



**INSTITUTO
FEDERAL**
Amazonas

**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

ALINE LAIANA COSTA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA NO IFAM-CMDI PARA DESCARTE
E REUTILIZAÇÃO DO PERCLORETO DE FERRO**

ALINE LAIANA COSTA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA NO IFAM-CMDI PARA DESCARTE
E REUTILIZAÇÃO DO PERCLORETO DE FERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal do
Amazonas - IFAM como requisito para
obtenção do título de Tecnólogo no curso
de Tecnologia em Eletrônica Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luana Monteiro
da Silva.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237p Santos, Aline Laiana Costa dos Santos.

Proposta de implantação de sistema no IFAM-CMDI para descarte e reutilização do percloroeto de ferro. / Aline Laiana Costa dos Santos. – Manaus, 2021.

49 f. : il. Color.

TCC de Graduação (Tecnólogo em Eletrônica Industrial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, 2021.

Orientador: Profa. Dra. Luana Monteiro da Silva

1. Placa de circuito impresso. 2. Descarte. 3. Percloroeto de ferro. I. Silva, Luana Monteiro da (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.381

Elaborada por Fc^a. Amélia Frota, registro n.858 (CRB11)

ALINE LAIANA COSTA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA NO IFAM-CMDI PARA
DESCARTE E REUTILIZAÇÃO DO PERCLORETO DE FERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal do
Amazonas - IFAM como requisito para
obtenção do título de Tecnólogo no curso
de Tecnologia em Eletrônica Industrial.

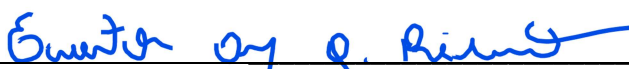
Aprovado em 21 de junho de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Luana Monteiro da Silva (Orientadora)
Instituto Federal do Amazonas - IFAM



Prof.^a Dr.^a Elzalina Ribeiro Soares
Universidade do Estado do Amazonas - UEA



Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

*Dedicado a minha mãe,
pelo apoio, incentivo, por ter
acreditado em mim, na minha
capacidade e perseverança para
chegar até aqui.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por ter chegado até aqui e por sempre estar ao meu lado.

Este trabalho só foi possível devido à contribuição e o incentivo de algumas pessoas:

A prof. Dra. Luana Monteiro da Silva, orientadora do trabalho, pela disposição, contribuição de sugestões valiosas para o desenvolvimento do trabalho e interesse durante a orientação.

A minha mãe Lucilene Costa, por todo incentivo e apoio que me foi dado ao longo da minha existência, pelo exemplo de dedicação, perseverança e acreditar que eu posso sim alcançar meus objetivos.

Ao meu noivo, melhor amigo e companheiro, Luiz Solivan, por todo apoio e incentivo ao longo desta jornada, pelas horas de estudos na resolução de exercícios, relatórios de laboratório, estudos para as provas, inclusive para este trabalho.

Aos meus professores da graduação que contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos de graduação, por todo incentivo, reuniões de estudos, que me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

Os resíduos gerados pelo descarte de diversos tipos de lixo eletrônico impactam de forma significativa o meio ambiente. Em pequenos projetos eletrônicos para fins didáticos, a confecção das trilhas de um circuito em uma placa de fenolite, geralmente é produzida de forma artesanal, através do processo de corrosão, utilizando percloroeto de ferro (FeCl_3). Entretanto, esta solução possui uma vida útil consideravelmente curta, podendo ser reutilizada em média cinco vezes, tendo que ser descartado, porém, na maioria das vezes esse descarte é realizado em locais impróprios. E é neste ponto que se insere o presente trabalho, o qual tem como objetivo propor a implantação de um sistema no IFAM-CMDI, que visa o descarte e a recuperação do percloroeto de ferro, para que seja reutilizado, a fim de evitar o seu despejo de forma inadequada no meio ambiente.

Palavras-chave: Placas de circuito impresso. Descarte. Reutilização. Percloroeto de ferro.

ABSTRACT

The waste generated by the disposal of various types of electronic waste significantly impacts the environment. In small electronic projects for didactic purposes, the making of the tracks of a circuit on a phenolite board, are usually produced by hand, through the corrosion process, using iron perchloride (FeCl_3). However, this solution has a considerably short lifespan and can be reused an average of five times, having to be discarded, however, most of the time this disposal is carried out in inappropriate places. And it is at this point that the present work is inserted, which aims to propose the implementation of a system at the IFAM-CMDI, which aims at the disposal and recovery of iron perchloride, so that it can be reused, in order to avoid its inappropriately dumping into the environment.

Key Words: Printed circuit boards, discard, reuse, iron perchloride.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Lixo eletrônico.....	16
Figura 2: Descarte inadequado do lixo eletrônico.....	18
Figura 3: Produção de lixo eletrônico no Brasil.....	20
Figura 4: Resíduos sólidos.....	21
Figura 5: Resíduos Industriais.....	22
Figura 6: Resíduos empilhados para o descarte correto.....	22
Figura 7: Placa de fenolite.....	24
Figura 8: Placa eletrônica com componentes.....	27
Figura 9: Placa de fenolite.....	28
Figura 10: Placa de fibra de vidro.....	28
Figura 11: Procedimentos de confecção das trilhas.....	29
Figura 12: Corrosão da placa de circuito impresso.....	29
Figura 13: Placa em fase de corrosão.....	30
Figura 14: Limpeza da placa pós corrosão.....	30
Figura 15: Perfurador de placa eletrônica.....	30
Figura 16: Placa de circuito impresso após a remoção da tinta.....	31
Figura 17: Soldagem e inserção dos componentes na placa.....	31
Figura 18: Tambor 200 litros para despejo do produto.....	35
Figura 19: Tambor de metal para o depósito de garrafas contendo percloroeto de ferro.....	36
Figura 20: Exemplo de etiqueta de identificação do local de descarte.....	36
Figura 21: Phmetro digital.....	39
Figura 22: Chapa aquecedora.....	40
Figura 23: Agitador magnético.....	40
Figura 24: Espectrômetro de absorção atômica com chama.....	41
Figura 25: Centrífuga.....	41
Figura 26: Fluxograma mostrando a sequência de etapas do sistema.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Metais perigosos de difícil degradação.	23
Tabela 2: Teor mássico de metais contidos em PCs removidas de computadores descartados.....	24

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IFAM-CMDI	Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PACE	Plataforma para Aceleração da Economia Circular
PCI	Placas de Circuito Impresso
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
REEEs	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA	14
1.2. OBJETIVO	15
1.3. METODOLOGIA	15
1.4. ESTRUTURAS DO TRABALHO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1. LIXO ELETRÔNICO.....	16
2.1.1. Danos causados pelo descarte inadequado	17
2.1.2. Tipos de lixos eletrônicos	19
2.2. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	20
2.2.1. Definição.....	20
2.2.2. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.....	23
2.2.3. Política nacional do resíduo sólido	25
2.2.4. Legislação	25
2.2.5. Resolução CONAMA.....	26
2.3. PLACA ELETRÔNICA.....	27
2.3.1. Placa de fenolite	27
2.3.2. Placa de fibra de vidro	28
2.4. CONFECÇÃO DA PCI	28
2.5. PERCLORETO DE FERRO	31
2.5.1. Características.....	32
2.5.2. Aplicabilidade.....	32
2.5.3. Efeitos do produto.....	33
2.5.4. Impacto ambiental	33
3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	35
3.1. COLETA DO PRODUTO.....	35
3.1.1. Identificação do local	36
3.2. PROPOSTAS PARA RECUPERAÇÃO DO PRODUTO	36
3.2.1. Proposta para a recuperação do chumbo e do cobre.....	37
3.2.2. Proposta para recuperação do cobre contido na PCI.....	37
3.2.3. Proposta de reutilização do percloro de ferro utilizado na PCI	37
3.3. MATERIAIS	38
3.3.1. Reagentes, vidrarias e equipamentos necessários.	38

3.4. PROCEDIMENTO	41
3.4.1. Fluxograma das etapas do sistema	42
3.2. COMENTÁRIOS	42
4. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da Plataforma para Aceleração da Economia Circular (PACE) e da Coalização das Nações Unidas sobre lixo eletrônico, o nível de produção do lixo eletrônico global deverá alcançar 120 milhões de toneladas ao ano em 2050 se as tendências atuais acontecerem (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

Os resíduos de aparelhos eletrônicos são compostos por diferentes tipos de materiais, especialmente poliméricos e metálicos. Muitos desses materiais têm alto valor agregado, sendo que a maioria destes se encontra nas placas de circuito impresso - PCI (HENRIQUE JUNIOR *et al.*, 2013).

Esses aparelhos eletrônicos, em geral, têm uma tempo de vida útil curto e com o avanço da tecnologia, têm aumentado a sua produção e consumo, tendo como consequência um aumento na quantidade de lixo eletrônico. Os equipamentos eletrônicos considerados antigos acabam sendo descartados em lixos comuns, uma vez que a maioria da população não sabe descartar corretamente esses aparelhos. O mesmo vem ocorrendo com as placas de circuito impresso. Com isso, tem-se o problema quanto ao processo de fabricação artesanal destas placas, relacionado ao descarte após a utilização do percloroeto de ferro (FeCl_3) (FAVERA, 2008).

