mineração Urbana”.

O método convencional para tratamento de resíduos eletrônicos tem sido, até bem pouco tempo, a disposição final destes em aterros sanitários e/ou incineração (KANG; SCHOENUNG, 2005). A necessidade de locais para serem utilizados como destino final tem acarretado uma sobrecarga constante ao meio ambiente (MAGALHÃES, 2010). Sendo assim, inúmeras técnicas utilizadas para o tratamento de sucatas eletrônicas foram desenvolvidas com o intuito de reduzir o grande volume característico das mesmas (HUANG *et al.*, 2009). Além da compactação, muitos trabalhos de pesquisa foram realizados visando à disposição final de sucatas eletrônicas sob uma forma que minimizasse, principalmente, a disponibilização dos metais constituintes por processo de lixiviação química ou por atuação microbiológica (HE *et al.*, 2006)

2. OBJETIVOS

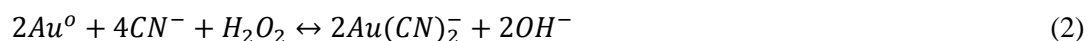
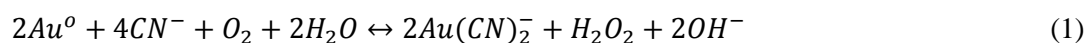
O objetivo deste trabalho foi definir rotas de processamento de sucata eletrônica visando a extração de metais preciosos, por cianetação intensiva, utilizando agentes oxidantes distintos, e metais de base pela utilização de íons férricos gerados biologicamente.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, foram coletadas partes, visivelmente, ricas em metais preciosos, por meios físicos, a partir de placas de circuitos de computadores inservíveis. Em seguida, uma amostra representativa dessas partes foi devidamente digerida para a quantificação dos metais constituintes, os preciosos (*i.e.*, ouro, prata e paládio) e os metais de base mais abundantes (*i.e.*, Cu, em especial, Al, Ni, Zn, Sn, Fe, In, Sb, Bi etc.). Para o processo extrativo dos preciosos, uma amostra do material selecionado foi colocada em uma coluna de acrílico por onde um fluxo ascendente de solução cianídrica aerada, em distintas concentrações de cianeto, proveniente de um reator de vidro, com volume útil de 1 litro, permeava esse leito retornando, continuamente, para esse reator. Nesses testes as concentrações iniciais de cianeto em solução foram de 2,5, 5,0, 7,5 e 10 g.L⁻¹. De posse dos resultados de extração, utilizando ar comprimido como fonte de oxigênio, agente oxidante, outros testes de cianetação intensiva, utilizando as condições que propiciaram a maior eficiência extrativa dos preciosos, utilizando, dessa vez, peróxido de hidrogênio como agente oxidante adicional. Por último, após realização dos referidos testes de cianetação, o material metálico remanescente foi finamente fragmentado, pelo uso de um moinho de anéis. Uma amostra representativa desse material fragmentado foi utilizada, como substrato mineral, nos testes de bio-extração dos metais supramencionados, por um mecanismo indireto, utilizando uma solução sulfúrica contendo íons férricos (agente oxidante), gerados pela oxidação biológica de íons ferrosos presentes na solução lixiviante. O experimento de bio-extração de metais foi conduzido em frascos *Erlenmeyer* com capacidade para 250 mL, contendo 5 g sucata, 90 mL de solução MKM diluída [(NH₄)₂SO₄: 0.08 g.L⁻¹; MgSO₄.7H₂O: 0.08 g.L⁻¹; K₂HPO₄: 0.008 g.L⁻¹] pH 1,5, 5 mL de *Acidithiobacillus ferrooxidans* e 5 mL de *Leptospirillum ferrooxidans*. Os ensaios foram realizados em triplicatas e, o controle foi feito em frascos nos quais não foram adicionados micro-organismos. Os frascos foram submetidos à agitação orbital de 150 rpm e temperatura de 35°C por um período de 300 minutos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As reações, a seguir, traduzem o processo de dissolução dos metais preciosos, ouro em particular, pela ação conjunta de cianeto, agente complexante, e oxigênio, agente oxidante.



