

Artigo Técnico

Reciclagem ecológica de placas de circuito impresso

*Ecological recycling of
printed circuit boards*

Luiz Francisco dos Santos Neto^a,
Silas Derenzo^{bc*}

^a Mestrado em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil

^b Docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais

^c Laboratório de Bionanomanufatura, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

*e-mail: derenzo@ipt.br

Palavras-chave: reciclagem; resíduo; eletroeletrônico; sustentabilidade.

Keywords: recycling; residue; electronics; sustainability.

Resumo

Em função da alta velocidade de obsolescência atual dos equipamentos eletrônicos, é gerado um grande volume de resíduos eletrônicos, sendo que a maior parte é descartada inadequadamente, incluindo milhões de placas fenólicas eletrônicas. A China e os Estados Unidos lideram a produção desses resíduos, ficando o Brasil na sexta posição, com mais de 4 milhões de toneladas anuais. Grande parte destas placas são queimadas visando a recuperação de metais, sendo a maioria a céu aberto. Estas placas contêm substâncias retardadoras de chamas, sendo resistentes ao calor e por isso, ao serem incineradas, liberam gases altamente tóxicos. Assim toda e qualquer contribuição ao reuso das placas pode se tornar um caminho aberto para mitigar o problema. Neste trabalho apresenta-se um processo de reciclagem alternativo, onde se desmontam os componentes da placa, reaproveita-se a própria placa, e os componentes que foram separados da placa são vendidos para reciclagem e recuperação dos metais para empresas especializadas. Foram avaliados os processos hidrometalúrgicos e de termodesmontagem das placas. O primeiro utiliza um ataque com ácido para soltar os elementos das placas por períodos entre 2 e 6 horas. Este processo revelou-se inadequado por exigir em geral dois ataques consecutivos para soltar as peças, gerando uma mistura contendo sais metálicos que exigem tratamento posterior. A desmontagem termomecânica utilizada neste artigo é mais simples e utiliza um forno no qual foi adaptado um suporte especial, onde a placa eletrônica é colocada com os componentes voltados para baixo, a 180 °C (que é o ponto de fusão da solda de estanho) e os componentes começam a se soltar lentamente. No entanto, se a temperatura subir acima de 210 °C, os componentes são facilmente liberados. A placa fenólica livre pode então ser reutilizada para fazer outros objetos. No caso deste trabalho, foram feitos cadernos e chaveiros, que são peças de design futurista, de grande aceitação no mercado.

Abstract

Due to the current high obsolescence velocity of electronic equipment, a large volume of electronic waste is generated, most of which is disposed inappropriately, including millions of electronic phenolic boards. China and the United States lead the production of these residues, with Brazil in sixth position, with more than 4 million tons per year. Most of these slabs are burned for the recovery of metals, most of them in the open air. These boards contain flame-retardant substances, being resistant to heat and therefore when incinerated release highly toxic gases. Thus, any and all contributions to the reuse

of these boards can become an open path to mitigate the problem. This work presents an alternative recycling process, where the components of the board are disassembled, the board itself is reused and the components that were separated from the board are sold for recycling and recovery of metals by specialized companies. The hydrometallurgical and thermodisassembly processes of the plates were evaluated. The first uses an acid etch to loosen the elements from the plates for periods between 2 and 6 hours. This process proved to be inadequate because it generally required two consecutive attacks to loosen the parts, generating a mixture containing metal salts that require further treatment. The thermo-mechanical disassembly used in this article is simpler and uses an oven in which a special support has been adapted, where the electronic plate is placed with the components facing down, at 180 °C (which is the melting point of the tin weld) and the components begin to loosen slowly. However, if the temperature rises above 210 °C the components are easily released. The free phenolic plate can then be reused to make other objects. In the case of this work, notebooks and keychains were made, which are pieces of futuristic design, of great acceptance in the market.

1 Introdução: Os Fundamentos e a Natureza do Problema

A sociedade depende cada vez mais de produtos eletrônicos no seu dia a dia. Em paralelo, observa-se o aumento da obsolescência desses produtos como fruto do desenvolvimento tecnológico da indústria (HINZ E AOKI, 2013). O consumo descontrolado, segundo alguns autores (BAUMAM, 2021; HARARI, 2018; HOBBSAWN, 2012), acarreta o esgotamento de recursos em certos lugares, e podem causar mudanças climáticas.

