

**INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE – *CAMPUS* ARAQUARI**

**ELLEN CRISTINA D’AGUIAR, GUSTAVO ANTÔNIO DOMINONI,  
JÉSSICA DE BONA, LUIZ FERNANDO FONSAKKA DE BRAGA,  
MILENA NATÁLIA ALVES GRIGORIO, SHAYANE VIANA DE SOUZA**

**MINERAÇÃO URBANA COMO ALTERNATIVA NA  
OBTENÇÃO DE METAIS A PARTIR DO LIXO ELETRÔNICO**

**ARAQUARI/SC  
2018**

**ELLEN CRISTINA D'AGUIAR, GUSTAVO ANTÔNIO DOMINONI,  
JÉSSICA DE BONA, LUIZ FERNANDO FONSAKKA DE BRAGA,  
MILENA NATÁLIA ALVES GRIGORIO, SHAYANE VIANA DE SOUZA**

**MINERAÇÃO URBANA COMO ALTERNATIVA NA  
OBTENÇÃO DE METAIS A PARTIR DO LIXO ELETRÔNICO**

Trabalho de Defesa do Projeto de Iniciação Científica (PIC-QUIMI) apresentado ao Instituto Federal Catarinense – *Campus* Araquari como parte complementar à matriz curricular do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, sob orientação do Prof. Herbert Rodrigo Neves e coorientação do Dr. Gabriel Kaetan Baio Ferreira.

**ARAQUARI/SC**

**2018**

## RESUMO

Por conta do acelerado desenvolvimento tecnológico atual, os países estão cada vez mais produzindo lixo eletrônico, que é todo resíduo material produzido pelo descarte de equipamentos eletrônicos. Com o elevado uso destes equipamentos no mundo moderno, este tipo de lixo tem se tornado um grande problema ambiental, pois geralmente estes resíduos são descartados de forma inadequada na natureza, prejudicando o meio ambiente e a saúde da própria comunidade. Tendo em vista que os metais pesados contidos neste lixo, quando em contato com o solo, acabam por infiltrar-se, prejudicando a qualidade do sistema de água subterrânea, além de que os mesmos, quando absorvidos pelo organismo humano causam diversos danos, podendo levar ao falecimento do indivíduo dependendo da dose absorvida. Sendo assim, uma forma de prevenir estes danos é realizando a reciclagem correta destes materiais, sendo obtidos tanto benefícios ambientais quanto econômicos. Após a análise dos diferentes métodos, optou-se pela utilização da hidrometalurgia na condução do presente trabalho, pois este método, quando realizado de forma correta, causa danos ambientais mínimos, além de não necessitar da utilização de uma grande quantidade de energia ou de elevadas temperaturas. Sendo assim, em meio a realidade do laboratório de química do Instituto Federal Catarinense - *Campus* Araquari, o método de hidrometalurgia foi considerado o mais viável. A partir disso considera-se importante realizar a reciclagem de eletrônicos obsoletos descartados pelos integrantes do grupo ou coletados dentro do próprio Instituto, como carcaças de computadores, fragmentos de Placas de Circuito Impresso (PCI), celulares, impressoras, entre outros. A partir dos dados podemos observar que a retirada do verniz só obteve resultado com a utilização de uma solução de NaOH e que a digestão com água régia após o pré-tratamento levou a remoção dos metais das PCI. Além disso, foi possível identificar os cátions dos grupos I e II presentes na amostra, empregando-se os métodos clássicos de química analítica qualitativa. Após isso foi realizado o tratamento dos resíduos gerados durante todas as etapas do processo.

**Palavras-chaves:** Lixo Eletrônico, Metais Pesados, Reciclagem, Placas de Circuito Impresso, Mineração Urbana, Hidrometalurgia.

## ABSTRACT

Due to the accelerated nowadays technological development, countries are increasingly more electronic waste which is every material waste produced by the discard of electronic equipments. With the high use of these equipments in the modern world, this kind of waste has become a huge environmental problem, for these residues are usually inappropriately thrown into nature, damaging the environment and the health of the community itself. Once that the heavy metals encountered on this trash end up by infiltrating the soil, the quality of the underground water system is heavily damaged. Also, when absorbed by the human organisms may be very harmful and even lead to death depending on the absorbed dose. This way, one way of preventing these damages is the correct recycling of these materials, achieving both environmental and economical benefits. After analysing different methods, the hydrometallurgy was chosen to conduct the present assignment, for this method, when applied correctly, causes minimal environmental damage as it does not require the usage of great amounts of energy or high temperatures. Thus in the midst of the reality of the chemistry lab at Instituto Federal Catarinense - *Campus Araquari*, the method of hydro-metallurgy was considered the most viable. From this, it is considered important to recycle obsolete electronics discarded by the members of the group or collected inside the institute itself, such as computer parts, fragments of printed circuits boards, cell phones, printers, among others. Based on the achieved data, we can observe that the varnish removal only obtained results using of a NaOH solution and that the digestion with aqua regia after pretreatment led to the removal of the metals from the PCBs. Also, it was possible to identify the cations from groups I and II present on the sample, using of classical methods from qualitative analytical chemistry.

## SUMÁRIO

<b>1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA</b>	<b>6</b>
<b>2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS</b>	<b>7</b>
<b>3 INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>6</b>
4.1 OBTENÇÃO DE METAIS A PARTIR DA MINERAÇÃO URBANA, RECICLAGEM E ECONOMIA	7
4.2 BIOMETALURGIA	7
4.3 ELETROMETALURGIA	8
4.4 HIDROMETALURGIA	8
4.5 PIROMETALURGIA	9
4.6 CARACTERIZAÇÃO DOS METAIS PRESENTES NOS DIFERENTES PRODUTOS DO LIXO ELETRÔNICO	9
4.6 IDENTIFICAÇÃO DE METAIS POR QUÍMICA ANÁLITICA QUALITATIVA	10
<b>5 METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
5.1 COLETA E SEPARAÇÃO	12
5.2 PRÉ-TRATAMENTO	12
5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS METAIS	13
<b>6 RESULTADO E DISCUSSÃO</b>	<b>16</b>
6.1 COLETA E SEPARAÇÃO	16
6.2 PRÉ TRATAMENTO	16
6.3 IDENTIFICAÇÃO DOS METAIS	18
<b>7 CONCLUSÃO</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>25</b>

## **1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA**

**TEMA:** Mineração Urbana como alternativa na obtenção de metais.

**DELIMITAÇÃO DO TEMA:** Mineração Urbana como alternativa na obtenção de metais a partir da reciclagem de produtos eletrônicos obsoletos descartados no Instituto Federal Catarinense - *Campus* Araquari.

## **2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

- Reciclar produtos eletrônicos visando a identificação de metais presentes nesses materiais.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Coletar e separar produtos eletrônicos obsoletos descartados.
- Realizar o pré-tratamento dos materiais.
- Executar práticas específicas para a obtenção de metais a partir dos resíduos eletrônicos, utilizando o método hidrometalúrgico

### 3 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico alterou as raízes da sociedade contemporânea, pois trouxe mudanças significativas no cotidiano da mesma, sendo assim, é considerado uma revolução contemporânea da ascensão digital e da informação. Atualmente, as tecnologias estão se tornando produtos de extrema importância e essenciais para o atual modelo de sociedade, por conta disso a humanidade vivencia hoje o que se denomina a Era digital. Conseqüentemente isso trouxe diversos benefícios para a população, como a facilidade de comunicação entre diversas pessoas independente da distância, um maior acesso à informação e, além disso, uma possibilidade de participar diretamente da mesma (KOHN; MORAES, 2007).

Os inúmeros avanços tecnológicos resultam em uma constante geração de rejeitos eletrônicos e o principal fator que leva a esta constante geração é a obsolescência programada. Esse processo torna os produtos obsoletos e inutilizáveis em um curto período de tempo, sendo causado pelos próprios fabricantes de forma proposital, a fim de forçar os consumidores a comprarem novos produtos ao invés de consertarem os seus (STELZER; FERREIRA; KNOERR, 2015). Os dejetos eletrônicos são considerados resíduos sólidos, ou seja, um material, objeto ou substância gerada a partir de atividades humanas, que embora não apresente utilidade para a atividade fim de onde foram gerados, podem vir a ser reutilizados em outras atividades (BRASIL, 2010). De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a indústria eletrônica gerou aproximadamente 41 milhões de toneladas de lixo eletrônico (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Já em 2016 de acordo com Baldé et al (2017), a quantidade do mesmo era de aproximadamente 6,1 kg/hab.

