

# Recuperação de metais a partir de sucatas eletrônicas

Recovery of metals from electronic scraps

T. A. Corsini<sup>1,\*</sup>; C. S. Monnerat<sup>2</sup>; H. M. do Couto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Metalúrgica/Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Química, Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Recursos Naturais, Ciências e Tecnologias Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

\*[thatycorsini@yahoo.com.br](mailto:thatycorsini@yahoo.com.br)

## Resumo

Para a adaptação diária ao mercado e suas exigências, a população demanda grande quantidade de eletrônicos, como celulares, computadores, tablets e demais dispositivos eletrônicos atuais, que por sua vez, apresentam tempo de vida útil curto. Esses aparelhos caso sejam descartados de forma incorreta, podem provocar inúmeros problemas, tanto para a saúde humana, quanto para o meio ambiente. São resíduos que possuem materiais tóxicos e não biodegradáveis que causam contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos. O processo de reciclagem ou recuperação de metais é uma opção de grande importância, pois geram benefícios sociais e econômicos para a sociedade, além de contribuir para o descarte correto desses resíduos. Este trabalho visou o estudo da possibilidade de recuperação de metais através de sucatas eletrônicas, tais como placas de circuito de computadores, usando processos mecânicos e metalúrgicos. Baseado em pesquisas que determinam o estágio atual do lixo eletrônico e focando especificamente em processos de reciclagem e esgotamento de insumos naturais foi feita a coleta de placas de computadores em lojas de informática, e posteriormente foi realizado o desmanche e sequenciada a separação. Em seguida, as placas passaram por processos como a pirometalurgia (incineração), hidrometalurgia (ataque com soluções ácidas) e eletrometalurgia (transferência de íons metálicos usando eletricidade) para recuperar o cobre contido nas mesmas.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Metais, Eletrônicos.

For everyday adapt to the market and its demands, the population demands a great amount of electronics such as mobile phones, computers, tablets and other current electronic devices, which in turn present time short life. These devices if they are disposed of incorrectly can cause numerous problems for both human health and for the environment. Are residues that have toxic materials and non-biodegradable causing contamination of soil, air and water resources. The process of recycling or recovery of metals is an option of great importance because they generate social and economic benefits to society, and contribute to the proper disposal of such waste. This work aimed to study the possibility of recovering metals through electronic scraps, such as computer circuit boards, using mechanical and metallurgical processes. Based on research to determine the current status of e-waste and specifically focusing on recycling processes and depletion of natural inputs has made the collection of computers boards in computer stores, and was later carried out the dismantling and sequenced separation. Then, the plates have undergone processes such as pyrometallurgical (incineration), hydrometallurgy (attack by acid solutions), and electrometallurgy (transfer of metal ions using electricity) to recover the copper contained in them.

**Keywords:** Recycling, Metals, Electronics.

## 1 INTRODUÇÃO

O acesso cada vez mais fácil aos produtos modernos, aliado ao aumento do poder econômico da população, tem incentivado o descarte dos aparelhos obsoletos, gerando grande acúmulo de resíduos eletrônicos. Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos também conhecidos como sucata eletrônica, contemplam computadores, aparelhos telefônicos, eletrodomésticos, televisores, impressoras e também partes desses equipamentos, como baterias, placas de circuito impresso, dentre outros.

Esses equipamentos são constituídos de um grande número de metais, que apresentam elevado valor agregado, e que poderiam ser recuperados. Dessa forma, em função do volume de lixo eletrônico gerado, diversos estudos estão sendo realizados a fim de que se possa reutilizar novamente esta gama de elementos, como matéria-prima.

Há um grande interesse na recuperação dos metais que compõem tais equipamentos, pois dessa forma se economiza tempo e energia, visto que não necessitarão passar pela etapa de extração da forma mineral (*in natura*), trazendo uma alternativa viável de reutilização da matéria-prima que seria desperdiçada. Essa crescente necessidade global de se obter matérias-primas secundárias de alta qualidade é a mola propulsora para a reciclagem.

Atualmente, o lixo eletrônico constitui um grande problema para as empresas, para o governo e para os consumidores, pois ainda não existem políticas públicas que obriguem as empresas a recolher os aparelhos descartados. Apesar de existirem instituições especializadas na reciclagem de sucata eletrônica, onde as mesmas recolhem os produtos e realizam o processo chamado de manufatura reversa, onde desmontam, separaram as partes e extraem diferentes elementos de cada componente dos equipamentos. Por sua vez, os consumidores por não terem essas informações sobre o descarte correto acabam descartando estes materiais em lixões, que posteriormente, vão para os aterros sanitários causando contaminação do meio ambiente.