Com o aumento do lixo eletrônico, há o aumento dos metais pesados que o compõe, como por exemplo, chumbo, mercúrio, entre outros. Sendo assim, nos últimos anos tem-se trabalhado na reciclagem desses equipamentos eletrônicos, a fim de diminuir o impacto ambiental, causado pelo avanço da tecnologia (BUNDE, 2021).

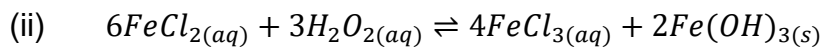
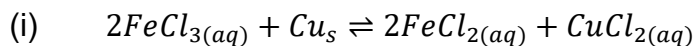
A confecção de placas de circuito impresso é uma atividade realizada pelos alunos das áreas de eletrônica, automação, telecomunicações e mecatrônica de muitas instituições e universidades brasileiras. No Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI), os alunos das áreas de automação, eletrônica, mecatrônica e telecomunicações, produzem através de projetos, suas placas de circuito impresso de material fenolite. Entretanto, vale destacar que, até o momento nenhum tratamento vem sendo aplicado para o descarte correto do material utilizado para a confecção dessas placas, ressaltando que o método adotado para o descarte é a diluição com água e acaba sendo descartado no solo.

As placas de circuito impresso são feitas a partir de uma base não condutiva, como fenolite ou fibra de vidro e cobertas por uma camada de cobre, que é um

excelente condutor. Durante a preparação da placa, todo o cobre, exceto aquele que fará as conexões dos componentes, é retirado (FAZEDORES, 2014).

Portanto, inicialmente a solução usada na corrosão das placas de circuito impresso, contém percloroeto de ferro e após entrar em contato com a placa de fenolite, ocorrerá à corrosão dessa placa, tendo a parte do cobre corroída menos a que será usada para as conexões dos componentes, uma vez que para evitar a corrosão do cobre onde terá a conexão dos componentes é utilizado um marcador de pincel, desenhando na placa onde não queremos que seja corroída. (BRAGA, 2015).

Como podemos observar na equação (i) abaixo, quando o ferro trivalente entra em contato com o cobre ocorre à oxidação, com isso o cobre passa a ser cloreto de cobre (ii). O ferro que antes era trivalente passou a ser bivalente, deixando a solução menos eficiente.



1.1. PROBLEMA

Na confecção de placas para uso em pequenos projetos eletrônicos é necessário realizar sua devida corrosão com suas respectivas trilhas de circuito, utilizando percloroeto de ferro. Após o processo de corrosão destas placas, observou-se que o percloroeto de ferro utilizado no processo de corrosão, era despejado em locais inapropriados, como por exemplo, no solo.

A partir daí buscou-se formas corretas de despejos deste produto, entretanto, a melhor solução encontrada foi o método de reutilização apresentado neste trabalho.

1.2. OBJETIVO

Propor a implantação de um sistema no IFAM-CMDI para descarte e recuperação do percloroeto de ferro utilizado na corrosão das placas de circuito impresso tipo fenolite.

1.3. METODOLOGIA

Este trabalho é formado a partir de segmentos como, bibliografias, pesquisas, resolução e legislação, voltadas para o impacto ambiental.

1.4. ESTRUTURAS DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em 4 partes:

Parte 1 - Introdução: uma apresentação resumida do que é discutido no decorrer do trabalho. Apresenta os objetivos e a metodologia que foi empregado ao desenvolvimento do trabalho;

Parte 2 - Fundamentação teórica: apresenta o estudo teórico relacionado ao impacto gerado pelo avanço tecnológico, legislação, resolução sobre o lançamento de efluentes através do despejo inadequado do percloroeto de ferro;

Parte 3 - Desenvolvimento: apresenta a etapa de desenvolvimento do trabalho tal como: processo para descarte e recuperação do percloroeto de ferro;

Parte 4 - Conclusão: Apresenta a conclusão sobre o resultado obtido através das referências e os comentários a partir do resultado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados os tópicos relacionados aos lixos eletrônicos, destacando os danos causados ao meio ambiente quando descartados de maneira inadequada, resíduos sólidos, cloreto férrico, dentre outros.

2.1. LIXO ELETRÔNICO

Com o avanço da tecnologia no mundo, o lixo eletrônico tem crescido de forma preocupante. A escassez de locais onde são descartados corretamente os lixos, tem sido um grande problema (BUNDE, 2021).

O nível de produção de lixo eletrônico global deverá alcançar 120 milhões de toneladas ao ano em 2050 se as tendências atuais permanecerem, conforme mostrou o relatório da Plataforma para Aceleração da Economia Circular (PACE) e da Coalizão das Nações Unidas sobre Lixo Eletrônico (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).



Figura 1: Lixo eletrônico.
Fonte: BUNDE, 2021.

O relatório revela o valor anual de lixo eletrônico global como superior a 62,5 bilhões de dólares, mais que o Produto Interno Bruto (PIB) de muitos países. Mais de 44 milhões de toneladas de lixo eletrônico e elétrico foram produzidas globalmente em 2017 – equivalente a mais de 6 quilos para cada habitante do planeta. Isto é o equivalente ao peso de todos os aviões comerciais já produzidos (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

De acordo com o relatório, além de impactos à saúde e poluição, gestão imprópria de lixo eletrônico está resultando em uma perda significativa de materiais

brutos escassos e valiosos, como ouro, platina, cobalto e elementos terrestres raros. Até 7% do ouro do mundo podem estar atualmente em lixo eletrônico, com 100 vezes mais ouro em uma tonelada de lixo eletrônico do que em uma tonelada de minério de ouro (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

No relatório, membros da PACE e da Coalizão da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Lixo Eletrônico, incluindo a ONU Meio Ambiente, o Fundo Mundial para o Ambiente, o Fórum Econômico Mundial e o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável pedem uma inspeção do sistema atual de eletrônicos, enfatizando a necessidade de uma economia circular nas quais recursos não sejam extraídos, usados e descartados, mas avaliados e reutilizados de maneira que minimize impactos ambientais e crie empregos decentes e sustentáveis (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

Tudo está se modificando cada vez mais rápido com as modernas formas de comunicação eletrônica e esse avanço tecnológico faz com que tenhamos uma mudança em nossas vidas, seja em nosso ambiente de trabalho, seja em nossa casa. O ser humano está em constante mudança e conforme a tecnologia avança cabe a nós nos adaptarmos a esse avanço.

Com todo esse avanço tecnológico, acabamos descartando de maneira imprópria os aparelhos eletrônicos que consideramos antigos e com isso tendo um crescente impacto ambiental causado por este descarte inadequado.

2.1.1. Danos causados pelo descarte inadequado

Todo descarte inadequado de lixo, seja ele de qual tipo, prejudica o meio ambiente por meio do aumento da poluição e da possibilidade de contaminação do solo e das águas. No caso do lixo eletrônico, esse problema se torna ainda maior, uma vez que os aparelhos eletrônicos são compostos por substâncias tóxicas como chumbo, mercúrio e berílio (BUNDE, 2021).



Figura 2: Descarte inadequado do lixo eletrônico.
Fonte: Nossa Ciência, 2018.

Essas substâncias, quando depositadas em locais impróprios e sem os devidos cuidados, podem contaminar gravemente o ambiente, causando problemas de saúde pública. Além disso, esses dispositivos são formados por materiais que levam muito tempo para se decompor naturalmente, como vidro e plástico. Isso significa que o descarte inadequado do lixo eletrônico também causa o acúmulo de itens que ficarão na natureza por séculos (SILVA; OLIVEIRA; MARTINS, 2007).

Menos de 20% do lixo eletrônico é reciclado, com isso 80% restantes está indo para aterros ou sendo informalmente reciclados. Uma grande parte desse lixo está sendo reciclada manualmente em países que estão em desenvolvimento, expondo seus trabalhadores a substâncias perigosas e cancerígenas como mercúrio, chumbo e cádmio (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

Além de comprometer ecologicamente o planeta, os compostos que formam os materiais eletrônicos são nocivos aos próprios seres humanos. Uma vez que os elementos químicos que os compõem acabam sendo absorvidos pelo solo e atingem os lençóis freáticos (BUNDE, 2021).

Vale destacar que a crise hídrica tem sido potencialmente afetada, com o aumento do descarte dos materiais eletrônicos. E com isso acaba comprometendo o equilíbrio ecológico, colocando em risco sistemas de fornecimento de alimentos e recursos hídricos (BUNDE, 2021; NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

Uma das soluções para amenizar o impacto ambiental causado é a inclusão de designs de produtos duráveis, sistemas de compra e retorno de eletrônicos usados, “mineração urbana” para extrair metais e minérios de lixo eletrônico e a “desmaterialização” de eletrônicos ao substituir propriedade direta de aparelhos por modelos de empréstimo e aluguel para maximizar reutilização de produtos e oportunidades de reciclagem (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

2.1.2. Tipos de lixos eletrônicos

Segundo Bunde (2021), entre os principais exemplos de lixo eletrônico estão:

- Televisores;
- Computadores (e periféricos, como, teclado, mouse e etc.);
- Notebooks;
- Smartphones;
- Câmeras fotográficas;
- Fogão;
- Geladeira;
- Micro-ondas;
- Rádio;
- Telefones;
- Pilhas;
- Carregadores;
- Baterias;
- Lâmpadas;
- Produtos químicos em geral.

Os aparelhos citados acima se chegarem a ser descartados incorretamente, levarão anos para se decompuser. Por isso, devemos descartá-los de maneira adequada, em locais de reciclagem, a fim de que não seja mais causado nenhum dano à natureza.