No entanto, o grande problema se encontra no descarte incorreto desses produtos, uma vez que possuem em sua composição metais pesados que são altamente nocivos ao meio ambiente e à saúde humana, como arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio (GERBASE; OLIVEIRA, 2012). Segundo Matos et al. (1996) e Carvalho (1997) citados por Almeida et al. (2015) estes produtos, quando descartados de forma incorreta no meio ambiente acabam por entrar em contato com o solo e apresentam riscos à qualidade do sistema de água, pois o solo possui uma grande capacidade de reter os metais pesados. Quando esta capacidade é ultrapassada, os metais disponíveis no solo penetram na cadeia alimentar dos organismos vivos ou podem até mesmo ser lixiviados, ou seja, arrastados gradativamente para o interior do solo por conta da ação da chuva, alterando assim, a qualidade do sistema de água subterrânea. No organismo humano, estes metais apresentam diversificados danos, como exemplo disso podemos citar o arsênio (As) e o chumbo (Pb) que são promotores na formação do câncer; assim como o mercúrio (Hg) que causa efeitos diretos no cérebro e o cádmio (Cd), sendo esse o causador de múltiplas fraturas no esqueleto. Desta forma, observa-se que precisa haver uma intensa conscientização quanto ao descarte desses resíduos, pois, quando descartados de maneira errônea, prejudicam o meio ambiente e a saúde da própria comunidade.

Acerca disso, a instituição legislativa brasileira criou a Lei Ordinária 12305/2010 que



institui que os responsáveis pelos resíduos sólidos são os próprios geradores e o poder público, visando assim uma solução para a constante geração de lixo eletrônico e o seu descarte inconsciente (BRASIL, 2010). No entanto, observa-se que essa política ambiental não faz parte do cotidiano de outras nações, pois, segundo uma matéria da *British Broadcasting Corporation* (2013), 80% do lixo eletrônico proveniente das nações consideradas ricas, são exportados de forma ilegal para países em desenvolvimento, sendo depositados em locais que carecem de infraestrutura, tecnologia de reciclagem e de regulamentação legal para absorver essa vasta quantidade de resíduos. Um exemplo disso é a China, segundo maior produtor de lixo eletrônico, produzindo 2,3 milhões de toneladas anualmente, ficando atrás apenas dos EUA, que produz 3 milhões de toneladas anuais. Além do lixo produzido pela China, o país recebe cerca de 70% de todo o lixo eletrônico exportado no mundo (GERBASE; OLIVEIRA, 2012).

A geração de lixo eletrônico está crescendo massivamente com o avanço tecnológico, pois a portabilidade facilitada faz com que as pessoas comprem cada vez mais e conseqüentemente descartem mais. Além de ser acumulativo, é geralmente descartado na natureza de forma inadequada, trazendo riscos ambientais. Por conta disso, a proposta do atual projeto é realizar a identificação dos metais presentes nos lixos eletrônicos, a partir do método de marcha analítica, a fim de informar os consumidores desses produtos, sobre a constituição deles, conscientizando-os sobre a importância do descarte correto desses materiais.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A sessão dissertará sobre os métodos de obtenção de compostos metálicos, a fim de entender qual deles é mais viável, tanto em questões ambientais, como na questão de logística, sendo que na indústria são utilizados normalmente quatro tipos: biometalurgia, eletrometalurgia, hidrometalurgia e pirometalurgia. Nesta sessão será também será explicado o processo de fabricação de uma PCI, assim como uma análise quantitativa, em relação ao teor de cada elemento metálico presente na placa de circuito impresso.

### 4.1 OBTENÇÃO DE METAIS A PARTIR DA MINERAÇÃO URBANA, RECICLAGEM E ECONOMIA

Na fabricação da maior parte dos eletrônicos são utilizadas matérias-primas como ouro, prata, chumbo, paládio, cobre e alumínio, que podem ser reaproveitadas por meio da mineração urbana, que é uma forma de obtenção de matérias-primas tendo como fonte os aparelhos eletrônicos, a fim de transformá-las em novos produtos. A maior parte das matérias-primas são encontradas nas Placas de Circuito Impresso (PCI); a concentração de ouro encontrada em uma placa dessas é superior a encontrada na mesma quantidade de minério de ouro bruto (RUAN, 2016).

A mineração urbana na Europa, Japão e Coreia do Sul está se transformando em um importante gerador de emprego e riqueza, comparável até à mineração tradicional. Segundo o Laboratório Federal para Ciência e Tecnologia de Materiais da Suíça (EMPA), os países do oeste da África juntamente com a China, são os maiores receptores de lixo eletrônico, apesar do transporte deste ser proibido internacionalmente (ARADAS, 2012).

Todos os dias, infinidades de aparelhos eletrônicos são descartados pelo mundo, trazendo em seus componentes uma grande quantidade de materiais perigosos, podendo causar sério impacto no meio ambiente quando descartados incorretamente. Pesquisas recentes mostram que o impacto não é apenas ambiental, mas também econômico, uma vez que a maioria destes materiais podem ser reciclados e retornados ao processo de fabricação, economizando energia elétrica e recursos naturais. Os equipamentos eletrônicos modernos podem conter até 60 tipos diferentes de elementos, alguns valiosos, perigosos ou ambos. Porém, esse lixo é literalmente um tesouro jogado fora, pois de acordo com a UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), o reaproveitamento de uma tonelada de celulares renderia cerca de 3,5 kg de prata; 130 kg de cobre e 340 g de ouro (REVISTA GALILEU, 2016).

O Laboratório de Sustentabilidade (LaSSu) da Universidade de São Paulo (USP) constatou em um projeto de três anos que a reciclagem de 17 mil equipamentos possibilitou recuperar quatro toneladas de alumínio, uma tonelada de chumbo, quase sessenta toneladas de ferro e onze toneladas de PCI. Ao todo, o material recolhido rendeu cerca de 17 mil reais para as cooperativas envolvidas no projeto. Um estudo de 2012 da Universidade das Nações Unidas no Japão estima que a fabricação de equipamentos tecnológicos receba o equivalente a R\$ 64,4 bilhões de ouro e R\$ 20,1 bilhões de prata. De acordo com a pesquisa, apenas 15%

deste material é reaproveitado via reciclagem (ARADAS, 2012).

## 4.2 PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE METAIS

Alguns dos processos de extração dos metais são: biometalurgia, eletrometalurgia e pirometalurgia. A biometalurgia utiliza bactérias e fungos como forma de mineração, porém ainda está em desenvolvimento, se tornando então inviável e mais cara que as demais. A eletrometalurgia realiza o processo de mineração urbana da eletrólise, sendo que quando comparada com os demais métodos de extração apresenta baixo impacto ambiental, no entanto, acaba não sendo viável em nosso Instituto por falta de equipamento. A pirometalurgia realiza a extração por meio do tratamento de minerais minérios em meio térmico, onde as temperaturas são elevadas entre 500°C e 2000°C, porém se torna inviável por conta da geração de dioxinas na queima de polímeros clorados (FRANCO; BARROS, 2016)

## 4.4 HIDROMETALURGIA

Ainda como método de extração, existe a hidrometalurgia que é a parte da metalurgia que abrange os processos de extração de metais, através de reações de dissolução de metal-minério em meio aquoso. As aplicações tradicionais da hidrometalurgia incluem a produção de alumínio, ouro, urânio, zinco, níquel, cobre, titânio, terras-raras, dentre outros (LOPES, 2015). Possui as seguintes etapas: cominuição, classificação, concentração e separação sólido-líquido, após isto ocorre a etapa de lixiviação, que consiste na dissolução seletiva de minerais através do contato do sólido com uma fase aquosa, contendo ácidos e/ou bases - nestes casos é utilizado o ácido sulfúrico agindo como lixivante. A última etapa tem como objetivo a recuperação do metal que pode ser obtido na forma de sal ou hidróxido metálico através do processo de precipitação ou cristalização (SOUZA, 2013).

Por mais que este processo resulte em uma maior economia de energia e um menor impacto ambiental quando comparado à pirólise, o método hidrometalúrgico possui diversas desvantagens, como por exemplo, o processo de separação é considerado lento, podendo levar mais de 24 horas para concluí-lo, apresenta uma probabilidade de perda de metais durante o processo de fragmentação, além dos agentes responsáveis pela lixiviação conterem um alto teor de toxicidade e, se forem descartados de forma inadequada, sem um tratamento prévio, poderão causar diversos danos ao ambiente (FRANCO; BARROS, 2016).