Como resultado, houve um incremento significativo na produção de resíduos eletrônicos. Estima-se que o volume de resíduo eletrônico global deverá alcançar 120 milhões de toneladas por volta do ano 2050, sendo quase 300% maior que em 2017 (PACE, 2019), tornando-se, assim, um dos maiores problemas da sociedade atual (Hinchliffe et al. 2020)

Em função da gravidade do problema, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou um programa só para medir a quantidade de resíduo eletrônico no mundo, o 'Global e-waste monitor'. Segundo o E-Waste Monitor, (BALDÉ et al. 2017), os três maiores geradores de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEs) são China, Estados

Unidos e Japão. O Brasil ocupa a sexta posição mundial, gerando anualmente mais de 4 milhões de toneladas deste resíduo.

Diversas leis e normas regulam o destino do resíduo eletrônico e abrangem leis estaduais, nacionais e normas internacionais, sendo as diretivas europeias - WEEE (EUROPEAN PARLIAMENT, 2012) as mais rígidas, regulando o descarte de resíduos eletrônicos de uma variedade enorme de equipamentos e por isso são referência para o mundo. No Brasil a legislação foi promulgada em 2010 através da Política Nacional de Resíduos Sólidos -PNRS (BRASIL, 2010), que prevê a destinação correta e as regras para o reaproveitamento e reciclagem de resíduos eletrônicos. Segundo o artigo 33 da PNRS as empresas geradoras de resíduos eletrônicos devem desenvolver estratégias, criar políticas, postos de coleta e por meio de divulgação nos meios de comunicação, incentivar os consumidores a irem aos postos de coleta para que os produtos voltem para as empresas após o uso final pelos clientes, como celulares, computadores, tablets e notebooks entre outros.

Apesar de toda a legislação, a maioria das placas de circuito eletrônicos descartadas no mundo não são adequadamente recicladas e, quando o são, utilizam o processo de pirólise com a intenção de recuperar os metais contidos no interior do resíduo eletrônico. Esta é uma prática que pode liberar gases tóxicos na atmosfera se for realizada pela queima a céu aberto, prática comum na China e Índia, sendo que também ocorrem no Brasil e nos EUA. O envio indevido desses resíduos aos aterros contamina o solo e as águas (McCANN e WITTIMANN, 2015, p. 47,48; KAWAMOTO e FIORATI, 2019; SPITZBART *et al.* 2016; UNEP, 2019).

Os resíduos eletrônicos são os próprios aparelhos eletrônicos e suas partes (como as baterias), que são descartados quando param de funcionar, ou até mesmo quando estão funcionando, registra a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2019). Importante ressaltar que este artigo não trata de reciclagem de baterias, estas são destinadas a empresas especializadas.

O termo “Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico”, (REEE) ou apenas resíduos eletrônicos (ABDI, 2019) é utilizado por se considerar que resíduo se difere do lixo, pois o resíduo ainda tem valor para reciclagem, enquanto o lixo seria um rejeito a ser disposto em aterros ou outra disposição adequada. (CALDERONI, 1996, *apud* MAGERA, 2012, p. 58)

No relatório “*Global E-Waste Monitor*” de 2020, Forti *et al.* (2020 p.23) relatam que o percentual de reciclagem é muito baixo, apenas 17,4 % do resíduo eletrônico mundial

foi corretamente reciclado. O restante foi exportado a países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. segundo estudo da Organização Internacional do Trabalho e a ONU (OIT, 2012 *apud*. LETRA, 2013).

Segundo Hinchliffe *et al.* (2020, p.15), na Índia os métodos informais de reciclagem chegam a 95% de todos os processos de reciclagem de eletrônicos do país. As práticas são rudimentares, sendo o aterro em lixões e a queima a céu aberto, com o objetivo de recuperar os metais presentes nas placas, as principais (SOBRINHO *et al.* 2019, p. 2; BALDÉ *et al.* 2017 pg. 4; McCANN e WITTIMANN, 2015, p. 47,48; HINCHLIFFE *et al.* 2020 p.4; RODRIGUES, 2012 p.23; SPITZBART, *et al.* 2016 p. 4; MARS *et al.* 2014, p.14 -28).

Sepulveda *et al.* (2010 p. 6 e p.11) salientam que, ao incinerar as placas PCI'S, placas fenólicas e poliméricas dos REEs, ocorre a liberação de toxinas, sendo que pelo ar as toxinas se espalham mais rápido e podem contaminar uma região inteira. A combustão de retardadores de chamas poli-bromados presentes libera p-dioxinas e furanos, entre muitos outros compostos tóxicos (McCANN e WITTIMANN, 2015, p. 47,49,56; SEPULVEDA *et al.* 2010 p. 6; PACE, p.13, 2019; EPA, 2022; EPA, 2021, ATSDR, 2021). A inalação dessas toxinas pode causar câncer e diversos tipos de doenças, conforme registram também as agências americanas “*Environmental Protection Agency*” (EPA, 2022) “*Agency for Toxicity Substances and Disease Registry*” (ATSDR, 2021).