Estima-se que, ao todo, cerca de 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico são gerados no mundo todo ano. O Brasil é o país emergente que mais gera lixo eletrônico por habitante (BUNDE, 2021).



Figura 3: Produção de lixo eletrônico no Brasil.
Fonte: Nações Unidas Brasil, 2015.

Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA (2015), o Brasil é o país da América Latina que mais produziu lixo eletrônico por habitante, perdendo apenas para os Estados Unidos. Em 2014 o país produziu 1,4 milhão de toneladas, seguido do México, Marrocos, África do Sul, China, Peru, Colômbia e Índia, considerando todo o lixo eletrônico gerado a partir de PC (kg per capita).

2.2. RESÍDUOS SÓLIDOS

Falar sobre os resíduos sólidos no Brasil e no mundo tem sido um tema de constante debate, o motivo seria o impacto gerado pelo descarte destes materiais no solo, rios, lagos e oceanos (VG RESÍDUOS, 2020).

O Brasil possui uma extensa legislação que determina as formas corretas de acondicionamento, transporte e tratamento de resíduos sólidos, tornando a tarefa de trabalhar corretamente estes materiais ainda mais desafiadores (VG RESÍDUOS, 2020).

2.2.1. Definição

Os resíduos sólidos são todos os materiais produzidos por residências, estabelecimentos comerciais, industriais, hospitalares e instalações físicas em geral, os quais não têm mais serventia dentro dos processos da organização ou que chegaram ao fim de sua vida útil. No caso das residências, tais resíduos são exclusivamente os materiais que perderam sua utilidade (ABNT NBR, 2004; VG RESÍDUOS, 2020).



Figura 4: Resíduos sólidos.
Fonte: VG RESÍDUOS, 2020.

Os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com, segundo Vg resíduos (2020):

- Riscos Potenciais de Contaminação do Meio Ambiente
 - Classe I ou Perigosos;
 - Classe II ou Não-Inertes;
 - Classe III ou Inertes;
- Natureza ou Origem
 - Lixo Doméstico ou Residencial;
 - Lixo Comercial;
 - Lixo Público;
 - Lixo Domiciliar especial;
 - Entulho de obras;
 - Pilhas e baterias;
 - Lâmpadas fluorescentes;
 - Pneus;
 - Lixo de Fontes especiais;
 - Lixo industrial;
 - Lixo radioativo;
 - Lixo de portos, aeroportos e terminais rodoviários;
 - Lixo agrícola;
 - Resíduos de serviços de saúde.



Figura 5: Resíduos Industriais.
Fonte: EOS CONSULTORES, 2019.

Resíduos podem ser encontrados em suas fases, efluentes e resíduos sólidos. Os primeiros são aqueles em forma líquida, como esgoto urbano e dejetos industriais, já os resíduos sólidos são materiais que geralmente se apresentam em forma sólida e podem ser segregados e direcionados a diversos meios de destinação final, como compostagem, reciclagem, aterros e etc. (EOS CONSULTORES, 2019; VG RESÍDUOS, 2020).

Esses resíduos sólidos são divididos em diversas categorias, sendo as mais importantes: resíduos perigosos e não perigosos. No caso dos perigosos, o transporte só pode ser feito por uma empresa cujo licenciamento ambiental prevê este tipo de atividade e que apresente regularidade mediante a todas as exigências legais, uma vez que ela deverá emitir uma série de documentações para conseguir movimentar a carga (VG RESÍDUOS, 2020).

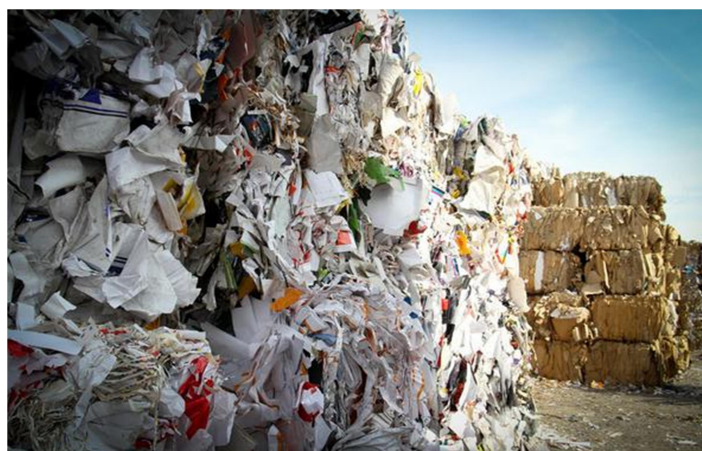


Figura 6: Resíduos empilhados para o descarte correto.
Fonte: VG RESÍDUOS, 2020.

Já os resíduos não perigosos podem ser transportados por transportadoras comuns ou até mesmo pela própria empresa geradora, desde que seja emitida a documentação necessária para a movimentação da carga (EOS CONSULTORES, 2019; VG RESÍDUOS, 2020).

2.2.2. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEEs) ou Resíduos Eletroeletrônicos são constituídos por mais de 70% de sua composição por metais (NATUME & SANT'ANNA, 2011). Esses metais perigosos (como mostra a Tabela 1 abaixo) de difícil degradação, que podem ser causadores de graves problemas ambientais caso sejam descartados de modo incorreto.

Elementos perigosos	Onde é utilizado	Impactos na saúde
Chumbo	Computador, celular, televisão.	Causa danos ao sistema nervoso e sanguíneo.
Mercúrio	Computador, monitor e TV tela plana.	Causa danos cerebrais e ao fígado.
Cádmio	Computador e bateria.	Causa danos aos ossos, rins e pulmões.
Arsênio	Celular.	Causam doenças de pele, danos ao sistema nervoso e pode causar câncer no pulmão.
Berílio	Computador e celular.	Causa câncer no pulmão.

Tabela 1: Metais perigosos de difícil degradação.
Fonte: CEDIR/ USP, 2014.

Os REEEs são compostos por diferentes tipos de materiais, dentre eles poliméricos e metálicos. Muitos desses materiais são encontrados em placas de circuito impresso (PCI). Em alguns tipos de PCI a concentração de ouro existente é maior se comparado em fontes naturais desse elemento (HENRIQUE JÚNIOR *et al.*, 2013).

O material que compõe a base (conhecido como laminado), de uma PCI pode conter diferentes composições como, por exemplo, fenolite (papelão impregnado com resina fenólica), fibra de vidro e materiais cerâmicos. O laminado é recoberto por uma fina camada de cobre que ao ser corroído irá formar linhas que vão ligar os

componentes. Os circuitos integrados e as outras partes eletrônicas são unidos ao laminado por soldagem (solda) contendo chumbo e estanho (GERBASE *et al.*, 2012).

Na Figura 7 temos uma placa de fenolite que já foi corroída formando as trilhas que ligarão os componentes eletrônicos.

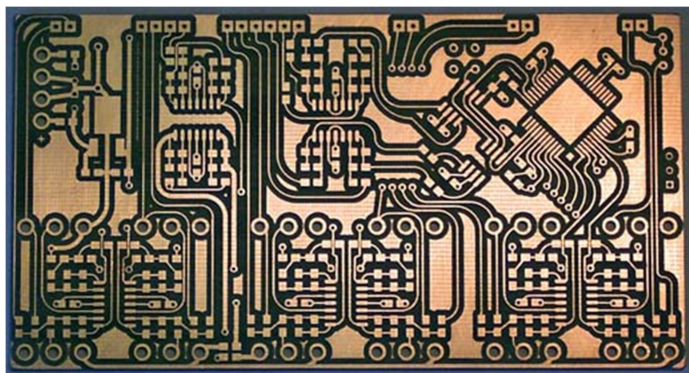


Figura 7: Placa de fenolite.
Fonte: BRAGA, 2013.

A Tabela 2 apresenta a concentração de metais em PCI encontrados em computadores, segundo levantamento feito por YAZICI *et al.*, 2010).

Metal	Teor
Alumínio	4,9 % m/m
Chumbo	3,9 % m/m
Cobre	15,5 % m/m
Estanho	4,3 % m/m
Ferro	3,6 % m/m
Níquel	0,2 % m/m
Ouro	6, 0 g/ton
Prata	380 g/ton
Zinco	2,3 % m/m

Tabela 2: Teor mássico de metais contidos em PCIs removidas de computadores descartados.

Fonte: YAZICI *et al.*, 2010.

YAZICI *et al.* (2010) estudaram a composição de diversas placas de circuito impresso. Pelo seu estudo placas de circuito impresso retiradas de computadores descartados possuíam cerca de 2/3 de polímeros e cerâmicos e cerca de 1/3 de metais em massa. Também analisaram o teor mássico de cada metal presente nas PCIs.

Com o crescimento da geração de resíduos, em geral, despertou a preocupação com todo o seu descarte. Por isso foi criada uma legislação específica para cada tipo de resíduos gerado para tratamento e disposição final (JACOBI & BESEN, 2011).

2.2.3. Política nacional do resíduo sólido

Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2012), a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (2012), após vinte e um anos de discussões no Congresso Nacional, marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo a União, Estados e Municípios, juntamente com o setor produtivo e a sociedade em geral na finalidade de solucionar os problemas na gestão resíduos sólidos que comprometem a qualidade de vida dos brasileiros.