O descarte destes aparelhos, em locais inapropriados, apresenta grande impacto ambiental, como contaminação da água, do solo, do subsolo, da atmosfera, quando queimados, e também podem causar danos à saúde humana e dos animais. Algumas medidas e estudos foram realizados ao longo dos últimos anos, com a intenção de minimizar a geração de resíduos nocivos, priorizando mudanças nos processos produtivos e a redução de equipamentos eletroeletrônicos usados com as suas possíveis reciclagens.

A reciclagem não é tarefa fácil. Mesmo para a simples reciclagem de plásticos, tem de se gerenciar meios para o recolhimento e para o transporte destes produtos, até os locais de reprocessamento, além de se ter os custos de tal processo. Porém, a reciclagem ainda é a alternativa, de certa forma mais barata e um dos meios da destinação correta de artigos obsoletos e danificados.

Frente ao exposto, este trabalho teve como principal objetivo o estudo da possibilidade de recuperação de metais por meio de sucatas de aparelhos eletrônicos, tais com placas de circuito impresso (PCI) de celulares e computadores, através de processos mecânicos e metalúrgicos. O tratamento adequado de resíduos gerados por produtos eletrônicos, além de vantagem de evitar o descarte de substâncias tóxicas para o ambiente apresenta um adicional econômico de alta relevância, tendo em vista que um grande número dos metais que constituem esse tipo material apresenta elevado valor agregado e são de grande interesse do ponto de vista econômico.

De acordo com Moraes (2010, p. 11), os metais que compõem uma PCI são divididos

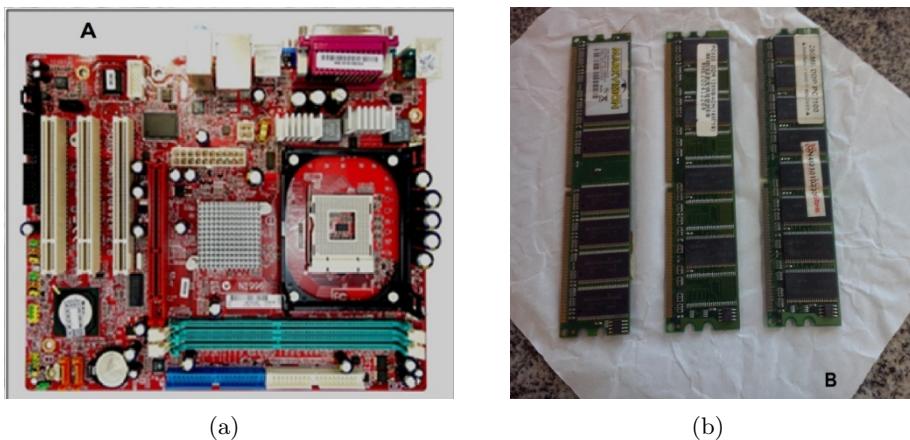


Figura 1 – Placa-mãe e pente de memória, respectivamente. a) Placa-mãe; b) Pente de memória. Fonte: [Corcini e Gonzaga \(2015, p. 33\)](#).

em: “metais preciosos (prata, ouro, paládio, platina), metais de base (cobre, alumínio, níquel, estanho, zinco, ferro) e metais tóxicos (arsênio, antimônio, berílio, cádmio, chumbo, mercúrio)”.

Dessa forma, a questão que envolve esse estudo é encontrar a melhor maneira de transformar os resíduos eletrônicos em matéria-prima para outros itens de consumo, evitando assim, uma destinação incorreta. O estudo dessas placas tem como objetivo caracterizar o resíduo, assim como o tipo de metais existente nelas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do processo de reciclagem e recuperação de metais existentes na sucata consistem no processamento mecânico (cominuição, separação granulométrica e magnética) e em processos metalúrgicos (hidro, eletro e pirometalúrgico).

Para a elaboração da pesquisa experimental, foi usada uma placa mãe MSI (Modelo PM8M-V), pentes de memória, descartados pela assistência técnica por chegar ao fim de sua vida ou por estarem com defeito. A [Figura 1](#) mostra o material que foi usado no experimento, coletados em lojas de informática no município de João Monlevade/MG.