Diante deste cenário, um dos principais desafios da sociedade é a busca por novos processos. Reciclar de forma correta os resíduos eletrônicos é também uma oportunidade para empreendedores verdes criarem empregos verdes, e gerar renda (Oliveira e Martins, 2018 Spitzbart *et al.*, 2016, Rodrigues; 2012). Reciclar, além de ser benéfico ao meio ambiente, é uma forma de incentivar a economia circular, de reaproveitar metais, plásticos e outros materiais valiosos, conduzindo-os de volta pra cadeia de produção.

Os cinco processos de reciclagem encontrados na literatura são focados na recuperação dos metais presentes. Pouca atenção se dá no reuso das placas de circuitos. São eles:

PIROMETALURGIA - Veith (2005) discorre com propriedade sobre pirometalurgia que é um processo de separação de metais dos plásticos e demais materiais após a queima (pirólise, incineração, fundição em diversos tipos de fornos como em forno de arco elétrico ou em alto-forno). Apresenta um elevado consumo de energia, Argumentam e completam Cui e Zhang (2008), sendo que esta é a metodologia principal tradicional para a reciclagem de placas de circuito impresso, sendo corroborada por Park e Fray (2009) como a tecnologia mais tradicional para a recuperação de metais que não sejam ferrosos e metais que sejam preciosos de placas de circuito impresso e outros eletrônicos.(VEITH, 2008).

HIDROMETALURGIA – É um processo de recuperação de metais por reações de dissolução do material em soluções lixiviantes, ácidas ou alcalinas (Kasper, 2011). Assim, os processamentos hidrometalúrgicos são processos que envolvem a interface líquido/sólido. Em geral, ocorre a lixiviação da sucata pelo agente lixivante, que pode ser ácido ou alcalino com a consequente dissolução dos metais (OLIVEIRA, 2010).

ELETROMETALURGIA - O processamento eletrometalúrgico é uma operação de refinação para se obter o metal puro ao final da reciclagem. A partir de eletrólitos aquosos ou sais fundidos é implementado o processo eletroquímico (VEIT, 2005). Ou seja, a eletrometalurgia é realizada após a hidrometalurgia. De acordo com Oliveira (2010), a eletro-obtenção consiste na eletrólise (com ânodo insolúvel, inerte) de uma solução aquosa de um sal de metal (sulfato, cloreto, etc.), obtida por extração do solvente ou lixiviação do minério ou concentrado. A eletrometalurgia possui uma alta gama de aplicações que variam da microeletrônica à recuperação de metais e revestimentos. Atualmente, a maior parte do cobre, do ouro, do níquel e do zinco é processada, recuperada, ou refinada por este processo.

BIOMETALURGIA - Segundo Oliveira (2012) a biometalurgia é uma técnica que utiliza interações entre os micro-organismos e minerais para recuperar metais valiosos. Com base nos processos biológicos tem sido possível recuperar, por exemplo, alumínio, cobre, níquel, e, principalmente ouro. Para realizar a biolixiviação dos metais contidos nos rejeitos eletrônicos, o processo é dividido em duas etapas: os organismos são cultivados na ausência de sucata eletrônica e, posteriormente sucata eletrônica é adicionada, em diferentes concentrações aos micro-organismos formados para solubilização de metais. Apesar do baixo custo, é um processo lento e necessita que o metal esteja em uma forma que fique exposto para o possível ataque biológico (OLIVEIRA, 2012). Na sucata eletrônica na maioria das vezes os metais não estão expostos ao ataque microbiano, o que dificulta o uso desta técnica.