Em agosto de 2010, baseado no conceito de responsabilidade compartilhada, a sociedade como um todo (cidadãos, governos, setor privado e sociedade civil organizada) passou a ser responsável pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. O setor privado passou a ser responsável pelo descarte correto dos resíduos sólidos, reciclagem e buscar utilizar produtos que tragam benefícios ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Se descartados e reciclados adequadamente, os resíduos sólidos acabam tendo o seu valor comercial e podendo ser reutilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos. Com a implantação de um plano de gestão trará reflexos positivos nos âmbitos sociais, ambientais e econômicos, uma vez que tende a reduzir os impactos ambientais gerados e proporciona a geração de emprego (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

O Art. 6º da Lei 12.305: São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Deste modo, se faz necessário à prevenção, redução, reutilização, reciclagem dos resíduos em aterros sanitários (JACOBI & BESEN, 2011).

2.2.4. Legislação

Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2012), a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o combate aos problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do modo inadequado dos resíduos sólidos. A lei prevê a prevenção e a redução na geração desses resíduos, trazendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável, como o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos, ou seja, aquilo que

tem valor econômico pode ser reciclado ou reaproveitado e a destinação adequada dos rejeitos, isto é, aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Estabelece a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, como por exemplo, os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, os cidadãos e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo. A criação de metas que tendem a contribuir para a eliminação dos lixões, planejamento nos níveis nacionais, estaduais e municipais. Além de impor que os particulares elaborem seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos. Além disso, coloca o Brasil em igualdade aos principais países desenvolvidos no que diz respeito ao marco legal, com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na logística reversa quanto na coleta seletiva (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

2.2.5. Resolução CONAMA

Diante do atual quadro ambiental do Brasil fez-se necessário a criação de uma regulamentação, para minimizar os impactos ambientais. Diante disso temos a Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011, que fala sobre as condições e padrões para a gestão do lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2015).

A nova resolução do CONAMA trata sobre as condições de padrões de lançamento para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Dentro desta resolução, destaca-se o Artigo 3º que constitui que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores (local que será despejado) após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões dispostos na Resolução.

Temos também o Artigo 5º da Resolução Nº 430, diz que o lançamento do efluente não poderá alterar a classe do corpo receptor ao final de seu processo de reutilização.

E o Artigo 9º, que diz que para o controle das condições de lançamento, é proibida para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com

águas de melhor qualidade, como por exemplo, as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação.

2.3. PLACA ELETRÔNICA

A placa eletrônica, apresentada na figura 8, também conhecida como Placa de Circuito Impresso - PCI ou PCB do inglês *"Printed Circuit Board"*, refere-se a um componente utilizado para construção de qualquer equipamento eletrônico (MEHL, 2009).

Estas placas são constituídas por uma base isolante, sendo os materiais mais usados na fabricação, fenolite ou fibra de vidro, revestida por uma fina camada metálica, geralmente de cobre. Para confecção das trilhas, a placa é submersa no produto Percloroeto de Ferro, onde têm o cobre corroído e “impressos” as trilhas, indicando os locais para inserção dos componentes, os quais serão soldados e ficaram interligados entre si (BRAGA, 2015; MEHL, 2009).

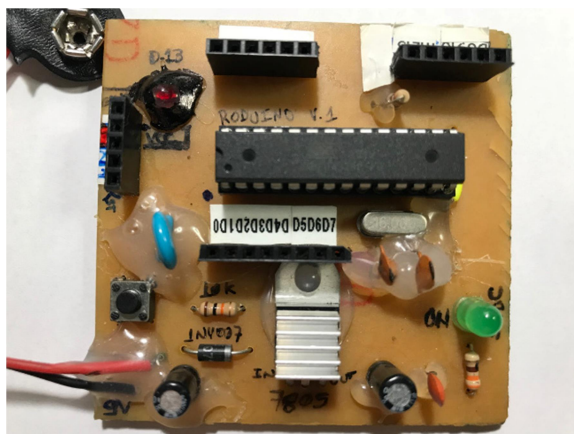


Figura 8: Placa eletrônica com componentes.
Fonte: Costa, 2017.

2.3.1. Placa de fenolite

As placas de fenolite, Figura 9, são feitas com a mistura de uma resina fenólica com certa quantidade de papel picado ou serragem de madeira (carga), apresentando cor marrom claro ou escuro. A mistura é moldada e prensada à quente na forma de chapas, com diferentes espessuras (MEHL, 2009).

Hoje em dia as placas de fenolite são utilizadas em projetos artesanais ou de baixo volume de produção, onde ocorre a fabricação de protótipos e montagem manual.

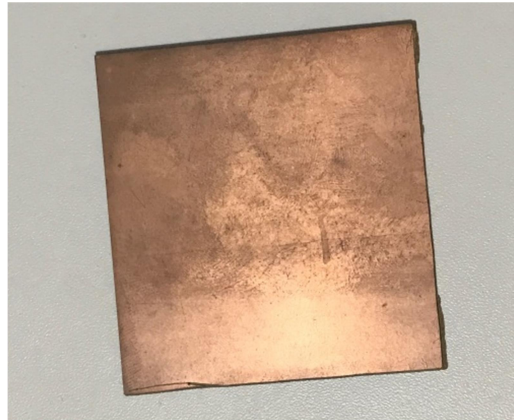


Figura 9: Placa de fenolite.
Fonte: Autora.

2.3.2. Placa de fibra de vidro

Em resposta aos problemas apresentados pela fenolite, foram desenvolvidas na década de 1960, como alternativa de melhor qualidade, as placas conhecidas como fibra de vidro, vista na Figura 10. Estas chapas são feitas com resina epóxi, havendo internamente apenas uma fina manta de tecido de fibras de vidro. O uso da resina epóxi faz com que as placas de fibra de vidro sejam totalmente inertes à água, por outro lado, esse tipo de placa possui um custo de 30% mais caro quando comparado com a fenolite (MEHL, 2009).

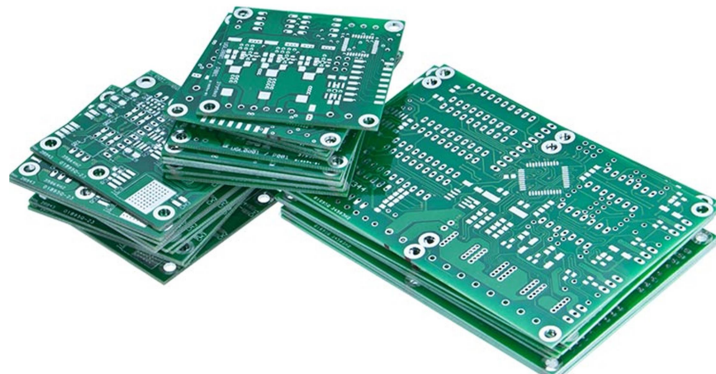


Figura 10: Placa de fibra de vidro.
Fonte: Micropess, 2021.

2.4. CONFECÇÃO DA PCI

Primeiramente é necessário realizar o desenho do esquema elétrico na placa, conforme Figura 11. Esse procedimento pode ser feito pelo método de “transferência

térmica”, onde é produzidas as trilhas utilizando programas, como Proteus, Multisim, entre outros, a transferência das trilhas para placa ocorre com ajuda de um ferro quente (ferro de passar roupa), ou simplesmente pode-se desenhar as trilhas do circuito utilizando um pincel marcador de CD (BRAGA, 2015).

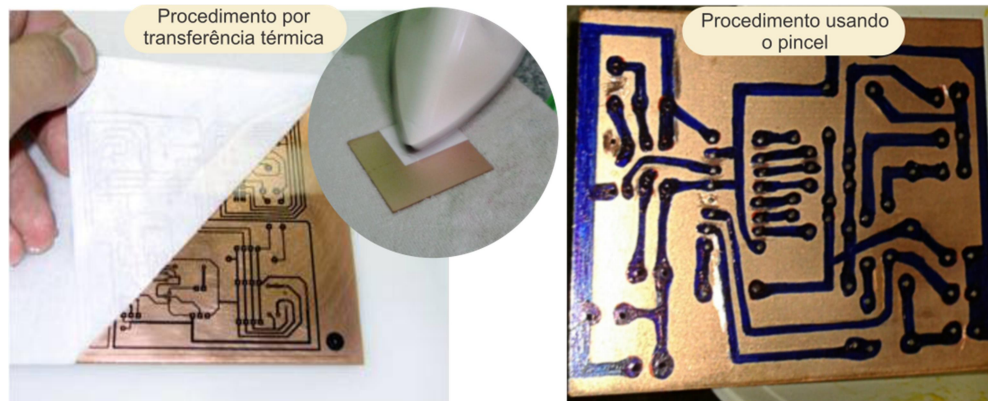


Figura 11: Procedimentos de confecção das trilhas.
Fonte: Autora.

Após realizado o desenho na placa, utilizando uma vasilha plástica iremos adicionar a solução de percloroeto de ferro e em seguida mergulhar a placa nessa solução, conforme ilustra a Figura 12. O percloroeto irá corroer apenas o cobre exposto, como mostra a Figura 13.