Em um primeiro momento, a placa foi lavada com água e detergente neutro e, em seguida, deixada para secagem ao sol. Os componentes instalados na placa mãe, como unidade de resfriamento, conectores e slots de memória foram retirados com o auxílio de um ferro de solda e alicates.

A placa passou pelo processo de cominuição, ou seja, foi cortada em partes menores com a ajuda de uma tesoura para corte de chapas. O trabalho de corte teve inicio pelas bordas. Houve medição da sua massa de duas partes da placa e posteriormente levadas também ao Forno Mufla até a temperatura de 800°C. A memória também foi cortada ao meio, sendo que uma das metades da mesma foi dividida em quatro partes. Foi realizada a medição de massa de duas partes da memória e posteriormente levadas ao Forno Mufla até atingida a temperatura de 800°C, permanecendo por 10 minutos. “A temperatura de 800°C foi escolhida, devido a fato de que as resinas presentes no material sofre degradação química a 750°C” ([MORAES, 2010, p. 45](#)).

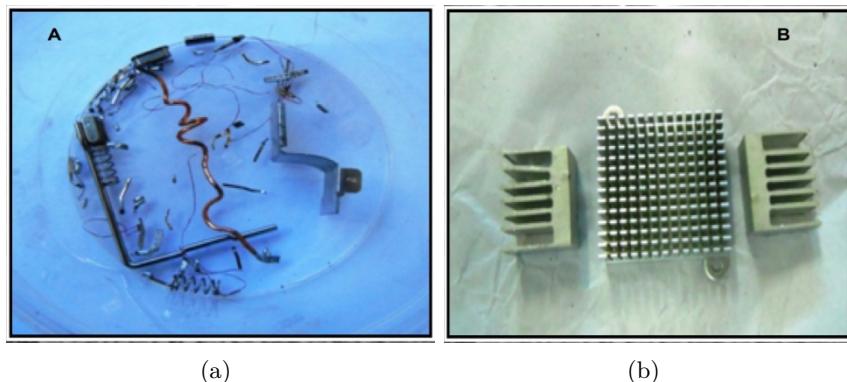


Figura 2 – *Metais retirados da placa-mãe durante o processo de desmanche. a) Metais diversos; b) Alumínio usado na refrigeração do sistema. Fonte: Corcini e Gonzaga (2015, p. 36).*

Após o procedimento de incineração foram retiradas as lâminas de cobre com uma pinça. O material magnético foi separado com o auxílio de um imã. O restante do material foi macerado, ou seja, foi feita uma moagem manual do resíduo através de um almofariz e um pistilo. O processo de peneiramento foi feito através de uma peneira comum (uso doméstico), com abertura de aproximadamente 0,6 mm (medição realizada através de um paquímetro digital), sendo o material passante (menor que 0,6 mm) e o retido (maior que 0,6 mm).

Para o ataque ácido foram usados seis tubos de ensaio, cada tubo com uma amostra de aproximadamente 0,10 g de resíduo passante e 1 mL de ácido concentrado. Utilizou-se o ácido sulfúrico, clorídrico e nítrico. Os tubos foram separados em dois grupos, sendo três tubos para a amostra da memória e três para a placa-mãe.

Para a realização da eletrodeposição foi usado um béquer com capacidade para 50 mL, uma fonte de corrente contínua, uma solução de sulfato de cobre II (10%) dissolvida em água deionizada, lâminas de cobre (ânodo) e um eletrodo de cobre (cátodo). A solução final foi obtida com a adição de 15 mL de solução de sulfato de cobre II (10%) e 15 mL de água deionizada. A solução foi filtrada em um filtro de papel quantitativo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de separação mecânica caracterizado em desmanchar, separar os diferentes materiais, assim como reduzir a placa de circuito em partículas menores permitiu detectar a presença de vários tipos de materiais, tais como, metais (alumínio, cobre, ferro), polímeros (componentes plásticos), cerâmica (fibra de vidro). A figura abaixo mostra os metais retirados após o processo de desmanche da placa de circuito (PCI), é possível visualizar a presença de cobre na Figura 2(a) e de alumínio na Figura 2(b).

Durante o processo de incineração, houve uma redução de 30% do total da amostra da placa de circuito (placa-mãe). E no caso da amostra da memória, houve uma porcentagem de redução de 26% do total analisado. Do total da massa inicial em comparação com a final, houve uma redução da massa em ambas, conforme mostra a Tabela 1 a seguir.