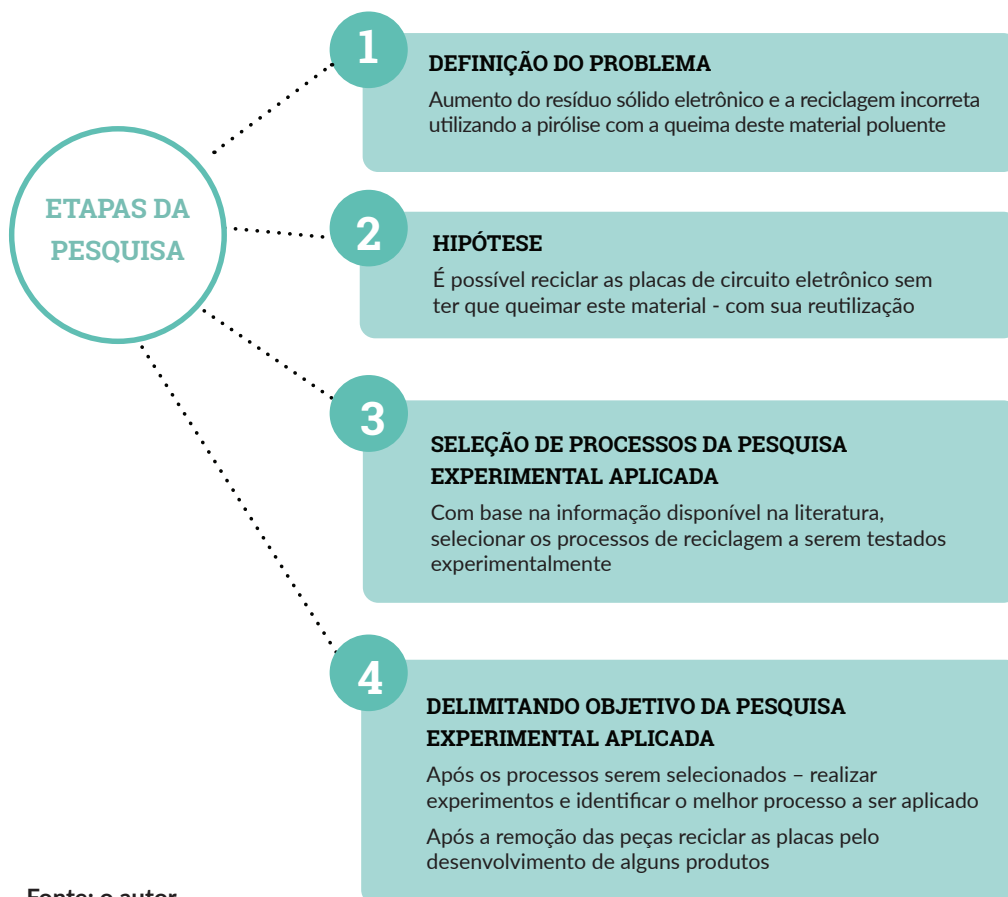
DESMONTAGEM MECÂNICA E TERMODESMONTAGEM - A tecnologia de junção está relacionada com o modo como os componentes são conectados ao substrato ou placa de resina. Engloba dois aspectos: a tecnologia de solda e os encaixes mecânicos, como os encaixes para pentes de memória RAM (BRANDSTOTTER, *et al.* 2004). O primeiro aspecto envolve informações sobre a liga de solda, principalmente quanto à sua composição e temperatura de fusão. Nos equipamentos fabricados a partir do ano 2000, a solda contém apenas estanho (não contém chumbo), e o estanho tem ponto de fusão baixo, cerca 183 ° graus Celsius. Quanto ao segundo aspecto, a desmontagem de fixações mecânicas, como encaixes, permite uma separação muito rápida e fácil, em função da forma como são presos os pentes de memória. Segundo Rubin (2013),

após a remoção das partes encaixadas, procede-se à centrifugação das placas com os componentes virados para baixo, para que possam sofrer ação da gravidade e a solda virada para cima, em uma centrífuga aquecida a 210° graus Celsius (**FIGURA 13**). Enquanto a solda se liquefaz, os componentes vão se soltando, assim sendo se separando da placa de circuito eletrônico.

2 Procedimento Metodológico

Como o método piro metalúrgico gera gases que devem ser tratados, o que encarece o processo, optou-se por avaliar, com base na literatura, quais outros métodos poderiam ser aplicados para se realizar a reciclagem das placas. O desenvolvimento seguiu as etapas conforme **FIGURA 1**:

Figura 1 - Etapas da pesquisa



Fonte: o autor

Considerando-se que a eletrometalurgia é um processo de recuperação dos metais que só pode ser realizado após o ataque químico, ou seja, após o processo hidro metalúrgico, o mesmo foi descartado. Também o processo biotecnológico de recuperação de metais foi desconsiderado em função de dois fatores limitantes: o processo é lento e exige que o metal deva estar em uma forma que fique exposto para o possível ataque biológico, gerando assim muitas incertezas para o desenvolvimento em curto prazo.

Dessa forma, foram selecionados para estudo o processo hidro metalúrgico e o processo de desmontagem mecânica e termodesmontagem.

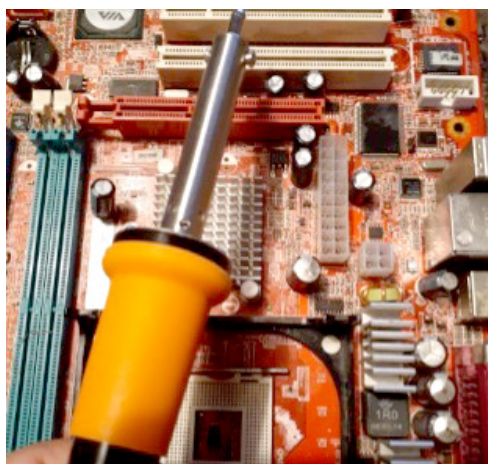
2.1 Processo Metalúrgico

No processo hidro metalúrgico para a separação da placa em seus componentes soldados, utilizou-se ácido clorídrico, na concentração 33%. Para tanto foi utilizado o produto comercial Marca Renko. Para a imersão das placas.