## 4.6 CARACTERIZAÇÃO DOS METAIS PRESENTES NOS DIFERENTES PRODUTOS DO LIXO ELETRÔNICO

O lixo eletrônico é composto por diversos produtos obsoletos, como celulares, notebooks, impressoras, dentre outros. Observa-se que a maior parte das matérias-primas são encontradas nas Placas de Circuito Impresso (PCI), por conta disto, a pesquisa foi realizada acerca da constituição do lixo eletrônico presente neste elemento (RUAN, 2016).

Ad placas de circuitos impressos são constituídas por uma camada de materiais

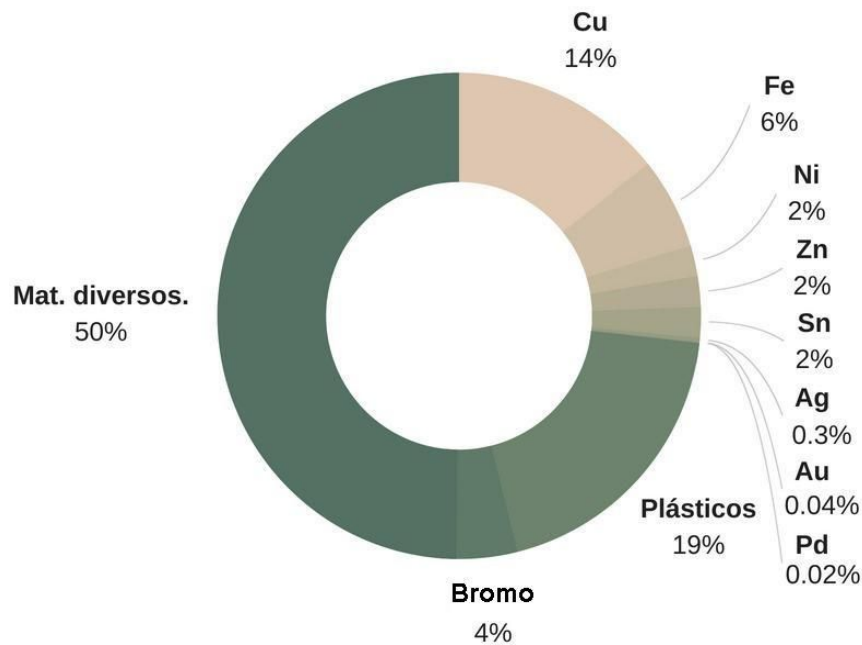
plásticos e fibrosos, como a fibra de vidro, que é utilizada objetivando características isolantes entre os terminais do circuito, além de que o material de sua constituição lhe atribui elevado teor químico de inércia. Além da fibra, os circuitos contam também com finas películas de substâncias metálicas, que são as responsáveis por formar as trilhas que conduzem corrente elétrica pelos componentes eletrônicos (DAQUINO, 2012).

Durante o processo de fabricação desse material, as placas passam por diversos processos, sendo alguns deles: criação do esquema elétrico e do desenho, perfuração, onde são agrupadas em grandes painéis diversas placas fibrosas que são perfuradas, impressão dos projetos e limpeza, banho de cobre e a aplicação de um material filme fotorresistente, ou seja, um material que é sensível a luz, objetivando criar um revestimento que protegerá a camada de cobre das PCIs da ação dos raios UV, evitando possíveis oxidações e curtos-circuitos. Após isso, as placas são submetidas a outras etapas, como o mascaramento, a aplicação de estanho.

Finalizando a estrutura, as placas partem para o processo em que receberão a chamada máscara de solda, um tipo de verniz constituído de polímeros que dão um revestimento capaz de proteger permanentemente os traços de cobre das PCIs, ganhando assim a cor verde característica. Por fim as placas vão para um dispositivo que pode ser comparado com uma impressora, no qual elas terão a serigrafia impressa contendo o nome do produto, versão, indicação das posições, entre outros, terminando assim a fabricação da placa de PCI (DAQUINO, 2012).

A constituição deste elemento, equivale a aproximadamente 75 % de materiais não metálicos, como plásticos, cerâmicas, entre outros. Dentre os compostos metálicos, o que está presente em maior quantidade é o cobre (14 %), seguido do ferro (6 %) e de outros em menor teor, como níquel, zinco e estanho. Prata, ouro e paládio aparecem em quantidades traço na composição da PCI como apresentado na Figura 1 (RUAN, 2016).

Figura 1- Proporção de metais em uma PCI.



(Fonte: adaptado de Ruan, 2016)

#### 4.7 IDENTIFICAÇÃO DE METAIS POR QUÍMICA ANÁLITICA QUALITATIVA

A química analítica é um ramo da química que possui como finalidade a determinação da composição química de uma amostra, sendo assim, ela se divide em análise quantitativa e qualitativa. A análise quantitativa é constituída por técnicas que visam determinar a composição exata de cada elemento presente em uma amostra. Enquanto que a análise qualitativa possui como principal objetivo a identificação dos compostos presentes na amostra de interesse, através de alterações provocadas na mesma (HIGSON, 2009).

Essa análise pode ser dividida em dois tipos de ensaio: via seca e via úmida. As técnicas experimentais de análise qualitativa por meio de reações de via seca podem ser realizadas por meio do teste de chama.

Enquanto que as reações de via úmida acontecem a partir da solubilização fracionada dos elementos, visando a identificação desses por meio de precipitados formados na solução, essa análise é também conhecida como marcha analítica. Sendo assim, como exemplo temos a separação dos cátions metálicos, que são separados em cinco grupos, de acordo com suas propriedades, com isto cada grupo possui um reagente específico como agente precipitador, o que possibilita a separação dos diferentes grupos presentes em uma amostra. No entanto, alguns grupos possuem uma subdivisão, que auxilia na separação dos cátions pertencentes a um mesmo grupo, sendo que no quadro 1 estão representados os cátions que podem fazer parte da constituição de uma PCI (HIGSON, 2009).

Quadro 1 - Íons metálicos, seus respectivos grupos analíticos e reagentes de precipitação

Cátions Metálicos	Grupo Analítico	Reagente Do Grupo
-------------------	-----------------	-------------------

$\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}$	I	HCl
$\text{Cu}^+, \text{Cu}^{2+}, \text{Sn}^{2+}, \text{Sn}^{3+}, \text{Sn}^{4+},$ $\text{Mo}^{6+}$	II	H <sub>2</sub> S
$\text{Ni}^{2+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+},$ $\text{Cr}^{3+}$	III	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S
$\text{Pd}^{2+}, \text{Pd}^{4+}$	Específico: Paládio	HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Água-régia
$\text{Au}^+, \text{Au}^{3+}$	Específico: Ouro	Água-régia
$\text{Pt}^{2+}, \text{Pt}^{4+}$	Específico: Platina	Água-régia

(Fonte: adaptado de Vogel, 1981).

## 5 METODOLOGIA

Após a análise dos diferentes métodos, optou-se pela utilização da hidrometalurgia, pois este método quando realizado corretamente, causa danos ambientais mínimos, além de não necessitar a utilização de uma grande quantidade de energia ou de elevadas temperaturas. Além disso, o livro “química analítica qualitativa” escrito por Vogel (1981), foi utilizado como base durante todo o processo de identificação dos metais. Este projeto foi realizado a partir de quatro etapas distintas, classificadas em: (i) coleta e separação, (ii) pré-tratamento, (iii) identificação dos metais e, por fim, o (iv) tratamento dos resíduos gerados durante o processo.

### 5.1 COLETA E SEPARAÇÃO

Na primeira etapa foi realizada a coleta dos eletrônicos considerados obsoletos, que foram descartados pelos próprios integrantes do grupo e recolhidos no Patrimônio do Instituto Federal *campus* Araquari. Em seguida foi realizada a separação dos materiais em setores, que foram classificados em: carregador, celular, controle remoto, DVD, HD, Impressora, Memória RAM, mouse e processador, sendo que cada peça foi enumerada de acordo com seu setor.

## 5.2 PRÉ-TRATAMENTO

Após a primeira etapa foi realizado o pré-tratamento dos equipamentos, onde os mesmos passaram por uma etapa de desconstituição, seguido do processo de cominuição, que compreende na fragmentação física do minério, ou seja, é a ação de quebrar o material em pedaços de menor tamanho (LOPES, 2014).

A finalização do processo de pré-tratamento foi caracterizada pela remoção do verniz, um material constituído por polímeros que reveste os traços de cobre presentes na placa. A tentativa de remoção do verniz foi realizada em 7 placas distintas de circuito impresso, que foram submetidas à diferentes substâncias químicas, como acetona, hidróxido de sódio (NaOH), solvente e querosene, a fim de encontrar a substância ideal para esta etapa.