As amostras após serem incineradas a 800°C para retirada de metais passaram por um resfriamento lento até atingir a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). É

Tabela 1 – Comparação das porcentagens de redução de massa. Fonte: Corcini e Gonzaga (2015, p. 37), (adaptado).

	Redução de massas	
	Placa-mãe	Memória
<b>Massa Inicial (g)</b>	11,5804g (100%)	15,9874g (100%)
<b>Massa após a Incineração (g)</b>	8,1063g (70%)	11,8307g (74%)
<b>Massa Perdida (g)</b>	3,4741g (30%)	4,1567g (26%)

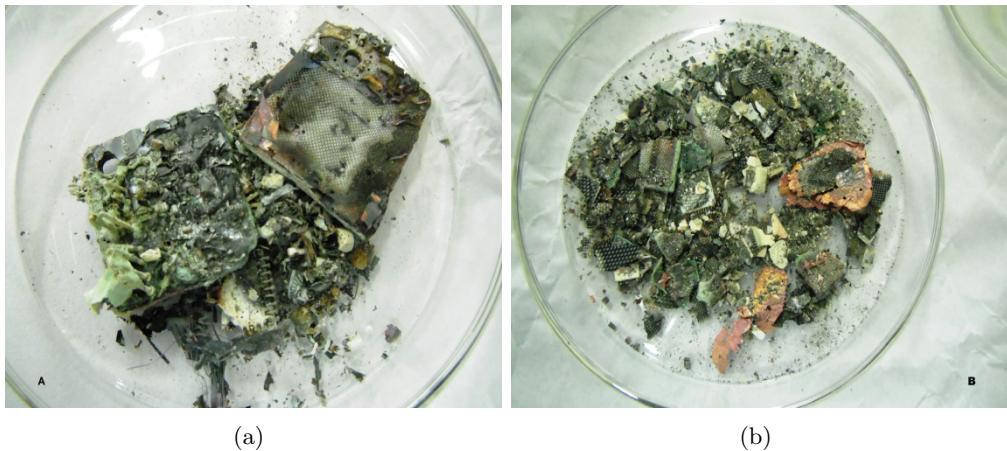


Figura 3 – Partes da placa-mãe e da memória resultante do aquecimento. Fonte: Corcini e Gonzaga (2015, p. 38).

possível visualizar a presença de cobre nas amostras das figuras abaixo (Figura 3).

O cobre foi retirado com o auxílio de uma pinça e o ferro com o uso de um imã. As figuras abaixo mostram o cobre (Figura 4(a)) e o ferro (Figura 4(b)) encontrados nas amostras da placa-mãe e da memória. Após a retirada das laminas de cobre e o ferro, as amostras foram maceradas e peneiradas. O material de granulometria menor (passante) foi usado no ataque com ácidos, para identificar a presença de metais existentes.

Na placa-mãe, de um total de 100%, tem-se 8,3% de ferro e 11,9% de cobre. Já na memória encontrou-se 4,5% de ferro e 5,6% de cobre. Na Tabela 2 abaixo, observa-se que a porcentagem de cobre encontrado em ambas é maior que a de ferro.

Tabela 2 – Total de massa de ferro e cobre encontrado. Fonte: Corcini e Gonzaga (2015, p. 40).

Porcentagens de cobre e ferro		
	Placa-mãe (10,1373g)	Memória (15,987 g)
<b>Ferro</b>	0,8432g (8,3%)	0,7468g (4,5%)
<b>Cobre</b>	1,2052g (11,9%)	0,916 g (5,6%)

Foi executado um ataque com diferentes tipos de ácidos concentrados para avaliar a reatividade na presença de metais (Cu).