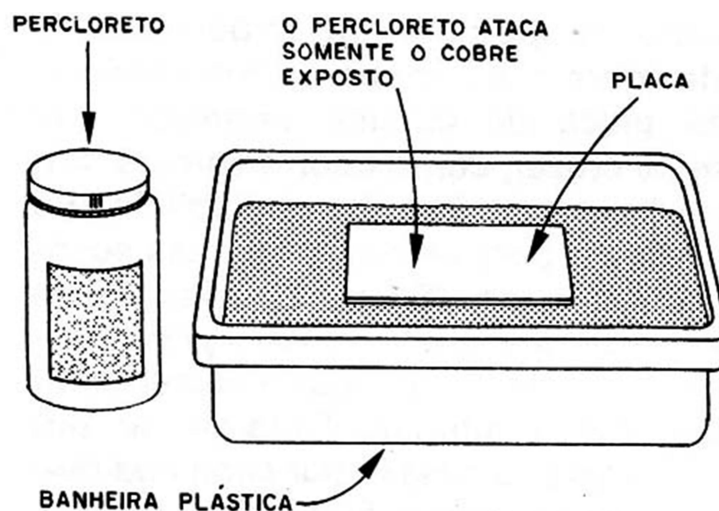


Figura 12: Corrosão da placa de circuito impresso.
Fonte: Braga, 2015.

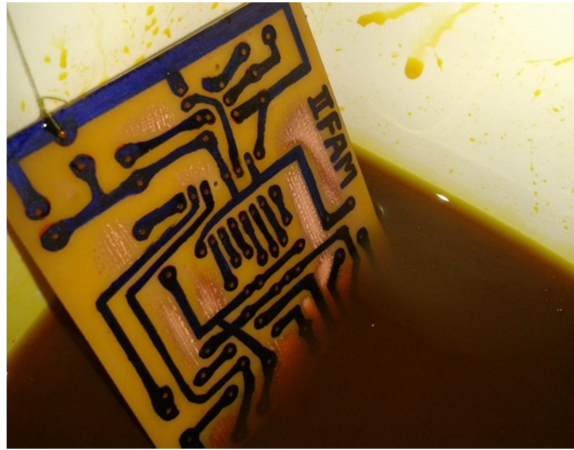


Figura 13: Placa em fase de corrosão.
Fonte: Autora.

Depois de sofrer a corrosão, é necessário realizar uma limpeza na placa, o qual pode ser feita com álcool e água corrente, como mostra a Figura 14.



Figura 14: Limpeza da placa pós corrosão.
Fonte: Autora.

Em seguida com o auxílio de um perfurador visto na Figura 15, faremos os furos na placa para que possamos inserir os componentes, conforme a Figura 16.



Figura 15: Perfurador de placa eletrônica.
Fonte: Bicalho, 2009.

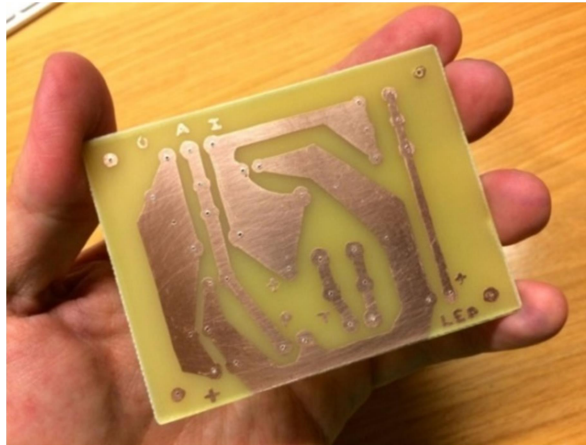


Figura 16: Placa de circuito impresso após a remoção da tinta.
Fonte: Lemos, 2014.

Após corroermos, limparmos e perfurarmos a placa, iremos realizar a etapa final, que é a soldagem dos componentes, representada pela Figura 17.

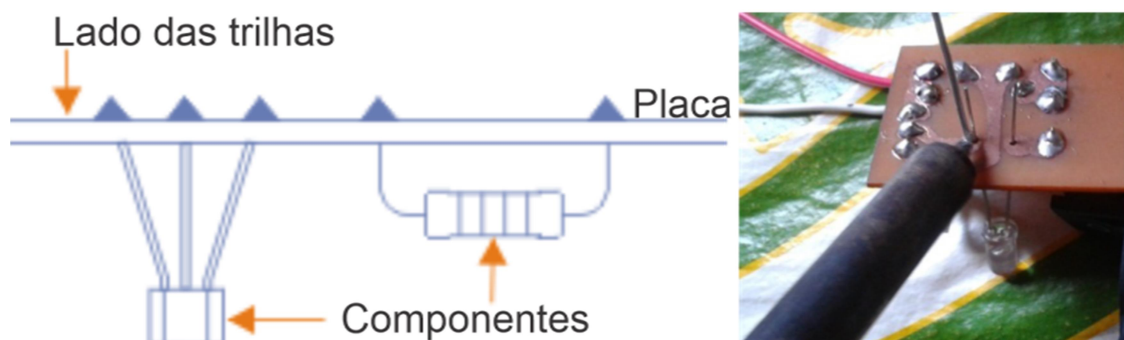


Figura 17: Soldagem e inserção dos componentes na placa
Fonte: Adaptado de BRAGA, 2013.

E o que acontece com a solução de percloroeto utilizada para corroer a placa quando ela chega ao final da sua vida útil?. Geralmente para realizar o descarte dessa solução utiliza-se água em quantidade maior do que a solução, mas e se pudéssemos utilizar um sistema de recuperação do percloroeto para que ele volte ao seu estado original?. Falaremos sobre nos tópicos a seguir.

2.5. PERCLORETO DE FERRO

Nesta seção falaremos sobre o cloreto férrico e outros nomes como é conhecido, sua classificação, onde é utilizado e qual impacto ambiental causado quando despejado de forma incorreta ao meio ambiente.

2.5.1. Características

O cloreto férrico, perclorato de ferro, triclorato férrico ou ferro (III) como também pode ser conhecido, cuja fórmula é FeCl_3 , é um reagente químico que atua como coagulante, floculante para esgoto e resíduo industrial, agente oxidante e corrosivo. No seu estado sólido, apresenta cor negra esverdeada, é inodoro, sendo solúvel em água. Já em solução, apresenta cor marrom avermelhado (LOPES & POHLMANN, 2014; NBR 10004, 2004).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10004 (2004), o cloreto férrico é classificado como resíduo classe I que são considerados resíduos perigosos, identificado como K177, tendo como fonte geradora a química inorgânica. Entra também na classe de risco 8, que corresponde a produtos corrosivos e grupo de embalagem III, ou seja, substâncias que apresentam baixo risco (NBR 10004, 2004).

O cloreto férrico, FeCl_3 , quando dissolvido em água, sofre hidrólise, liberando calor, essa reação é conhecida como reação exotérmica. A hidrólise seria uma reação em que ocorre a quebra da molécula de água em íons de hidrogênio H^+ (que vai gerar o íon hidrônio, H_3O^+) e hidroxila (OH^-). Portanto a reação da água com um cátion produz íons H_3O^+ , caracterizando as soluções aquosas ácidas. Por outro lado, quando a reação de hidrólise ocorre com ânions, são produzidos íons OH^- , o que caracteriza as soluções básicas (VOGEL, 1981).

Abaixo estão representadas as equações da reação de hidrólise.

- i. $\text{Fe}_{(aq)}^3 + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Fe}_{(aq)}^{2+} + \text{H}_{(aq)}^+$
- ii. $\text{Fe}(\text{OH})_{(aq)}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_{2(aq)}^+ + \text{H}_{(aq)}^+$
- iii. $\text{Fe}(\text{OH})_{2(aq)}^+ + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_{3(s)} + \text{H}_{(aq)}^+$

2.5.2. Aplicabilidade

Em projetos eletrônicos utilizam-se placas de circuito impresso a mais comum é a de fenolite por possuírem baixo custo. Na corrosão dessa placa é utilizada a solução de cloreto férrico. Essa mesma solução de cloreto férrico acaba sendo utilizada muitas vezes como solução oxidante, até que atinja uma elevada concentração de cobre, tornando-se saturada com cloreto de cobre, perdendo assim

sua eficiência corrosiva devido à alta concentração de íons ferrosos (Fe^{2+}), agentes redutores. Esta nova solução, saturada de cloreto de cobre possui um alto poder de contaminação (CASTAGNO *et al.*, 2009).

2.5.3. Efeitos do produto

Os efeitos adversos à saúde humana (RESIMAPI, 2011):

- Inalação dos vapores irrita os olhos, nariz e garganta;
- Irritante para a pele;
- Prolongado contato com os olhos pode causar descoloração na conjuntiva;
- Ingestão causa irritação da boca e estômago e possíveis dores abdominais, vômito, diarreia, pulsação rápida e fraca e baixa pressão sanguínea (sintomas aparecem dentro de 10 a 60 minutos após a ingestão);
- O tipo e grau dos sintomas dependem da percentagem de cloreto férrico ingeridos.

2.5.4. Impacto ambiental

A seguir veremos os efeitos ambientais que o cloreto férrico causa ao meio ambiente.

- Água: O cloreto férrico quando despejado na água causa desequilíbrio do pH, com consequências de alteração na fauna local, deixa a água com características ácidas, acrescidas de íons cloreto e ferro, que poderão ultrapassar os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05;
- Ar: Exala cloreto de hidrogênio e ácido clorídrico quando aquecido a altas temperaturas;
- Solo: Alteração do pH, queima da flora local devido sua condição ácida. (RESIMAPI, 2011).