O primeiro teste, sistema 1, foi realizado com a acetona ( $C_3H_6O$ ), consistindo em submergir pedaços de PCI previamente cominuídos em um béquer contendo acetona, o sistema foi coberto com papel parafilme e foi deixado em repouso durante 2 dias. Em seguida, o sistema 1 foi filtrado e os pedaços de placas cominuídos foram submersos em querosene, sendo denominado sistema 2. Após a imersão, o sistema 2 foi coberto com papel parafilme e mantido em repouso por 3 dias. Posteriormente, foi utilizada uma nova amostra cominuída, para testar a eficácia da aguarrás, também conhecida como Solvente Raz, sendo uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos (RESICOLOR TINTAS E VERNIZES LTDA, 2018). A amostra foi submersa nessa substância e mantida em repouso por 14 dias, o sistema coberto com parafilme e denominado sistema 3.

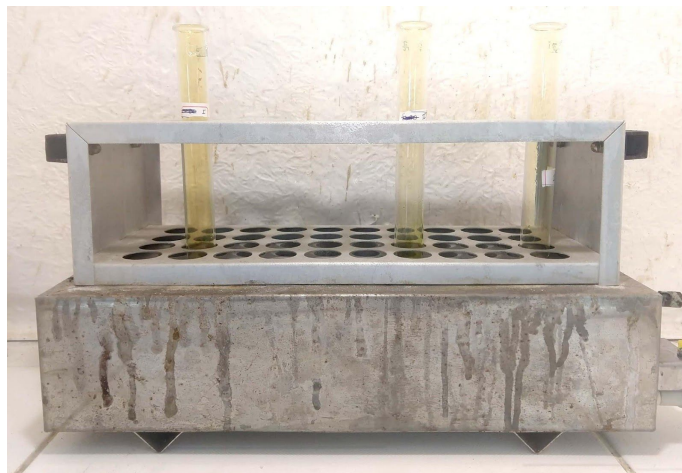
Por fim, o quarto teste foi realizado utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) em uma proporção de 30 g de NaOH para 1 L de água, resultando em uma concentração igual a  $0,77 \text{ mol L}^{-1}$ . Sendo assim, foram preparados os sistemas 4 e 5, com uma nova amostra cominuída em cada um, as quais foram submergidas na solução de NaOH, os sistemas foram cobertos e deixados em repouso por 3 dias. Após esse período, as misturas passaram por um processo de filtração, que resultou como filtrado a solução de NaOH e como resíduo as peças. Este resíduo foi deixado em repouso para secar e em seguida a superfície da amostra foi raspada. Os filtrados foram reutilizados em outras duas amostras, sistema 6 e 7, que ficaram em contato com a solução básica por 3 dias, sendo observadas e raspadas diariamente. Após esse período, toda a amostra passou por um processo de filtração, gerando como filtrado a solução de NaOH reutilizada e como resíduo as peças. Em seguida, a solução proveniente do sistema 6 foi novamente reutilizada, gerando assim o sistema 8, que passou por um processo de filtração, cuja as peças provenientes do resíduo foram raspadas.

## 5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS METAIS

A identificação dos metais, teve seu início na digestão das PCIs previamente cominuídas, que foram inicialmente separadas em tubos de ensaio, equilibrando a

quantidade mássica de amostra em cada tubo. Posteriormente adicionou-se aos tubos de ensaio soluções de água-régia, sendo esta constituída por três volumes de ácido clorídrico (HCl) para cada volume de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), sendo ambos concentrados. Desta forma, após a adição da solução de água-régia, os tubos de ensaio foram colocados no bloco digestor (Figura 2), sendo que a temperatura utilizada para realizar a digestão das amostras foi de 70 °C, sendo mantida por 1 dia.

Figura 2: Amostras no digestor

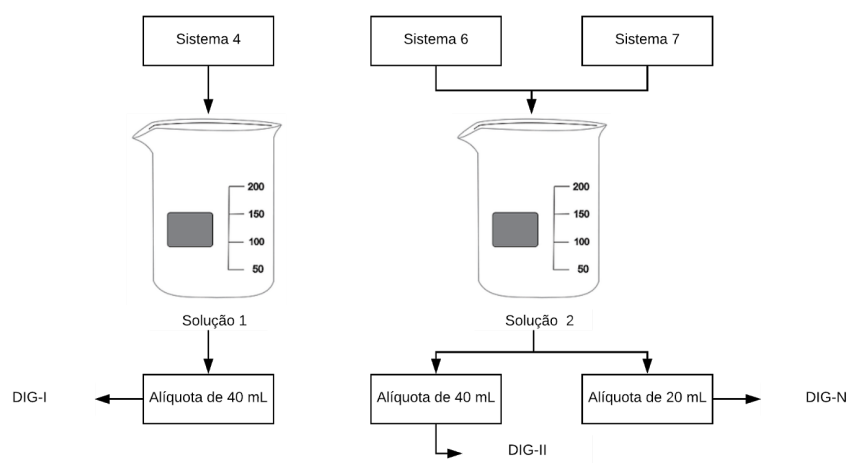


Fonte: Acervo pessoal (2018).

Com o intuito de homogeneizar a massa das amostras de PCIs, o sistema 6 foi adicionado ao sistema 7, resultando assim em duas soluções, uma contendo o sistema 4 com 18,99 g de amostra inicial, sendo chamada de solução 1 e outra com a junção dos sistemas citados anteriormente contendo 18,97 g, denominada solução 2. Em seguida, foram recolhidas alíquotas de cada uma das duas soluções de amostras já digeridas, a fim de realizar a marcha analítica nestas frações de amostra, sendo assim, foi retirada uma alíquota de 40 mL da amostra 1 classificando-a como DIG-I (digestão I), enquanto foram retiradas duas alíquotas da solução 2, uma de 20 mL e outra de 40 mL, sendo que estas foram classificadas em DIG-N e DIG-II respectivamente. Posteriormente, a alíquota de 20 mL da amostra 2 foi neutralizada com NaOH 1 mol.L<sup>-1</sup>, enquanto que as outras duas alíquotas permaneceram com o pH inicial (figura 3)

Figura 3:





Fonte: Acervo pessoal (2018).

Posto isto, deu-se início a separação dos grupos analíticos, tendo em vista que o grupo I precipita com a presença ácido clorídrico (HCl), a obtenção dos metais deste grupo foi realizada enquanto as placas passavam pelo ataque ácido através da solução de água-régia, pois esta possui em sua constituição o HCl. Para a identificação destes metais, o precipitado foi lavado com solução de HCl de concentração igual a  $2 \text{ mol.L}^{-1}$  e, posteriormente a solução foi filtrada, após isto o resíduo foi lavado com água quente e, adicionada uma solução de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) com concentração de  $0,8 \text{ mol.L}^{-1}$ . Posteriormente, foi adicionada uma solução de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) com concentração de  $3 \text{ mol.L}^{-1}$  e, em seguida uma solução de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) com concentração igual a  $3 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Após isto foi realizada a separação dos cátions do grupo II dos demais metais presentes na solução, a partir da adição de sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). No entanto, o sulfeto de hidrogênio encontra-se na forma gasosa, por isto é necessário produzi-lo apenas quando este vier a ser utilizado, sendo que sua produção é realizada a partir da reação de sulfeto de ferro(II) ( $\text{FeS}$ ) com HCl representada na reação 1, resultando na liberação de sulfeto de hidrogênio em forma gasosa, sendo esta a substância borbulhada nas alíquotas. Para realizar este procedimento foi utilizado um aparato experimental contendo: um funil de decantação com uma solução de HCl  $6 \text{ mol.L}^{-1}$ , um kitassato com FeS, uma mangueira acoplada, um suporte de argola, uma rolha com furo, uma pipeta de Pasteur de vidro e um béquer contendo a amostra (Figura 3).