O ataque ácido, com ácido sulfúrico, apresentou uma solução que permaneceu

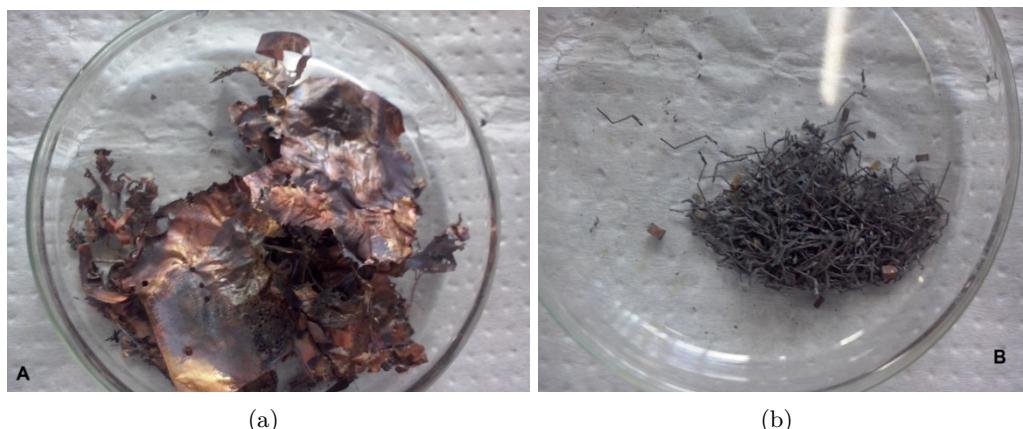
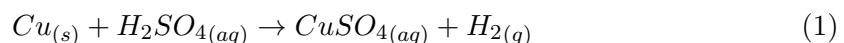


Figura 4 – Cobre e ferro retirados da placa-mãe e da memória. a) Cobre; b) Ferro. Fonte: Corcini e Gonzaga (2015, p. 40).



Figura 5 – Ataque com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado. A) Material da memória; B) Material da placa-mãe. Fonte: Corcini e Gonzaga (2015, p. 43).

incolor, não houve liberação de calor, mas é possível observar a presença de um corpo de fundo na parte inferior do tubo em maior quantidade na placa (Figura 5(a)) que no material da memória (Figura 5(b)). A maioria dos metais reage com o ácido sulfúrico, com formação de hidrogênio gasoso e sulfato do metal em reação. Já para o Cu, a reação só ocorreu com ácido concentrado a quente, segundo a equação 1. O cobre é mais nobre que alguns metais, ele não reagem com  $H_2SO_4$  diluído e nem com o concentrado na temperatura ambiente, portanto não houve liberação de gás.



No ataque com ácido clorídrico (Figura 6), a solução ficou com coloração amarela esverdeada, indicando a presença de cobre em ambos os tubos pela formação do íon complexo  $CuCl_4^{2-}$  resultante da reação. Porém no tubo que contém o material da memória (Figura 6(a)), a coloração verde é mais intensa (presença de maior quantidade de cobre) do que no tubo que contém material da placa (Figura 6(b)). Houve liberação de hidrogênio gasoso em ambos os tubos de ensaio, conforme mostra a equação 2.

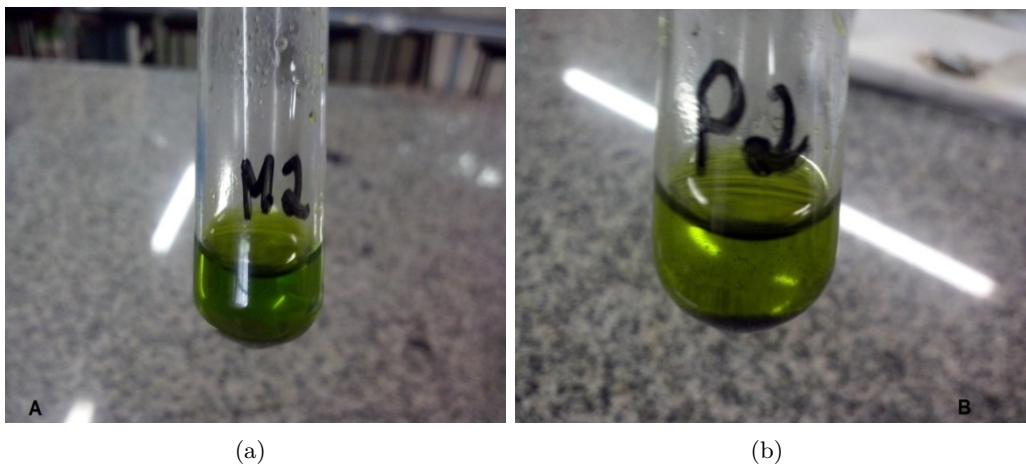


Figura 6 – Ataque com ácido clorídrico ( $HCl$ ) concentrado. a) Material da memória; b) Material da placa-mãe. Fonte [Corcini e Gonzaga \(2015, p. 44\)](#).