Ao entrar em contato com o solo o percloroeto de ferro pode causar a queima floral, podendo solubilizar metais que podem ser absorvidos pelas partículas sólidas do solo, podendo atingir os lençóis freáticos, assimilação das plantas (toxicidade), afetar a fertilidade do solo e causar salinidade do solo (RESIMAPI, 2011).

O comportamento do ferro também está relacionado ao ciclo do carbono, oxigênio e enxofre. Temos o predomínio dos íons Fe^{+3} (férico), na maior parte dos minerais formados na superfície da crosta terrestre, enquanto os minerais profundos apresentam mais os íons Fe^{+2} (ferroso). Geralmente, o meio alcalino e condições de oxidação promovem a precipitação do Fe, enquanto meios ácidos e condições de redução promovem a solubilização de compostos de Fe (KABATA *et al.*, 2007).

O ferro é um metal vital na transformação de energia necessária para a síntese e outros processos celulares, portanto qualquer alteração que venha a acontecer com ele, pode afetar a biota. Para termos uma ideia, os microrganismos desempenham um papel fundamental no ciclo do Fe, estando intimamente associado à oxidação do carbono orgânico, através da redução do Fe^{+3} e transformações do composto de sulfato (KABATA *et al.*, 2007).

Já o despejo do cloreto de cobre, impacta negativamente a biota aquática do corpo d'água receptor desse efluente. Uma vez que, o cobre, tem grande capacidade de se bi acumular em determinados tecidos vivos, aumentando suas concentrações ao longo da cadeia trófica, e conseqüentemente, atingindo o homem. Além disso, pode desestruturar algumas proteínas enzimáticas essenciais ao ser vivo. De modo geral, a toxicidade do cobre aumenta com a sua solubilidade, a absorção do cobre é influenciada pelas variações de temperatura, salinidade, pH e dureza da água que modificam a permeabilidade dos tecidos agindo sobre a velocidade do metabolismo e da sua excreção (COELHO, 1990 *apud* PEREIRA, 2004, p. 12).

A alta concentração de cobre nas plantas resulta na fita toxicidade, podendo alterar a permeabilidade da membrana celular. A facilidade com que esses íons de cobre $(\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6)^{+2}$ são absorvidos pelas plantas em solos ácidos e $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ em solos neutros e básicos, faz com que concentrações deste metal no solo sejam absorvidas e assimiladas pelas plantas. O cobre é um dos metais que menos se move, uma vez que, é absorvido ou fixado nos solos. (ALLOWAY, 1995).

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Neste tópico é apresentado as etapas do sistema de descarte e recuperação do percloroeto de ferro a ser aplicado no IFAM-CMDI.

3.1. COLETA DO PRODUTO

Inicialmente, deve se determinar um ponto de coleta do percloroeto de ferro, onde deve ser avaliada a melhor opção para o recolhimento deste produto.

Desta forma, a opção mais viável seria colocar um tambor de plástico de 200 litros como mostra a Figura 18, para que o produto seja despejado pelos alunos.



Figura 18: Tambor 200 litros para despejo do produto.
Fonte: Tambores Araras, 2020.

Outra opção seria colocar um tambor, tonel ou similar para que fossem depositadas garrafas contendo o produto, semelhantes o da Figura 19. Um local para ser realizado esse descarte seria ao lado do laboratório de química da instituição.



Figura 19: Tambor de metal para o depósito de garrafas contendo percloroeto de ferro.
Fonte: Zambon, 2019.

3.1.1. Identificação do local

Os tambores de coletas serão identificados com uma etiqueta com os dizeres “Após o uso, deposite aqui seu percloroeto de ferro”, a fim de chamar atenção dos alunos.

Na Figura 20 mostra um exemplo de etiqueta que pode ser usada para a identificação.



Figura 20: Exemplo de etiqueta de identificação do local de descarte.
Fonte: Autora.

3.2. PROPOSTAS PARA RECUPERAÇÃO DO PRODUTO

Neste tópico abordaremos alguns métodos utilizados para a recuperação do cobre e do ferro em placas de circuito impresso.

3.2.1. Proposta para a recuperação do chumbo e do cobre

Kuchar *et al.* (2007) realizou a recuperação de chumbo e cobre através da sua metodologia aplicada em (2006) para a recuperação de zinco a partir de lamas ricas no metal. Eles precipitaram o zinco na forma de sulfeto de zinco (ZnS) e realizaram a sua separação através de flotação, ou seja, separaram o zinco e enxofre inserindo bolhas de ar nos líquidos tendo um dos elementos sendo retirado da mistura. O fato dos íons de zinco, cobre e chumbo terem a sua solubilidade afetada pelo pH dos sistemas, os autores mostraram que a menor solubilidade desses metais está na faixa 9 a 10 seu pH e ela aumenta conforme o aumento do pH.

Com esse método foi realizado em pH alcalino, os íons de zinco, chumbo e cobre. E para ser realizado exige medidas de segurança para prevenir a geração de ácido sulfídrico (H₂S).

3.2.2. Proposta para recuperação do cobre contido na PCI

Guimarães (2014) desenvolveu um método para a recuperação do cobre realizando apenas uma etapa. O método utilizado foi obter o cobre através da eletrolíxiviação com eletrodeposição, ou seja, utilizou agentes fortes nesse caso o sulfato de cobre para realizar a separação do cobre fazendo o depósito do metal num eletrodo.

Esse método não teve um gasto elevado, não gerou poluentes gasosos, obteve um cobre de alta pureza e podendo utilizar o chumbo e estanho como ligas de solda.

3.2.3. Proposta de reutilização do percloroeto de ferro utilizado na PCI

Costa (2016) desenvolveu um método de reaproveitamento do percloroeto de ferro após ser utilizado várias vezes para ser descartado ao meio ambiente utilizando uma grande quantidade água para diluir a solução. Seu método propõe uma redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado da solução tendo uma eficiência de aproximadamente de 95% na recuperação do ferro e 70% na recuperação do cobre. O método utilizado para a remoção do cobre foi a

precipitação, que significa utilização de substâncias químicas que reagem entre si e a oxidação do ferro (II) para o ferro (III).

O custo para realizar esse método foi mínimo se compararmos ao gasto que se teríamos para realizar o descarte de forma incorreta ao meio ambiente. Através desse método de recuperação do perclorato de ferro será proposto nesse trabalho.

3.3. MATERIAIS

3.3.1. Reagentes, vidrarias e equipamentos necessários.

Para realização do procedimento, lista-se os materiais abaixo, os quais foram divididos em: reagentes, vidrarias e equipamentos.

a) Reagentes

- Água destilada;
- Ácido Clorídrico (HCl) concentrado Synth;
- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) concentrado Synth;
- Peróxido de Hidrogênio 30% Synth;
- Solução Padrão de Cobre 1000 mg L⁻¹ Merck;
- Solução Padrão de Ferro 1000 mg L⁻¹ Merck;
- Solução Padrão de Zinco 1000 mg L⁻¹ Merck;
- Solução Padrão de Chumbo 1000 mg L⁻¹ Merck;
- Solução Tampão 4,0 Êxodo Científica;
- Solução Tampão 7,0 Êxodo Científica;
- Solução Tampão 10,0 Êxodo Científica;
- Sulfeto de Sódio Êxodo Científica;
- Hidróxido de Sódio Êxodo Científica.

b) Vidrarias e materiais

- Béqueres de tamanhos variados (50,100,150,200 mL);
- Provetas de tamanhos variados;
- Pipetas Pasteur;

- Pipetas automáticas
- Espátulas;
- Bastão de vidro;
- Barra magnética.

c) Equipamentos

- Phmetro digital;

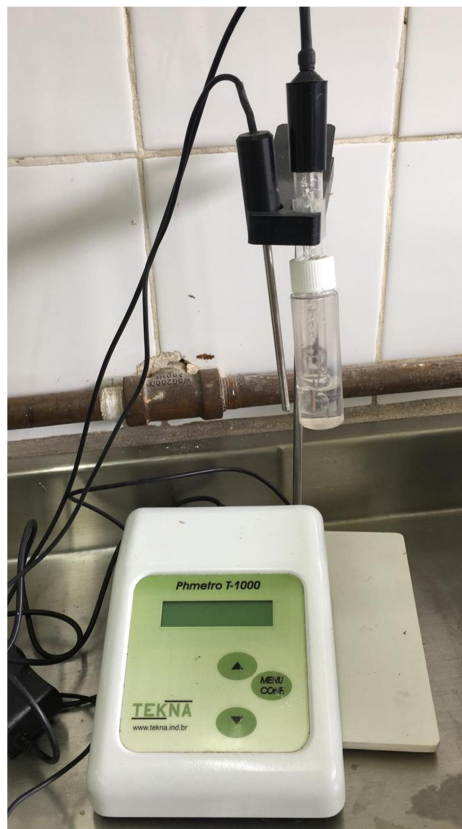


Figura 21: Phmetro digital
Fonte: Autora.

- Chapa aquecedora e agitador magnético;

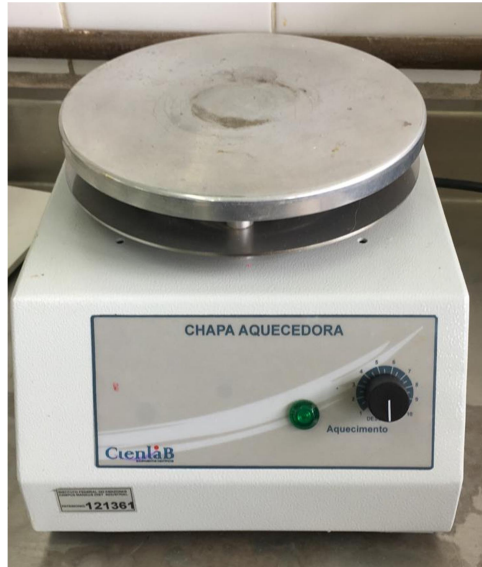


Figura 22: Chapa aquecedora.
Fonte: Autora.