Como pode ser visto, das reações acima, ocorre, num primeiro estágio, o início do processo de dissolução desses metais com geração de peróxido como intermediário da reação e, com a continuidade da cianetação, esse peróxido, juntamente com o cianeto livre se encarregam de dar seguimento ao referido processo de dissolução. Essas mesmas reações ocorrem, igualmente, quando da dissolução dos demais preciosos.

A Figura 1 mostra a influência do aumento da concentração de cianeto no processo de dissolução de ouro em testes de cianetação com duração de 2 horas.

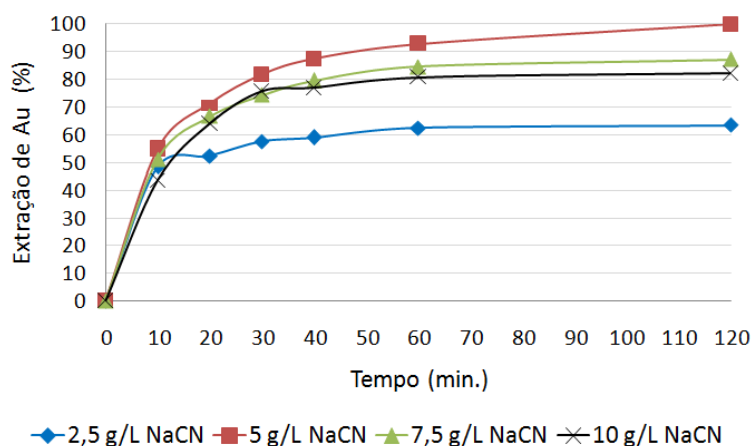


Figura 1: Influência da concentração de cianeto na dissolução de ouro.

Como pode ser observado nessa Figura, ocorre uma intensificação na extração de ouro à medida que se aumenta a concentração inicial de cianeto. Entretanto, com o aumento continuado dessa concentração o processo extrativo diminui, sensivelmente, a sua efetividade visto que ocorre uma diminuição da solubilidade do oxigênio em função do aumento da salinidade do meio. Dessa forma, ficou claro que não é vantajoso ultrapassar a concentração inicial de 5g.L^{-1} em cianeto visto que o benefício alcançado em concentrações mais elevadas, em termos de extração de ouro, não compensa os gastos com esse aumento de concentração.

Em seguida, um teste de cianetação intensiva foi realizado, desta vez fixada a concentração de cianeto inicial em 5g.L^{-1} , com a adição periódica de peróxido de hidrogênio 10M (30 volumes). Durante o teste, foram adicionados 5ml de H_2O_2 a cada 12 minutos, durante a primeira hora de teste. A Figura 2 mostra a influência dessa adição de peróxido na dissolução de ouro.

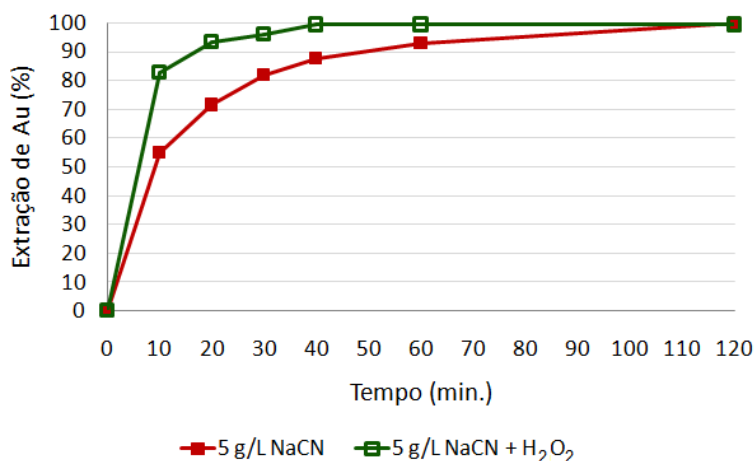


Figura 2: Influência da adição de peróxido na dissolução de ouro.