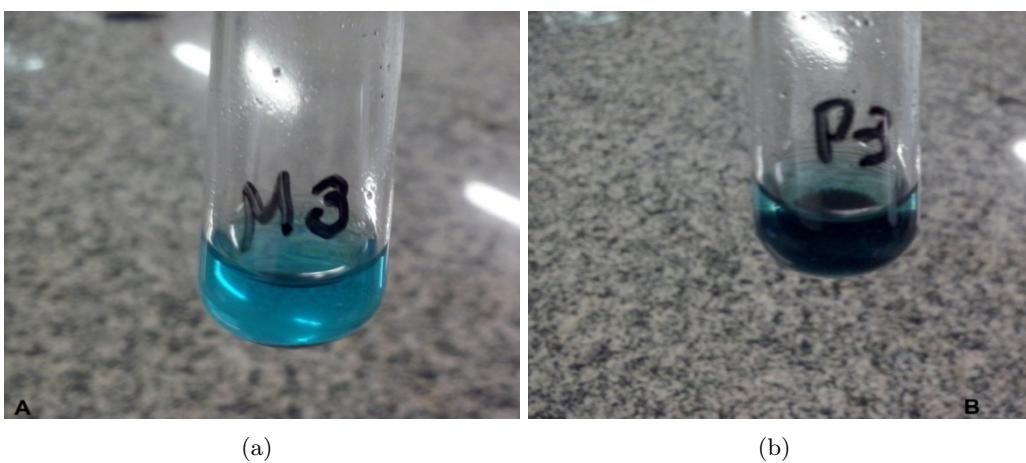
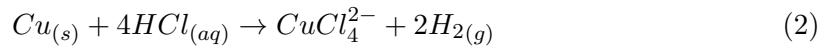


Figura 7 – Ataque com ácido nítrico ( $HNO_3$ ) concentrado. a) Material da memória; b) Material da placa-mãe. Fonte [Corcini e Gonzaga \(2015, p.44\)](#).



Nos tubos onde foi adicionado ácido nítrico (Figura 7), a solução ficou com uma tonalidade azul, indicando que há grande quantidade de cobre na solução. No tubo que contém material da memória (Figura 7(a)), observa-se uma coloração mais azulada e com menor formação de um corpo de fundo escuro. O tubo que continha o material da placa (Figura 7(b)) apresentou uma maior quantidade de corpo de fundo escuro e houve liberação de gás  $NO_2$  em ambos os tubos de ensaio, segundo as equações 3 e 4. A reação entre o cobre e o ácido nítrico é traduzida pelas seguintes equações químicas:



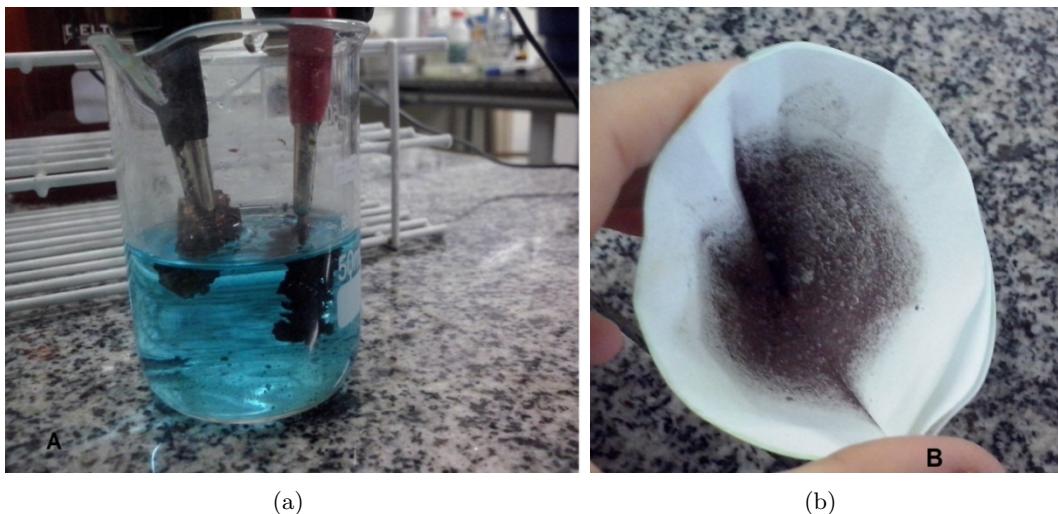
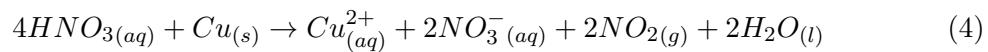