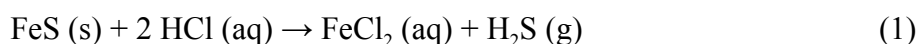
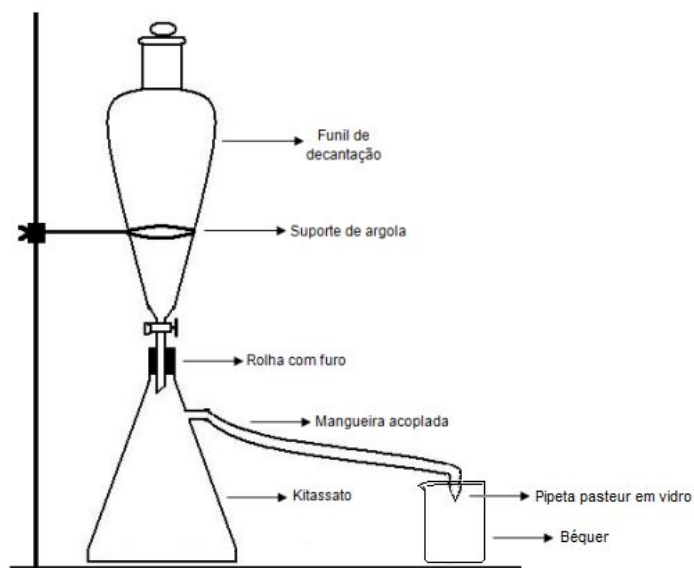


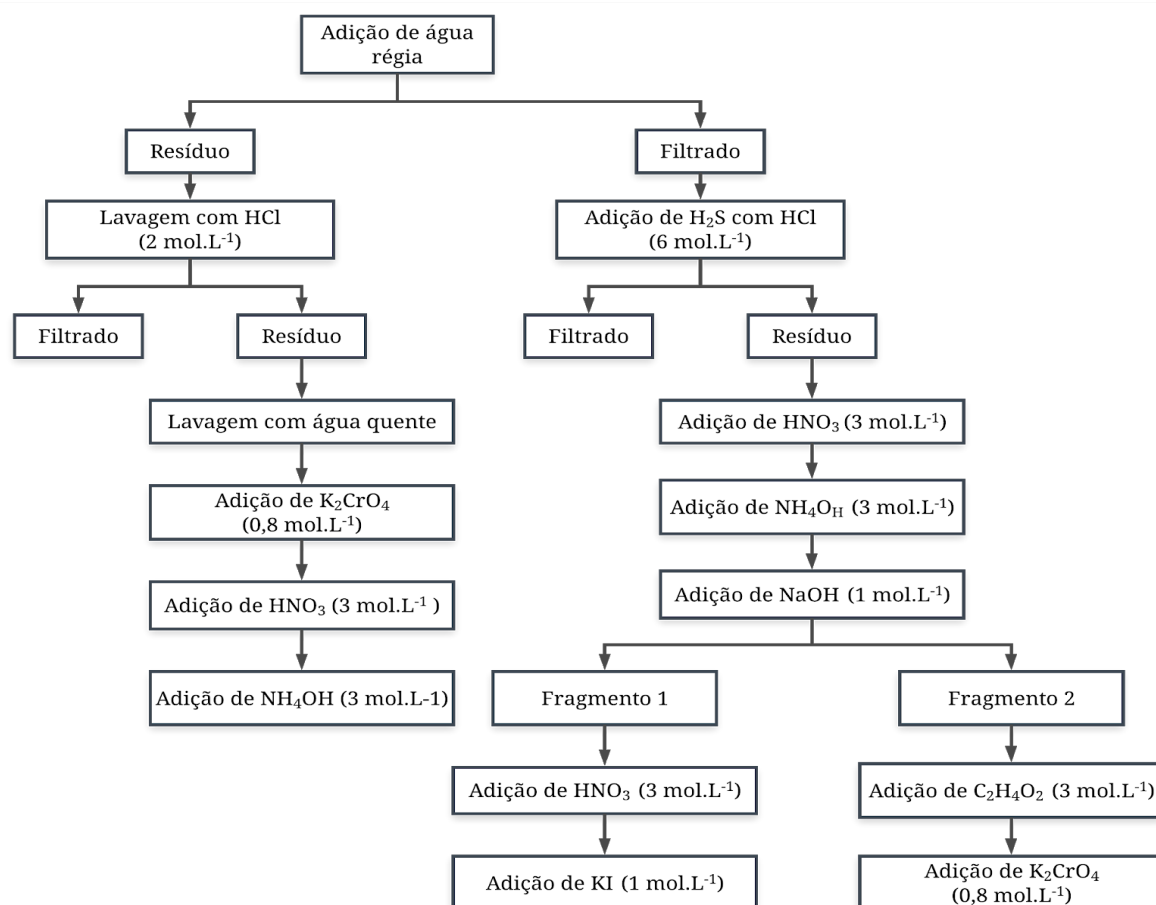
Figura 4: Aparato experimental



Fonte: adaptado de COELHO; BARBALHO; ESCREMIN, 2018.

Para caracterizar os metais do grupo II, o resíduo foi solubilizado em uma solução de  $\text{HNO}_3$  de concentração igual a  $3 \text{ mol.L}^{-1}$ , sendo fervido por alguns minutos. Após isso, a amostra passou por um processo de filtração, posteriormente, adicionou-se uma solução em excesso de  $\text{NH}_4\text{OH}$  com concentração  $3 \text{ mol L}^{-1}$ . Desta forma, adicionou-se ao resíduo 5 mL de uma solução de  $\text{NaOH}$  a  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Após isto a amostra foi fragmentada em duas, sendo adicionados 2 mL de uma solução de  $\text{HNO}_3$  de concentração igual a  $3 \text{ mol L}^{-1}$  em um dos fragmentos, seguido da adição de algumas gotas de iodeto de potássio, enquanto que no segundo fragmento foi adicionada uma solução de ácido acético  $3 \text{ mol.L}^{-1}$  até alcançar o pH 5. Em seguida, foram adicionadas algumas gotas de uma solução de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  ( $0,8 \text{ mol.L}^{-1}$ ). A descrição do processo de identificação dos metais na amostra, estão exemplificadas no diagrama (Figura 5) a seguir, para melhor visualização da metodologia utilizada.

Figura 5:



Fonte: Adaptado de Vogel, 1981)

## 5.4 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

As carcaças de fibra de vidro e de plástico provenientes da desconstituição, cominuição e da digestão dos materiais, foram descartados em lixeiras, sem precisar realizar um tratamento neles. Enquanto que o restante dos materiais não aproveitados foram destinados a lixeiras especializadas em produtos eletrônicos obsoletos, além disso as soluções básicas e ácidas geradas durante o processo foram neutralizadas e encaminhadas para a empresa responsável pela destinação final deste tipo de resíduo. Realizamos também a neutralização das amostras.

## 6 RESULTADO E DISCUSSÃO

A presente sessão dissertará sobre a análise dos dados coletados durante a segunda etapa do trabalho, cuja esta se subdivide em: (i) coleta e separação, (ii) pré-tratamento, (iii) identificação dos metais e (iv) tratamento dos resíduos gerados durante o processo.

## 6.1 COLETA E SEPARAÇÃO

Os materiais obtidos na etapa de coleta totalizaram 53 equipamentos eletrônicos, sendo que posteriormente estes materiais foram separados em grupos de acordo com o seu setor (Tabela 1). Cada peça foi enumerada de acordo com seu setor, a fim de facilitar o reconhecimento destas em cada processo realizado, caso determinada peça fosse escolhida para passar pelo processo de extração química.

Tabela 1: Representação quantitativa de cada setor de materiais eletrônicos

<b>Setor</b>	<b>Quantidade (unidade)</b>
Carregador	10
Celular	10
Controle remoto	3
DVD	3
HD	4
Impressora	5
Memória RAM	7
Mouse	7
Processador	4

Fonte: Acervo pessoal (2018).

## 6.2 PRÉ TRATAMENTO

A etapa de desconstituição precisou ser realizada manualmente, isto ocorreu por conta da ausência de uma máquina própria no campus para a realização desta etapa, sendo assim, foram utilizados equipamentos como martelos, alicates e estiletes, a fim de retirar grande parte dos materiais que não eram os metais de interesse, como plásticos, capacitores, resistores, dentre outros. No entanto, é importante ressaltar que esta etapa não foi realizada em todos os eletrônicos obtidos, por conta da elevada rigidez de alguns destes e a dificuldade de retirá-los manualmente. Em seguida, realizou-se a etapa de cominuição que consistiu no corte das PCIs por meio de um alicate de corte, resultando em amostras com dimensões laterais que não excedessem a 2 x 2 cm, aumentando assim a exposição dos metais para com o ambiente e consequentemente facilitando a posterior extração dos mesmos, sendo que estes foram realizados em algumas amostras de celulares e impressoras, com dimensões adequadas ao tubo de ensaio.

Com relação à retirada do verniz no sistema 1, a solução foi coberta para evitar a volatilidade da substância e a contaminação para com o ambiente, após 2 dias de repouso da amostra imersa em acetona, observou-se que ela dissolveu minimamente a substância (Tabela 2), isto demonstra que as moléculas de acetona não interagem fortemente com os polímeros que constituem o verniz. Com isto, foi possível determinar que o uso de acetona para a retirada do verniz foi ineficaz.