- Agitador magnético;



Figura 23: Agitador magnético
Fonte: Autora.

- Espectrômetro de absorção atômica com chama;



Figura 24: Espectrômetro de absorção atômica com chama.
Fonte: Costa, 2016.

- Centrifuga.



Figura 25: Centrifuga
Fonte: Costa, 2016.

3.4. PROCEDIMENTO

A ideia é reutilizar o perclorato de ferro realizando a remoção do cobre por precipitação e a oxidação do ferro Fe^{2+} para Fe^{3+} .

Instruções

Adiciona-se peróxido de hidrogênio (H_2O_2) à solução, com objetivo de oxidação dos íons Fe^{+2} para Fe^{+3} .

Após, dar-se início ao ajuste do pH da solução para 3,0 com hidróxido de sódio (NaOH) 6 mol/L, sendo este ajuste realizado cautelosamente sob agitação mecânica.

Em seguida, deve-se aquecer o produto à 60 °C em uma chapa aquecedora por 90 (noventa) minutos.

Realizasse a centrifugação desta solução, com rotação de 2400 rpm durante 20 minutos em um rotor de 20 tubos x 15 mL.

3.4.1. Fluxograma das etapas do sistema

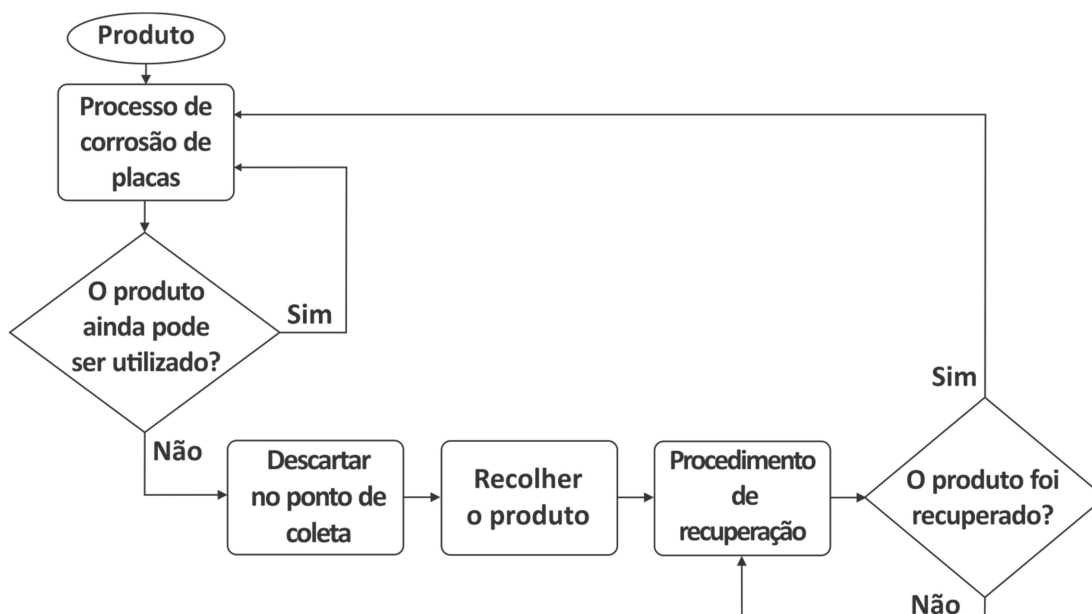


Figura 26: Fluxograma mostrando a sequência de etapas do sistema.
Fonte: Autora.

3.2. COMENTÁRIOS

Nesse processo de recuperação do percloroeto de ferro, obteve-se uma recuperação do ferro para 95% e o cobre de 70%.

Primeiramente vamos analisar o ponto de vista ambiental quando o percloroeto de ferro é diluído utilizando uma grande quantidade de água para poder se enquadrar nos requisitos legais do lançamento de efluentes. Para o descarte correto será necessário de aproximadamente 23000 litros de água. Segundo a ONU, o ser

humano necessita de aproximadamente 40 L de água por dia para beber, tomar banho, escovar os dentes, lavar as mãos, cozinhar, etc. Deste modo, utilizando esse processo de diluição do percloroeto estaríamos tirando o consumo de água de 575 pessoas, considerando o consumo de cada de 40 L. Portanto, a diluição do resíduo, por esse método acaba sendo ineficaz devido a grande quantidade de água a ser utilizada para a sua diluição.

Agora pensando sobre outro aspecto ambiental é o completo ciclo de vida do produto. O percloroeto terá todo o seu processo e ciclo completo. Ele será reutilizado, enquanto o cobre será recuperado através da separação eletroquímica, os sulfetos metálicos serão precipitados e o sobrenadante atendendo aos requisitos legais será descartado. Logo teremos uma diminuição do impacto ambiental e contaminação do meio ambiente no processo de fabricação das placas de circuito impresso.

Em termos econômicos terá um gasto semestral ou anual na compra dos reagentes em torno de R\$ 332,00 reais ao todo. A instituição precisaria comprar dois equipamentos que ainda não possui em seu laboratório de química para a realização do procedimento que seria o espectrômetro de absorção atômica com chama e a centrífuga. Em média por ano a instituição gasta 5 kg de percloroeto, sendo R\$ 47,00 reais o valor do quilo da solução. Se comprasse apenas 1kg da solução, o percloroeto não precisaria ser comprado, pois seria recuperado e utilizado novamente. O cobre trará um retorno de R\$ 2800,00 reais isso para 25 frascos mesmo para uma recuperação de 70% tem-se de produto 3150 mg.

Comparando a diluição do percloroeto com a recuperação do produto. Na diluição sempre estaremos comprando novamente a solução e utilizando uma grande quantidade de água, enquanto no método de recuperação teremos apenas um gasto mínimo na compra dos reagentes de acordo com a necessidade de cada produto.

4. CONCLUSÃO

Devido ao avanço tecnológico, o aumento de lixo eletrônico cresceu de uma forma abundante. Com isso cresceu-se junto à preocupação em preservar o meio ambiente. Empresas e instituições de ensino buscam ofertar soluções relacionadas com a minimização da quantidade de resíduos gerada, sejam eles resíduos sólidos ou líquidos e o seu descarte correto.

As Instituições de Ensino Superior tem como um dos pilares promover conhecimento a seus discentes e a formação dos cidadãos mais capacitados para tomada de decisão do futuro.

O estudo apresentado visou amenizar problemas encontrados com a grande quantidade de descarte realizada nas dependências do IFAM-CMDI. Buscou, além de evidenciar a importância de conscientizar os alunos da instituição, com relação às questões voltadas para a sustentabilidade ambiental, procurou também realizar um plano de descarte e reaproveitamento do produto.

O IFAM-CMDI não possui em suas dependências um método de reciclagem do percloroeto de ferro, o método utilizado é o da diluição dessa solução, porém não é considerado eficaz por levar consigo uma enorme quantidade de água para que a solução seja diluída e assim amenize o impacto gerado quando despejado.

Propor um método que busque amenizar o impacto causado no despejo da solução é o objetivo do trabalho e expandir esse método para outros campi, a fim de tornar conhecimento de todos.

Sugere-se para trabalhos futuros, que o sistema de descarte e recuperação do percloroeto de ferro, seja posto em prática. Mostrando os pontos econômicos e ambientais que esse método pode trazer a instituição e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALLOWAY, 1995. ALLOWAY, B.J. **Heavy Metals in soils**. 2th Edition. Black Academic& Professional, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004, segunda edição, de 31 de maio de 2004. **Resíduos sólidos – Classificação**.

Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Art. 6º Lei nº 12.305, Brasília, 2ª edição, p 13, 2012. Disponível em: < https://www.poli.usp.br/wp-content/uploads/2018/10/politica_residuos_solidos.pdf> Acesso em: 21 de abril de 2021.

BICALHO, B. C. **Técnica de soldagem de placas - PCI**. Disponível em: <http://www.handmades.com.br/forum/index.php?page=melhores_tecnicas> Acesso em: 13 de abril de 2021.

BRAGA, Newton C. **Como fazer placas de circuito impresso**. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos-educacionais/11144-como-fazer-placas-de-circuito-impresso-art2611.html>> Acesso em: 13 de abril de 2021.

BRAGA, Newton C. **Como fazer placas de circuito impresso**. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/205-p/7551-placas-de-circuito-impresso-alm345.html>> Acesso em: 21 de abril de 2021.

BRAGA, Newton C. **Como fazer placas de circuito impresso**. Disponível em: < <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos-educacionais/11144-como-fazer-placas-de-circuito-impresso-art2611.html> > Acesso em: 05 de maio de 2021.

BUNDE, Mateus. Lixo Eletrônico. **Todo Estudo**. Disponível em: <<https://www.todoestudo.com.br/biologia/lixo-eletronico.htm>> Acesso em: 13 de abril de 2021.