2.2 Desmontagem Mecânica

No processo de desmontagem mecânica utilizou-se um ferro de solda. Neste processo os componentes soldados na placa eram retirados um por um (ver FIGURA 2).

Figura 2 - Ferro de solda e placa de circuito impresso



Fonte: o autor

2.3 Desmontagem Termomecânica

O desenvolvimento foi baseado no trabalho de Rubin (2013), em que as placas foram aquecidas a uma temperatura superior ao ponto de fusão do estanho, que é 183 °C em uma centrífuga desenvolvida especialmente para este fim, de modo que as peças que se soltassem e fossem removidas da placa por ação da força centrífuga.

No presente trabalho optou-se por utilizar uma estufa de aquecimento simples. O aquecimento foi realizado em uma estufa da marca ICAMO, modelo ST 200, capaz de operar a até 320°C. Neste processo foi desenvolvido um suporte feito especialmente para este fim, de modo a poder encaixar a placa suspensa pelas bordas com as peças viradas para baixo (ver **FIGURA 3**), permitindo que caíssem pela ação da gravidade quando soltas.

A partir das placas sem seus componentes foi possível se desenvolver alguns produtos, como será visto mais adiante.

Figura 3- Placa suspensa pelas bordas acomodada no interior da estufa



Fonte: o autor

3 Resultados e Discussão

3.1 Processo hidrometalúrgico

A placa de circuito impresso foi mergulhada em uma bandeja contendo o ácido, como mostram as FIGURAS 4 (a) e (b), permanecendo por um período mínimo de duas horas, podendo ficar até 6 horas. Após a imersão da placa por algumas horas, ao retirá-la da solução ácida, a mesma era lavada. Os componentes se soltam da placa suavemente ao simples puxar com a mão.

Figura 4- Placa recém-mergulhada em solução de ácido clorídrico



a) Placa recém mergulhada em solução de HCL



b) Ácido clorídrico corroendo a solda após alguns minutos

Fonte: o autor

O ataque hidrometalúrgico pode a princípio ser utilizado, porém a placa não fica totalmente livre dos componentes, de modo que o processo tem que ser repetido para a completa remoção das peças. Embora simples, o processo é lento, necessitando de no mínimo duas imersões, envolvendo riscos de acidentes na manipulação, antes de se poder remover os componentes eletrônicos da placa. A **FIGURA 5** apresenta exemplos de capacitores removidos da placa pela ação do ácido.

Figura 5: Capacitores soltos da placa pela ação do ácido



Fonte: o autor

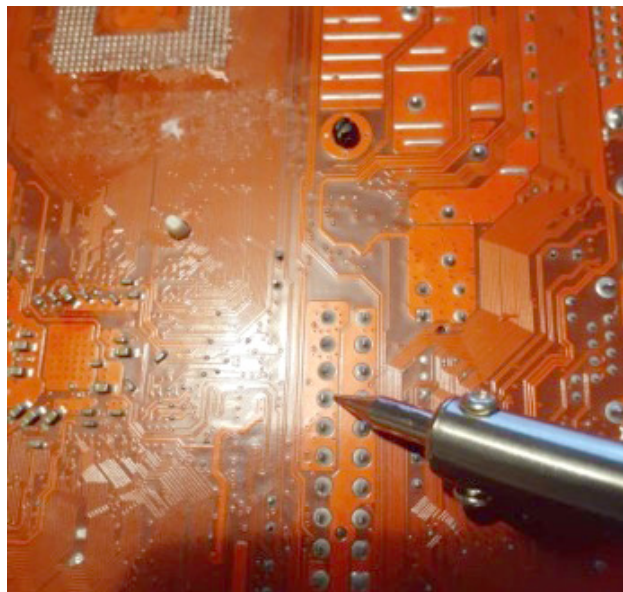
Este processo gera uma solução ácida contendo uma mistura de cloretos dos metais presentes, exigindo um tratamento mais complexo para a recuperação dos metais presentes e o descarte adequado dos seus resíduos. Assim, o processo foi abandonado.

3.2 Processo Termomecânico utilizando Ferro de Solda

O processo de remoção das peças presentes na placa utilizando um ferro de solda permite retirar todas as peças, que podem ser enviadas à reciclagem. A **FIGURA 6** apresenta um momento de remoção na qual a placa ainda está com algumas peças soldadas.