Tabela 2: Dados obtidos após tentativas de remoção do verniz da PCI em diferentes solventes.

Sistema	Solvente	Observações
1	Acetona	Não foi eficiente
2	Querosene	Não foi eficiente
3	Aguarrás	Não foi eficiente
4	Solução de NaOH	Remoção após 3 dias
5	Solução de NaOH (primeiro reuso)	Remoção após 3 dias
6	Solução de NaOH (segundo reuso)	Não foi eficiente

Na tentativa de retirada do verniz utilizando querosene no sistema 2 (Tabela 2), a solução foi coberta por conta de sua volatilidade e para evitar contaminação para com o ambiente, verificou-se que após 3 dias de repouso da amostra em contato com a substância, ela dissolveu minimamente o verniz, o que demonstra que as moléculas constituintes dos querosene não interagem fortemente com os polímeros que constituem o verniz. Sendo assim, o querosene apresentou mínima eficácia na remoção do verniz.

Na terceira tentativa, a utilização do Solvente Raz demonstrou que após 3 dias de repouso não houve alterações no sistema 3, no entanto, o sistema foi deixado em repouso durante mais 11 dias, sendo que após este período, a substância continuou sem apresentar

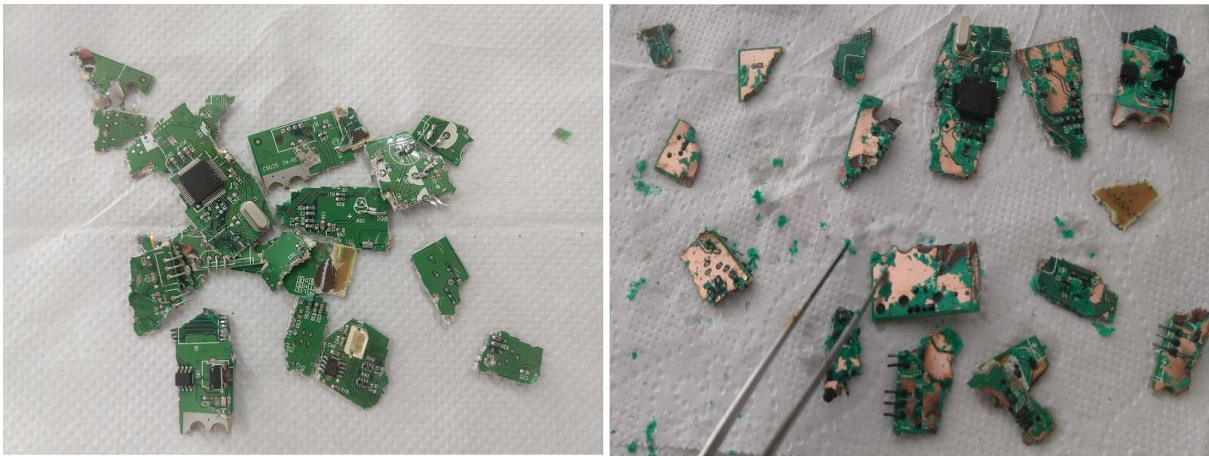
alterações no verniz. Desta forma, nota-se que os componentes presentes no Solvente Raz não interagem fortemente com os polímeros do verniz, apresentando baixa eficácia na remoção deste.

Nos sistemas 4 e 5, onde as amostras foram colocadas em contato com a substância de NaOH, já que a mesma é o principal constituinte dos removedores de verniz, instantaneamente houve a geração de bolhas em pontos específicos da placa que possuíam algum material residual de onde estavam, anteriormente, fixados capacitores. No entanto, concluiu-se que a substância não apresentava efeito algum no verniz das placas, por isto a amostra foi deixada em repouso. Após o período de 3 dias, as amostras foram novamente conferidas e observou-se que toda a camada verde das placas, contendo o verniz, estava desbotada, resultando na substância uma coloração verde pastel, o que confirmava a reação química do verniz com o hidróxido de sódio. Quando as peças passaram pelo processo de raspagem em sua superfície observou-se que o verniz podia ser facilmente retirado, se soltando em pedaços, sobrando apenas a coloração marrom proveniente da fibra de vidro e o metálico do cobre presente na placa.

Os sistemas imersos nas soluções de NaOH reutilizadas, foram observados nas primeiras horas de reação e notou-se a presença de espuma nas paredes do béquer 6 nos primeiros 20 minutos, uma possibilidade para a formação desta espuma é uma possível contaminação do sistema por meio de impurezas provenientes tanto do próprio material, quanto da própria solução reutilizada. A fim de determinar se a remoção do NaOH acontecia em menos de 3 dias, visto que esse foi o parâmetro de tempo utilizado nos sistemas 4 e 5, as amostras foram analisadas diariamente. No primeiro dia de reação, foi observado que a remoção do verniz só ocorria após ser raspado manualmente, exigindo esforço para que o processo ocorra. Assim, a remoção por meio de NaOH é ineficaz quando deixado em reação por apenas 1 dia. No segundo dia de reação, observou-se que a retirada do verniz era feita exigindo menor esforço durante a raspagem manual, contudo, o processo ainda demandava tempo razoável para a retira completa do verniz. No entanto, esta ineficiência pode não estar associada a reutilização da substância, pois não foram realizados testes diários com o uso da solução pura. Após 3 dias, as amostras ainda apresentavam dificuldades para a remoção do verniz nas amostras do sistema 4, sendo assim, a solução reutilizada não obteve o mesmo efeito que quando utilizada pela primeira vez, mas ainda assim possibilitava a remoção do verniz.

A solução utilizada no sistema 4 foi novamente reutilizada e observou-se que a eficiência da reutilização da solução de NaOH pela segunda vez era nula, pois após 3 dias em repouso, a remoção do verniz da amostra exigia grande esforço durante a raspagem manual. A aparência das placas após serem imersas na solução de NaOH que apresentou eficiência está representada na Figura 4.

Figura 4: Comparação do aspecto visual das placas antes e após a aplicação da solução de NaOH.



Antes

Depois

Fonte: Acervo pessoal (2018).

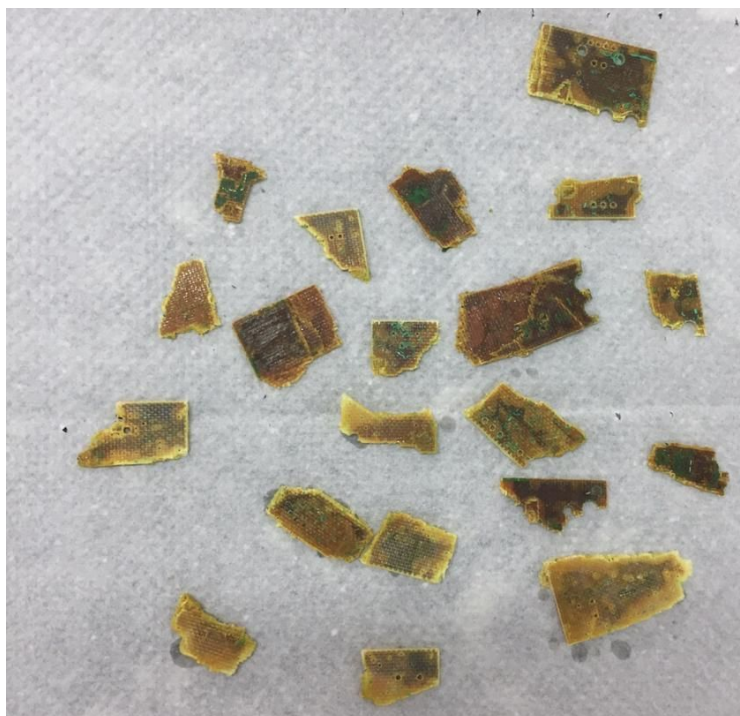
### 6.3 IDENTIFICAÇÃO DOS METAIS

A identificação dos cátions metálicos presentes nos materiais foi realizada utilizando técnicas experimentais de análise qualitativa por meio de reações de via úmida, ou seja, os compostos metálicos foram identificados a partir de reações de dissolução das placas em meio aquoso, ácido ou básico (VOGEL, 1981).

Após a remoção do verniz, adotou-se o método de retirar os metais da fibra de vidro ao invés de retirar a fibra de vidro dos metais, pois devido ao seu elevado teor químico de inércia, apenas alguns compostos químicos são capazes de corroer o vidro, sendo um deles o ácido fluorídrico, uma substância que possui a maior eficácia em relação à corrosão deste material, pois reage com a sílica formando o ácido hidrófluorossilícico, no entanto, utilizar este ácido resultaria na geração de resíduos com alto teor de toxicidade, além de possivelmente comprometer a extração dos metais de interesse.