Como pode ser visto da Figura acima, ao comparar os dados do teste sem a adição de peróxido com os do teste com a adição continuada de peróxido, constata-se que houve um aumento na extração de ouro em função da total miscibilidade do peróxido na fase aquosa. Ressalta-se que com a continuidade da adição desse agente oxidante a reação concorrente de degradação de cianeto passa a ser perceptível, conforme mostra a Equação 3.



Com relação à dissolução dos metais de base, pode ser observado que a ação dos íons férricos se mostra efetiva na dissolução dos metais de base, como mostrado na Figura 3 que destaca a evolução do processo bio-extrativo dos metais mais abundantes na amostra ensaiada, o Cu e Ni.

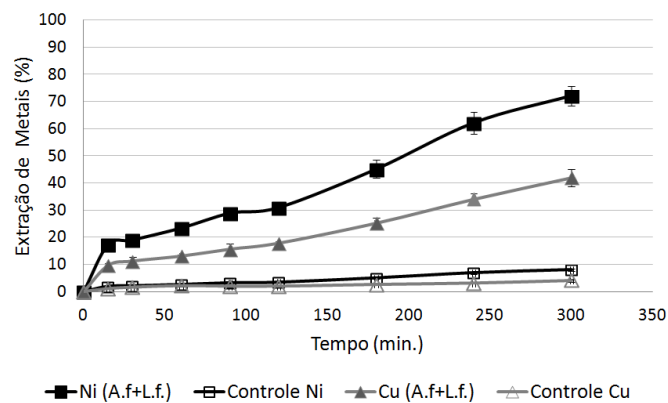


Figura 3: Bio-extração de cobre e níquel.

5. CONCLUSÕES

Como pode ser depreendido dos testes realizados na extração dos metais preciosos, por cianetação intensiva, e dos metais de base por ação de íons férricos gerados biologicamente, podemos concluir que:

- o aumento da concentração de cianeto durante a extração dos metais preciosos se mostrou efetivo até o comprometimento da solubilidade do oxigênio dissolvido, agente oxidante, que ocorreu após a adição de quantidades superiores aos 5g.L^{-1} ;
- a adição de peróxido, agente oxidante de total miscibilidade no meio reacional, se mostrou efetiva, intensificando o processo de dissolução dos preciosos; entretanto, com a continuidade dessa adição, deu-se início ao processo de degradação do cianeto livre, reação concorrente ao processo de cianetação dos metais preciosos;
- a bio-extração dos metais de base pelos íons férricos, gerados a partir da oxidação dos íons ferrosos, por ação dos micro-organismos utilizados, se mostrou bastante espontânea e, certamente, ocorrerá na íntegra com a continuidade desse processo bio-extrativo.

6. AGRADECIMENTOS

A autora agradece a toda equipe do SPMB pelo auxílio, em especial aos meus orientadores Luis Sobral e Débora Monteiro e aos colaboradores do Grupo de Bio-hidrometalurgia, e ao CETEM pela infraestrutura e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HE, W., LI, G., MA, X., WANG, J., XU, M. & HUANG, C. WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China. **Journal of Hazardous Materials**, v. B136, p. 502-512, 2006.

HUANG, K., GUO, J. & XU, Z. Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 399-408, 2009.

KANG, H.-Y. & SHOENUNG, J. M. Electronic waste recycling: A review of U. S. infrastructure and technology options. **Resources Conservation & Recycling**, v. 45, p.368-400, 2005.

MAGALHÃES, L. E. **Estado do Rio tem 98 lixões irregulares**. O GLOBO ONLINE, ,Rio de Janeiro, 18 de abril de 2010. Disponível em: < <http://oglobo.globo.com/rio/> >. Acesso em 18/08/2010.