Este processo é ambientalmente mais adequado do que o da remoção de peças com ácido. No entanto, o processo de remoção de peças uma a uma é muito lento e para limpar uma placa é preciso trabalhar cerca de 12 horas, ou seja, mais de um dia útil. Este fato inviabiliza o seu uso.

Figura 6 - Ferro de solda soltando item por item



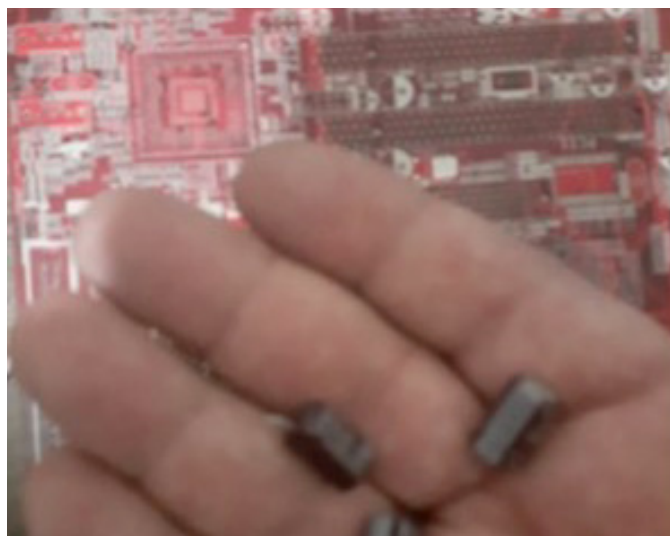
Fonte: o autor

3.3 Processo Termomecânico utilizando Estufa

Como indicado por Rubin (2013), a temperatura mínima para a fusão do estanho de solda é de 183 °C., no entanto, nesta temperatura nem todas as peças da placa se soltam facilmente, devido a irregularidades no aquecimento de todo o corpo. Assim, a temperatura de tratamento térmico foi aumentada paulatinamente até se obter uma condição adequada de operação, encontrando-se na prática, que é necessário se aquecer a 210° graus Celsius para que o estanho se torne totalmente liquefeito e estando a placa com os componentes virados para baixo, estes se desprendam e caíam pela ação da gravidade.

O estanho é retirado da placa com uma espátula enquanto está liquefeito e é colocado em um recipiente separado para que seja destinado a empresas de reciclagem. Essas condições permitem que o processo seja bastante rápido, demandando cerca de 5 minutos para poder retirar a placa da estufa. A **FIGURA 7** apresenta os componentes desprendidos da placa e a **FIGURA 8** apresenta a placa limpa, pronta para ser processada para ser utilizada como capa de cadernos, cadernetas, etc.

Figura 7 - Componentes desprendidos da placa



a) amostra

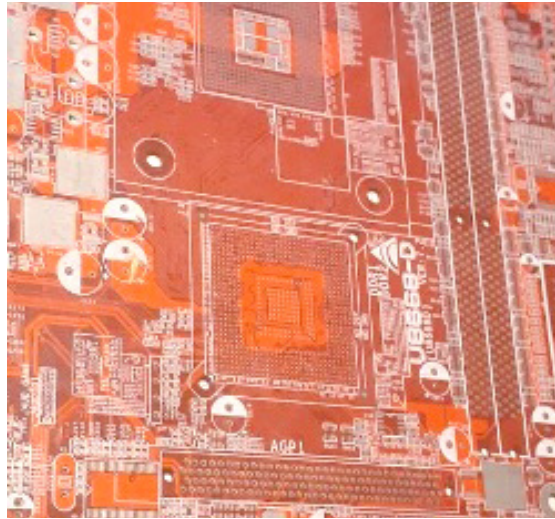


b) todas as peças removidas

Fonte: o autor

Os metais que estão nas placas de circuito impresso estão encapsulados no interior dos componentes eletrônicos, necessitando de uma reciclagem específica. Esses componentes são vendidos a empresas de reciclagem especializada na reciclagem de materiais eletrônicos sucateados.

Figura 8 - Placa livre, sem os componentes eletrônicos



Fonte: o autor

As placas limpas podem então ser utilizadas para confeccionar as peças comercializáveis, como cadernos, blocos de notas, chaveiros. Neste trabalho a placa foi usada para fabricar cadernos e uma linha de produção foi desenvolvida para manufaturar os cadernos e cadernetas em série (FIGURA 9), evitando a combustão das mesmas.

Figura 9 – caderno feito com placa de circuito impresso



Fonte: o autor

O processo de fabricação de chaveiros é mais simples. Os chaveiros (**FIGURA 10**) utilizam a placa contendo a memória RAM, que é cortada, furada e recebem a argola de chaveiro.