As amostras foram colocadas em um digestor, pois este equipamento possui como princípio o uso de temperaturas elevadas, o que resulta na aceleração ou no impulsionamento das reações químicas (MAX LABOR, 2016). Durante a digestão observou-se a formação de espuma de coloração verde nos tubos de ensaio, que cessou após alguns minutos, formando um gás de coloração alaranjada na parede dos tubos, demonstrando assim a reação da água régia com os materiais presentes na amostra. No dia seguinte, observou-se que a solução dos tubos de ensaio estava integralmente verde, sendo o sistema filtrado e, posteriormente realizada a lavagem quantitativa dos tubos de ensaio, a fim de aproveitar a maior quantidade possível de amostra, resultando após este processo como resíduo a fibra de vidro (Figura 5) e como filtrado todos os cátions metálicos solubilizados

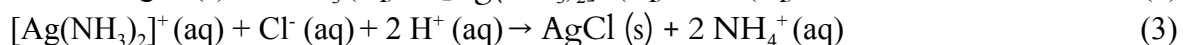
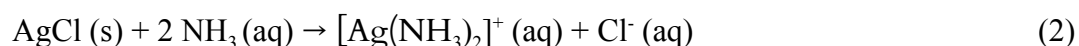
Figura 5: Fibras de vidro resultante da digestão



Fonte: Acervo pessoal (2018).

Após este processo, foi observada a presença de um precipitado branco na solução 2, isto se deve ao fato de que os cátions do grupo I, na presença de ácido clorídrico formam cloretos insolúveis, gerando um precipitado branco com possível composição:  $\text{AgCl}$  e  $\text{PbCl}_2$ . Sendo assim, após a filtração o resíduo foi coletado a fim de identificar os possíveis metais presentes no precipitado, após isto foi adicionado ao resíduo uma solução de  $\text{HCl}$   $2 \text{ mol.L}^{-1}$ , com o objetivo de solubilizar os demais cátions metálicos, exceto  $\text{Ag}^+$  e  $\text{Pb}^{2+}$ . Isso resultou em um precipitado que foi filtrado e analisado para uma possível presença da prata, sendo realizada uma lavagem no resíduo utilizando água quente. Esse processo foi o início da identificação qualitativa da presença do chumbo, pois dos dois cloretos presentes no filtro somente o cloreto de chumbo é solúvel em água em ebulição. Para a confirmação da presença do cátion  $\text{Pb}^{2+}$  foi adicionada à solução da lavagem uma solução de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ; a formação de um precipitado indicaria a presença de chumbo. Porém, como não ocorreu formação de sólido após a adição de cromato de potássio à reação, concluiu-se que o chumbo estava ausente das amostras analisadas.

Para a identificação da prata, foi adicionada uma solução aquosa de amônia ao restante do precipitado, a fim de solubilizar o cloreto de prata, após isto a solução foi fervida. Posteriormente a solução foi acidificada com  $\text{HNO}_3$  diluído, decompondo o complexo previamente formado e ocorrendo precipitação de um sólido branco, provavelmente contendo o sal insolúvel de  $\text{AgCl}$  (REAÇÕES 2 e 3), indicando assim a presença de prata.

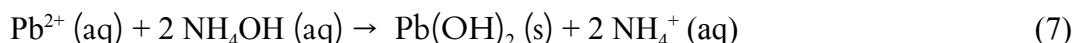
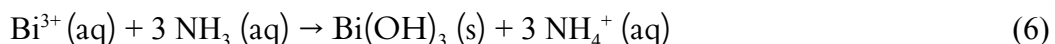
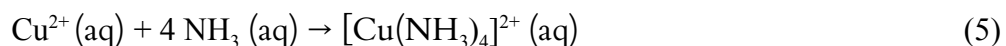
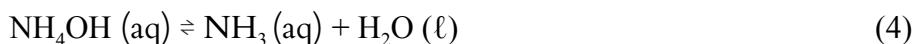




No entanto, não houve formação de precipitado na solução 1, isto pode ter ocorrido por conta da diferença de materiais nas amostras utilizadas, tendo em vista que foram utilizadas PCIs de celulares e impressoras, que podem apresentar constituições diferentes.

A alíquota proveniente da amostra 1 apresentou pH igual a 0,93 enquanto que as da amostra 2 possuíam pH igual a 0,34, sendo que uma delas teve seu pH elevado à 7,3. Após o procedimento em que o sulfeto de hidrogênio foi borbulhado em cada uma das amostras, observou-se a formação de um precipitado preto, confirmando assim, a presença dos cátions metálicos do grupo II, a filtração realizada em seguida resultou como resíduo o grupo II e como filtrado os demais metais.

Após a adição de HNO<sub>3</sub>, notou-se que o precipitado preto começou a se dissolver na solução, mas ainda assim restou parte do precipitado que adotou coloração esverdeada, desta forma, constatou-se a ausência de mercúrio (Hg) no meio, pois este metal forma um precipitado preto que é insolúvel em HNO<sub>3</sub>. A adição de NH<sub>4</sub>OH em excesso, resultou em uma solução azul intensa, comprovando assim a presença de Cu, pois em meio amoniacal o cobre forma o complexo tetraminocobre(II) que agrega a solução tal coloração. Além disto, a adição de NH<sub>4</sub>OH favorece à precipitação de bismuto e chumbo e após a adição desta substância observou-se um precipitado, que foi filtrado formando dois novos grupos, um contendo Cu(II), sendo este presente no filtrado e o outro com Bi(III) e Pb(II), encontrados no resíduo (reações 6 a 9).



Com relação ao resíduo, após ser acrescentada a solução de NaOH sob constante aquecimento, o precipitado foi totalmente solubilizado. Depois da separação desta amostra, o primeiro fragmento foi inicialmente acidificado, a fim de identificar a presença de Pb, alterando seu pH inicial de 14 para alcançar no final do processo um pH próximo de 5. Após a adição de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> à solução contendo o cátion de interesse, foi observada a formação de um precipitado de coloração alaranjada indicando a presença de chumbo no meio (reação 10).



Após a adição de HNO<sub>3</sub>, a fim de ionizar o bismuto na solução, adicionou-se posteriormente algumas gotas de iodeto de potássio (KI), resultando assim, em uma solução de cor marrom, indicando que o bismuto não estava presente, pois quando adicionado iodeto de potássio em uma amostra contendo bismuto, esta adquire uma coloração preta.

O procedimento de identificação do Pb e do Bi foi realizado nas 3 amostras distintas, porém somente a DIG-N apresentou resultados promissores, já que nas outras amostras o

precipitado formado quando adicionado  $\text{NH}_4\text{OH}$ , foi uma substância gelatinosa não identificada.

Os metais nobres como ouro (Au) e paládio (Pd) não puderam ser obtidos a partir dos processos hidrometalúrgicos por conta da fração destes metais encontrados nas amostras, que correspondem a aproximadamente 0,2%. Dessa forma, esses metais poderiam ser identificados apenas por processos de eletrodeposição, que consiste em passar uma corrente elétrica por entre a amostra, precipitando assim os metais, sendo que cada metal possui uma faixa específica de corrente elétrica para precipitar. Sendo assim, esse processo não pôde ser realizado por conta do tempo escasso e de materiais limitados.

Não foram realizados testes para a obtenção do grupo III, nem para a identificação dos demais metais do grupo II, pois para ocorrer o processo de precipitação desses metais, seria necessário fazer o uso de ácido sulfídrico novamente, gerando mais resíduos de difícil tratamento. De acordo com Martin (2008), apesar de existirem tecnologias que viabilizam a remoção de sulfeto de hidrogênio, ainda é difícil encontrar uma forma barata para realizar tal processo. Sendo assim, os danos ambientais que seriam causados pelos resíduos produzidos durante toda a prática, não compensariam a realização da identificação dos metais restantes.

#### 6.4 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

Com relação aos resíduos gerados durante todos os processos do projeto, primeiramente foi descartado, a carcaça plástica resultante da desconstituição e da cominuição, assim como a fibra de vidro proveniente da digestão das PCIs, estes materiais foram descartados sem precisar de tratamentos específicos, já que os mesmos não apresentavam componentes nocivos em sua constituição. O restante dos materiais não utilizados, foram descartados em lixeiras específicas para materiais eletrônicos obsoletos, localizados no próprio Instituto, sendo que estes terão um encaminhamento correto, sendo realizados pela empresa “Reset Descarte Tecnológico”. Os resíduos ácidos e básicos gerados, foram neutralizados e destinados para empresas específicas responsáveis por este tipo de resíduo.