CASTAGNO, 2009; CASTAGNO, K.R.L.; SOUZA, E.E.H.; NOREMBERG, B.S. **Caracterização físico-química do efluente gerado na preparação de placas de circuito impresso**. 49º Congresso Brasileiro de Química, Porto Alegre, 04 a 08 de Outubro de 2009.

COELHO, 1990 apud PEREIRA, 2004, p. 12. PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica: causas e consequências**. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL) - Campus Pelotas, 2004.

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispões sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf> Acesso em: 9 de abril de 2019.

COSTA, R. **Placa arduíno - um arduíno feito em casa**. Disponível em: <<https://eletronicaparatodos.com/diy-placa-roduino-um-arduino-feito-em-casa/>> Acesso em: 13 de maio de 2021.

DOYLE, 2007 *apud* NATUME & SANT' ANNA, 2011. NATUME R. Y. A., SANT'ANNA F. S. P. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 3rd International Workshop Advances in Clean Production. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanproduction.net/third/files/sessoes/5B/6/Natume_RY%20-%20Paper%20-%205B6.pdf> Acesso em: 14 de janeiro de 2020.

EOS CONSTRUTORES. **Como funciona o tratamento de resíduos sólidos no Brasil**. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/tratamento-de-residuos-solidos-no-brasil/>> Acesso em: 18 de abril de 2021.

FAVERA, E.C.D. **Lixo eletrônico e a sociedade**. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<http://www-usr.inf.ufsm.br/~favera/elc1020/t1/artigo-elc1020.pdf>> Acesso em: 13 de abril de 2021.

FRANKEL & BAZYLINSKI 2003 *apud* KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007). Gerbase, A. E.; Oliveira, C. R.; *Quim. Nova* **2012**, 35, 1486.

GUIMARÃES, YURI. **Recuperação do cobre contido em placas de circuito impresso**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11917/1/monopoli10009356.pdf>> Acesso em: 12 de maio de 2021.

HENRIQUE JÚNIOR, S.S.; MOURA, F.P.; CORREA, R.S.; AFONSO, J.C. Processamento de placas de circuito impresso de equipamentos eletroeletrônicos de pequeno porte. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 570-576, 2013.

ICLEI RESÍDUOS. Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=349.htm> Acesso em 16 de maio de 2019

JACOBI & BESEN, 2011. JACOBI, P. R.; BESEN G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**, 2011.

KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007; KABATA-PENDIAS A.; MUKHERJEE A. B. **Trace Elements from Soil to Human**. Springer, 2007.

KUCHAR Sulfidation of zinc plating sludge with Na₂S for zinc resource recovery. **ELSEVIER ScienceDirect**. 67, p. 1518 – 1525, 2006.

KUCHAR 2007 - Sulfidation treatment of molten incineration fly ashes with Na₂S for zinc, lead and copper resource recovery. **ELSEVIER Journal of Hazardous Materials** B137, p. 185 – 191, 2007.

LOPES, P. G.; POHLMANN, A. R. Projeto Multidisciplinar: **Desenhos orgânicos em placas de circuito impresso**. In: Salão UFRGS 2014: SIC - XXVI SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS. Porto Alegre, 2014.

LE MOS, Manoel. **Como fazer suas próprias placas de circuito impresso**. Disponível em:<<https://blog.fazedores.com/como-fazer-suas-proprias-pcbs-placas-de-circuito-impresso/>> Acesso em: 06 de maio de 2021.

MARQUES, A. C., CABRERA, J. M., Malfatti, C. F., "Printed Circuit Boards: A Review on the Perspective of Sustainability", **Journal of Environmental Management** v. 131, pp. 298-306, 2013.

MCBRIDE 1981& ALLOWAY 1995 apud KABATA-PENDIAS & MUKHERJEE, 2007, p. 260.

MEHL, E. L. de Mattos. **Projeto de Placas de Circuito Impresso com o Software EAGLE - 1ª PARTE: Conceitos Fundamentais Sobre Placas de Circuito Impresso (PCI)**, Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/pci/pci.html>>. Acessado em: 08 de abril de 2020.

MICROPRESS. **Circuitos impressos**. Disponível em: <<http://www.micropress.com.br/>>. Acessado em: 08 de abril de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política nacional de resíduos sólidos**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos.html>> Acesso em 15 de maio de 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resíduos sólidos**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos.html>> Acesso em 15 de maio de 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Lixo eletrônico representa crescente risco ao meio ambiente e à saúde humana, diz relatório da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/lixo-eletronico-representa-crescente-risco-ao-meio-ambiente-e-a-saude-humana-diz-relatorio-da-onu/.htm>> Acesso em 15 de maio de 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Mundo produzirá 120 milhões de toneladas de lixo eletrônico por ano até 2050**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/mundo-produzira-120-milhoes-de-toneladas-de-lixo-eletronico-por-ano-ate-2050-diz-relatorio/.htm>> Acesso em: 14 de maio de 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Brasil produziu 1,4 milhão de toneladas de resíduos eletrônicos em 2014**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/69560-brasil-produziu-14-milhao-de-toneladas-de-residuos-eletronicos-em-2014-afirma-novo-relatorio>> Acesso em: 18 de abril de 2021.

NATUME R. Y. A., SANT'ANNA F. S. P. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 3rd International Workshop Advances in Clean Production. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5B/6/Natume_RY%20-%20Paper%20-%205B6.pdf> Acesso em 4 de fevereiro de 2020.

NOSSA CIÊNCIA. **ONU alerta para o risco do lixo eletrônico**. Disponível em: <<https://nossaciencia.com.br/noticias/onu-alerta-para-o-risco-do-lixo-eletronico/>> Acesso em: 13 de abril de 2021.

NOSSA CIÊNCIA. **O destino do lixo eletrônico**. Disponível em: <<https://nossaciencia.com.br/noticias/o-destino-do-lixo-eletronico/>> Acesso em: 18 de abril de 2021.

OLIVEIRA, D.S. **Sustentabilidade na cadeia de rejeitos**. Estudo de verificação da cadeias de rejeitos no mercado de telefonia móvel do Brasil. 2010. 93f. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário, Curitiba, 2010.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica**: causas e consequências. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL) - Campus Pelotas, 2004.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 12.305/10**. Institui a política nacional de resíduos sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm> 15 de maio de 2019.

QUIMICLOR, Produtos químicos. **Especificação técnica**. Disponível em: <http://www.quimiclor.com.br/produtos/pdf/espec2_2.pdf.htm> Acesso em: 6 de fevereiro de 2020

QUIMICLOR, Produtos químicos. **Ficha de informações de segurança de produto químico**. Disponível em: <http://www.quimiclor.com.br/produtos/pdf/fispq2_2.pdf> Acesso em: 6 de fevereiro de 2020

QUIMICLOR, Produtos químicos. **Produtos para tratamento de água**. Disponível em: <<http://www.quimiclor.com.br/index.php/category/produtos/tratamento-de-agua/.htm>> Acesso em: 6 de fevereiro de 2020.

RESIMAPI PRODUTOS QUÍMICOS LTDA., 2011; RESIMAPI PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. **FISPQ, Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico**. São Paulo: percloreto de ferro, 2011.

RIBEIRO, P. P. M., GUIMARÃES, Y. F., SANTOS, I. D., DUTRA, A. J. B., “Concentração de Metais Contidos em Placas de Circuito Impresso”. **67TH Abm International Congress**, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

SILVA, B.D; OLIVEIRA, F.C; MARTINS, D.L. **Resíduos eletroeletrônicos no Brasil**. 2007. Disponível em: <http://lixoeletronico.org/system/files/lixoeletronico_02.pdf>. Acesso em: 18 abril de 2021.

TAMBORES ARARAS, **Tambor de plástico 200 litros**. Disponível em: <<https://www.tamboresararas.com.br/>> Acesso em: 6 de janeiro de 2020.

TECHTUDO. **Brasil é o líder de produção de lixo eletrônico na América Latina**. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/09/brasil-e-o-lider-de-producao-de-lixo-eletronico-na-america-latina.ghtml.htm>> Acesso em: 15 de maio de 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA- UFSC. **Resíduos eletroeletrônicos**. Disponível em: <<https://gestaoderesiduos.ufsc.br/residuos-eletroeletronicos/.htm>> Acesso em: 6 de janeiro de 2020.

VGRESÍDUOS. **O que são resíduos sólidos**. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-solidos-o-que-sao-legislacao-a-respeito-e-como-destinar-e-tratar-corretamente/.htm>> Acesso em 15 de maio de 2019.

VOGEL, 1981; VOGEL A. I. **Química Analítica Qualitativa**. Mestre Jou, 1981.

YAZICI, E. Y., DEVECI, H., "Recovery of Metals from E-wastes", **Journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey** v. 48, n. 3, pp. 3-18, 2009.

YAZICI, E. Y., DEVECI, H., ALP, I., AKCIL, A., YAZICI, R., "Characterization of Computer Printed Circuit Boards for Hazardous Properties and Beneficiation Studies", In: **International Mineral Processing Congress** v. 25, pp. 4009-4015, Brisbane, Australia, 2010.

ZAMBON, M., **Projeto coleta óleo e evita poluição de 133 milhões de litros de água em Birigui**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.hojemais.com.br/aracatuba/noticia/cotidiano/projeto-coleta-oleo-e-evita-poluicao-de-133-milhoes-de-litros-de-agua-em-birigui>> Acesso em: 6 de janeiro de 2020.