Figura 10: Chaveiro feito de pente de memória RAM



Fonte: o autor

Assim, foram criados até o momento três produtos que utilizam as placas de fenolite, em novos produtos, reciclando-as de modo a evitar que as mesmas sejam incineradas. Embora o alcance do projeto em relação ao volume de placas descartadas seja muito pequeno, ele é uma contribuição a sua reutilização.

Outro fato curioso é que como é um produto de design eco-sustentável, tem um apelo comercial forte junto ao público ligado ao meio ambiente, que paga para contribuir e ampliar a reciclagem.

Com isso, até o momento foram comercializados mais de mil chaveiros feitos de pente de memória RAM. Destaca-se também a aquisição de 100 cadernos em 2015 realizado por uma empresa de informática como brinde de final de ano.

Tanto o caderno grande quanto a caderneta são reaproveitáveis, uma vez que após o uso as folhas podem ser substituídas pelo proprietário, utilizando a mesma capa.

4 Conclusão

A literatura apontou cinco métodos de reciclagem dos resíduos eletrônicos, sendo que o objetivo da maioria deles é a recuperação dos metais. Pouco se fala do uso dos polímeros contidos nas placas.

Dos três processos estudados o hidrometalúrgico foi descartado por gerar um resíduo contendo cloretos de vários metais numa mesma solução, o que requer um processo mais trabalhoso para recuperar os metais individualmente e ainda exigir um tratamento final dos resíduos.

O processo de desmontagem com ferro de solda foi descartado, pois, embora eficiente, é lento e trabalhoso, demandando cerca de 12 horas para remover as peças das placas, evidenciando assim uma baixa produtividade.

A desmontagem termomecânica baseada num processo de centrifugação a quente foi adaptada neste trabalho para uma forma mais simples de remoção das peças. Nela coloca-se a placa de circuito eletrônico com as peças viradas para baixo em um suporte especial dentro de uma estufa e procede-se o aquecimento da mesma. Constatou-se que trabalhando a uma temperatura acima do ponto de fusão do estanho é possível soltar os componentes da placa e que operando a 210 °C são necessários apenas 5 minutos para que os componentes se soltem das placas, sendo coletados numa bandeja. Os componentes são então direcionados a um reciclador especializado na recuperação dos metais.

Após raspagem dos resíduos de estanho, as placas foram limpas e, diferentemente da maioria dos casos de reciclagem, as mesmas foram utilizadas como capas de cadernos, cadernetas e chaveiros, abrindo um novo campo de reutilização das mesmas, com uma nova função.

Embora não resolva o problema dos resíduos de componentes eletrônicos devido ao volume de material a ser reutilizado, esta é uma contribuição que poderá resultar em novas aplicações para as placas de circuito eletrônico, evitando a sua queima poluente. Por exemplo, além de serem aplicados na confecção de chaveiros, cadernetas se está pesquisando fabricar displays porta cartões de visita entre outros utensílios em estudo.

5 Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - ABDI Disponível em: <http://www.abdi.com.br>. Acesso em: 04 jan. 2019.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - (ATSDR). **Consulta home Page: PBDEs Poly brominated Diphenyl Ethers**. Disponível em: <<https://www.n.cdc.gov/TSP/substances/ToxSubstance.aspx?toxid=183>>. Acesso em: 15 Jan. 2022.

BALDÉ, C. P.; FORTI V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor** – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. 2017. Disponível em: <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/GlobalEwaste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf > acesso em 20 jan 2022.

BAUMAN, Z. **Modernidade líquida: Nova Edição**. Rio de Janeiro, Ed. Zahar, 2021.

BRANDSTOTTER, M. **Case study of a printed–wire–board concerning (re-design for environment)**. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, v. 27,n. 1, p. 26–32, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS. **Diário Oficial da União**: seção I, Brasília, DF, 2010. 03/08/ 2010.

CUI, J., ZHANG, L. (2008). **Metallurgical recovery of metals from electronwaste: A review**. Journal of Hazardous Materials. 2008

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Consulta home Page: What is Dioxin?** 2021. Disponível em: <<https://www.epa.gov/dioxin/learn-about-dioxin#caa>> Acesso em: 15 fev 2022.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Consulta home Page: Backyard-Burning**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/dioxin/dioxins-produced-backyard-burning>>. Acesso em: 10 fev 2022.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Consulta home Page: PBDE Penta BDE Penta bromo diphenyl ethers**. 2022. Disponível em: <<https://www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/polybrominated-diphenyl-ethers-pbdes#concern>> Acesso em: 15/01/2022

EUROPEAN PARLAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION - EPCEU. European Directive WEEE 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012. **Official Journal of the European Union**, L197/38. 2012.

FORTI, V., BALDÉ, C.P., KUEHR, R., BEL, G. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities**, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/ United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. 2020. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITUDE/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf>. Acesso em 15 fev. 2019.