Figura 8 – *Eletrodeposição do cobre.* a) *Eletrodeposição do cobre;* b) *Filtro com o cobre recuperado.* Fonte:[Corcini e Gonzaga \(2015, p. 46\).](#)



As águas de lavagem das pipetas apresentou pH=3, mas para ser descartada foi necessário fazer a neutralização, ou seja, o pH foi neutralizado (pH=7). Para tal, foi usado hidróxido de sódio (NaOH) e sabão líquido, que funcionou como um indicador ácido-base. Ao atingir o pH=7, houve formação de espuma e clareamento da solução, tendo o descarte em seguida.

Na eletrorrecuperação do cobre ([Figura 8\(a\)](#)) foi montando um circuito eletroquímico com as placas retiradas, uma fonte de corrente contínua e uma solução de sulfato de cobre II. O material recuperado foi filtrado e depois passou por uma secagem em estufa a 50°C ([Figura 8\(b\)](#)).

De acordo com a tabela a seguir ([Tabela 3](#)), a massa inicial do eletrodo era de 0,8965g, após passar pela secagem, foi medida novamente a massa, que apresentou um aumento de 3,6%. Já a placa de cobre colocada no ânodo tem uma redução de 82,7%. O filtro de papel ([Figura 8\(b\)](#)) cuja massa inicial era de 1,0985g passou para 1,2646g, com uma massa de 0,1661g de Cu formada, ou seja, apresentou um aumento de 15,1% resultante do cobre depositado.

Tabela 3 – *Eletrodeposição do cobre.* Fonte [Corcini e Gonzaga \(2015, p. 45\).](#)

Eletrodeposição do cobre		
	Massa inicial (g)	Massa final (g)
<b>Eletrodo</b>	0,8965g (100%)	0,9285g (103,6%)
<b>Placa de cobre</b>	0,2515g (100%)	0,0435g (17,3%)
<b>Filtro de papel</b>	1,0985g (100%)	1,2646g (115,1%)

## 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou que há métodos para a retirada de metais das placas de circuito impresso, através de processamentos mecânicos e metalúrgicos, tais como eletrodeposição, processos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos.

Foi encontrada uma quantidade significativa de metais como ferro, cobre e alumínio (processo mecânico). A porcentagem encontrada de ferro, cobre e alumínio é satisfatória. Os resíduos resultantes do processamento de moagem e peneiramento podem servir como ferramentas a serem utilizadas em novos estudos e desenvolvimento de pesquisas.

A natureza, ou seja, o meio ambiente encontra-se em desvantagens nesta corrida tecnológica, que teve inicio na Revolução Industrial. É importante frisar que a preservação ambiental é tão relevante quanto o desenvolvimento tecnológico. Faz-se necessário um maior incentivo para que novas pesquisas sejam realizadas a fim de viabilizar o processo de recuperação das matérias-primas presentes na sucata eletrônica, que são descartadas diariamente nos aterros, causando uma contaminação do solo e dos recursos hídricos.

Teoricamente, o uso de equipamentos eletrônicos facilita a vida das pessoas, economizando materiais como papel, tinta, combustível e tempo gasto para o deslocamento físico. No entanto, as pessoas devem se conscientizar em relação ao consumo desenfreado, repensando seus hábitos, como por exemplo, utilizar ferramentas ambientais como o 5Rs da sustentabilidade. O planeta é um só e futuras gerações dependeram dele para sobreviverem, portanto, faz-se necessário preservá-lo.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Professora Cecília Monnerat e ao Professor Huita Matozo pelas orientações e suporte técnico durante todo o trabalho de pesquisa. À Universidade do Estado de Minas Gerais (Uemg) pelo financiamento para a realização deste trabalho. E também às lojas “Info Tecnologia” e “Oficina do Micro” pelo material cedido para a realização da pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORCINI, T. A.; GONZAGA, E. A. C. **Recuperação de Metais a partir de Sucatas Eletrônicas**. 2015. Trabalho de conclusão de curso, FaEnge/UEMG, João Monlevade, Minas Gerais.

MORAES, V. T. **Recuperação de Metais Através do Processamento Mecânico e Hidrometalúrgico Utilizando Placas de Circuito Impresso de Celulares Obsoletos**. 2010. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-19042011-100037/php>>. Acesso em: 01 jun. 2015.