## 7 CONCLUSÃO

A cominuição das PCI é uma etapa limitante do processo de recuperação dos metais, porque o ataque direto das soluções, tanto para remoção do verniz, quanto para a digestão das amostras, é dificultado nas condições de laboratório. Assim, as etapas de pré-tratamento e de digestão das amostras apenas foram realizadas nas PCI que foram cominuidas até possuírem dimensão laterais inferiores a 2 cm. Para a retirada do verniz observou-se que apenas o NaOH possui a eficácia necessária para a remoção dele, sendo que este pode ser reaproveitado uma vez, havendo pouca alteração em sua eficiência.

Com relação à identificação dos metais presentes nas placas de circuito impresso, pode-se concluir que os metais chumbo, cobre e prata podem ser facilmente identificados a partir da análise qualitativa, por meio de reações de via úmida. Foi necessária a neutralização da solução após a digestão com água régia, já que o sulfeto de hidrogênio possui uma eficiência melhor em meio neutro, possibilitando, conseqüentemente, uma melhor identificação dos metais presentes. O método de identificação gerou uma grande quantidade de resíduos, tanto básicos quanto ácidos, sendo necessário um tratamento adequado em uma etapa posterior do projeto, já que o tempo escasso não possibilitou a realização desse processo em sua totalidade até o presente momento.

Com base nisto, reflete-se se a utilização deste método pode ser considerada a melhor alternativa para esse processo, pois durante todas as etapas foram gerado resíduos com considerado teor de toxicidade, além da utilização do sulfeto de hidrogênio, substância de difícil tratamento e considerada nociva para o ambiente. Sendo assim, a identificação dos metais contidos nas PCIs é considerada importante tanto para informações a respeito da composição dos produtos, quanto para realização de um descarte correto do material, principalmente por ser constituído de metais pesados, como o chumbo identificado qualitativamente nas amostras. Com isso é de suma importância que esse processo de identificação seja realizado de maneira correta, tentando evitar ao máximo a geração de resíduos e, quando gerado, realizando o seu devido tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Mislene Aparecida de et al. **Destinação do lixo eletrônico: impactos ambientais causados pelos resíduos tecnológicos.** 2015. Disponível em: <<http://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-locucao/article/view/65/66>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- ARADAS, Anahí. Bbc Mundo em Londres (Ed.). **Mineração urbana pode ser fonte de ouro no lixo, diz relatório.** 2012. Disponível em: <[www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/10/121009\\_ouro\\_lixo\\_eletronico\\_dg.shtml](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/10/121009_ouro_lixo_eletronico_dg.shtml)>. Acesso em: 15 maio 2018.
- BALDÉ, C. P. et al. **The Global E-waste Monitor.** 2017. Disponível em: <[https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM 2017/Global-E-waste Monitor 2017 .pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%2017/Global-E-waste%20Monitor%202017.pdf)> . Acesso em: 14 maio 2018.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2018.
- BRITISH BROADCASTING CORPORATION (BRASIL). **Países pobres são destino 'de 80% do lixo eletrônico de nações ricas.** 2013. Disponível em: <[http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/01/130118\\_lixo\\_eletronico\\_bg.shtml](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/01/130118_lixo_eletronico_bg.shtml)>. Acesso em: 14 maio 2018.
- COELHO, A.; BARBALHO, E. S.; ESCREMIN, J. V. **Desenvolvimento de um Experimento sobre o Efeito Estufa: Uma Proposta para o Ensino.** Revista Virtual de Química, Votuporanga, v. 6, n. 1, p.142-151, 24 out. 2018. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n1a11.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2018.
- DAQUINO, Fernando. **Como as placas de circuito impresso são produzidas.** 2012. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/como-e-feito/18501-como-as-placas-de-circuito-impresso-sao-produzidas.htm>>. Acesso em: 24 out. 2018.
- FRANCO, Rosana Gonçalves Ferreira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. **Revisão das técnicas utilizadas na recuperação de metais em resíduos de placas de circuito impresso (rpci).** 2016. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-047.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- GERBASE, Annelise Engel; OLIVEIRA, Camila Reis de. **Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química.** 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422012000700035](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000700035)>. Acesso em: 27 abr. 2018.
- HIGSON, Séamus. **Química analítica.** São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

KOHN, Karen; MORAES, Cláudia Herte de. **O impacto das novas tecnologias na sociedade: conceitos e características da Sociedade da Informação e da Sociedade Digital**. 2007. Disponível em: <[http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/o\\_impacto\\_das\\_novas\\_tecnologias\\_na\\_sociedade.pdf](http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/o_impacto_das_novas_tecnologias_na_sociedade.pdf)>. Acesso em: 04 abr. 2018.

LOPES, Marcos. **Cominuição de minérios: Etapas de britagem e moagem**. 2014. Disponível em: <<https://tecnicoeminerao.com.br/etapas-da-cominuicao-de-minerios-britagem-e-moagem/>>. Acesso em: 16 maio 2018.

LOPES, Marcos. **Hidrometalurgia na Mineração**. 2015. Disponível em: <<https://tecnicoeminerao.com.br/hidrometalurgia-na-mineracao/>>. Acesso em: 15 maio 2018.

MARTIN, J.H. **A new method to evaluate hydrogen sulfide removal from biogas**. 2008. 87 f. Thesis (Master of Science)-Faculty Of North Carolina State University, Carolina do Norte, 2008.

MAX LABOR. **Saiba como funciona o bloco digestor**. 2016. Disponível em: <<http://www.maxlabor.com.br/blog/saiba-como-funciona-o-bloco-digestor>>. Acesso em: 24 out. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU prevê que mundo terá 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico em 2017**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-preve-que-mundo-tera-50-milhoes-de-toneladas-de-lixo-eletronico-em-2017/>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

PASQUAL, Antenor; DUARTE, Rogéria P. Saez. **Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos**. 2000. Disponível em: <<http://files.engenharia-ambiental.webnode.com/200000032-7ec0c7fba6/AVALIAÇÃO DO CÁDMIO-CHUMBO-NÍQUEL E ZINCO EM SOLOS PLANTAS E CABELOS HUMANOS.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.

RESICOLOR TINTAS E VERNIZES LTDA. **FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO - RESICOLOR RAZ**. Disponível em: <<http://www.resicolor.com.br/upload/20-resicolor-raz-rev6-1397076745.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2018.

REVISTA GALILEU (Ed.). **Nova técnica extrai ouro e cobre de lixo eletrônico**. Revista Galileu, São Paulo. 2016. Diária. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Desenvolvimento/noticia/2016/02/nova-tecnica-extrai-ouro-e-cobre-de-lixo-eletronico.html>>. Acesso em: 14 maio 2018.

RICCHINI, Ricardo. **China, depósito de lixo eletrônico**. 2014. Disponível em:

<<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-lixo-eletronico/china-deposito-de-lixo-eletronico/>>. Acesso em: 14 maio 2018.

RUAN, Matheus. São Paulo (Org.). **Mineração urbana**. 2016. Disponível em: <<http://pre.univesp.br/mineracao-urbana#.WvpRz0xFy01>>. Acesso em: 15 maio 2018.

SAAD, Flávia. **Definição de pirometalurgia**. 2013. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/7453-definicao-de-pirometalurgia/>>. Acesso em: 15 maio 2018.

SILVA, Janari Rui Negreiros da. **Lixo eletrônico: um estudo de responsabilidade ambiental no contexto do instituto de educação ciência e tecnologia do Amazonas – ifam *campus* Manaus centro**. 2010. Disponível em: <<http://www.web-resol.org/textos/iii-009.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.

STELZER, Joana; FERREIRA, Keila Pacheco; KNOERR, Viviane Coêlho de Séllos. **Direito, globalização e responsabilidade nas relações de consumo**. 2015. Disponível em: <<https://www.conpedi.org.br/publicacoes/c178h0tg/i9j11a02/WQM34KU694IWz9h9.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2018.

SOUZA, Jose Inacio de. **Introdução a hidrometalurgia**. 2013. Disponível em: <[http://www.educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material\\_didatico/mineracao/mineracao\\_introducao\\_a\\_hidrometalurgia.pdf](http://www.educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_introducao_a_hidrometalurgia.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.

VOGEL, Arthur Israel. **Química Analítica Qualitativa**. 5. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981. 665 p. Tradução de Antonio Gimeno.