HARARI, Y. **21 lições Para o Século 21**. Ed. Companhia das Letras, 2018.

HINCHLIFFE, D.; GUNSILIUS, E.; WAGNER, M.; HEMKHAUS, M.; BATTEIGER, A.; RABOW, E.; RADULOVIC, VERENA.; CHENG, C.; FAUTEREAU, B. D.; OTT, D.; AWASTHI, A. K. **Case Studies and approaches to building partnerships between the informal and the formal sector for sustainable e-waste management**. Solving The E-Waste Problem - STEP. 2020. Disponível em: <https://step-initiative.org/files/_documents/publications/Partnerships-between-the-informal-and-the-formal-sector-for-sustainable-e-waste-management.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2021.

HINZ, G.; AOK, Y.S. O Mundo do Consumo:do Consumismo Para um Consumo Consciente. 2013. **Revista Cadernos pde: Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor pde**. Governo do Estado do Paraná. 2013 Disponível em:< http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2013/2013_uem_geo_artigo_gislaine_hinz.pdf >. Acesso em: 25 jun. 2019.

HOBSBAWN, E. **A Era Dos Extremos**, 20 Edição, Companhia das Letras, 2012.

KAWAMOTO, L. E.; FIORATI, J. J. **A Gestão de E-waste Como Instrumento Para a Cooperação Internacional: uma análise integrada entre os direitos do comércio internacional, ao desenvolvimento e ao meio ambiente**. UNESP. 2019. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/354142332_A_gestao_de_ewaste_como_instrumento_para_a_cooperacao_internacional_uma_analise_integrada_entre_os_direitos_do_comercio_internacional_ao_desenvolvimento_e_ao_meio_ambiente> Acesso em: 22 Nov. 2021.

LETRA, L. **80% Dos Resíduos Vão Para Países em Desenvolvimento.** OIT-ONU News. 2013. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2013/01/1426261-oit-80-do-lixo-eletronico-global-segue-para-paises-em-desenvolvimento>>. Acesso em 20 Fev. 2021.

KASPER, A. C. **Caracterização e Reciclagem de Materiais Presentes Em Sucatas de Telefones Celulares.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

McCANN, D; WITTMANN, A. E-waste Prevention, **Take-back System Design and Policy Approaches.** United Nations University - UNU. Bonn, Germany. 2015. Disponível em: <<http://collections.unu.edu/view/UNU:6129>> Acesso em: 08 nov. 2018.

MAGERA, M. **Os caminhos do lixo.** São Paulo: Ed Átomo, 2012.

MARS, C.; MANGOLD, J.; NAFE, C. **Recommendations for Standards Development for Collection, Storage, Transport and Treatment of E-waste.** Solving The E-Waste Problem STEP. 2014 Disponível em: <https://stepinitiative.org/files/_documents/whitepapers/StEP_WP_Standard_20140602.pdf> . Acesso em: 20 nov. 2021.

OLIVEIRA, J. G.; MARTINS, G. M. A Obsolescência Programada Diante do Desafio Atual da Sustentabilidade. 2018. Direito e sustentabilidade. **In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI PORTO ALEGRE, 27.** Anais Eletrônicos [...] 2018. Disponível em:<<http://site.conpedi.org.br/publicacoes/34q12098/00o9mby0/b5TMaOXMQDq-06bEC.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

OLIVEIRA, C R. **Alternativas tecnológicas para tratamento e reciclagem do lixo de informática,** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, P. C. **Valorização de placas de circuito Impresso por hidrometalurgia.** 2012. Tese (Mestrado) - Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2012.

PACE -PLATFORM FOR ACCELERATING THE CIRCULAR ECONOMY. THE E-WASTE COALITION. A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot. Geneva, Suíça: World Economic Forum, 2019, p. 6. **Proceedings...** E-book. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf>. Acesso em: 25 Jan. 2019.

PARK, Y. J.; FRAY, D. J. **Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards.** Journal of Hazardous Materials p. 162, 2009. Disponível em: http://westca.org/photo/201403/2009_young_jun_park_recoveryofhighpuritypreciousmetalsfromprinted-circu_retrieved-2014-03-22_.pdf. Acesso em: 20 jul. 2019.

RODRIGUES, A.C. **Fluxo domiciliar de geração e destinação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de São Paulo- SP. p. 23** Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo. 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde12032012113745/publico/AngelaCRodrigues.pdf> Acesso em: 15 jan. 2022.

RUBIN, R S. **Métodos de desmontagem de placas de circuito impresso.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. USP, São Carlos, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde03082016165434/publico/Ricardo.> Acesso em: 15 jan. 2022.

SEPULVEDA, A. *et al.* A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: examples from china and India. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, p. p. 6, p.11. 2010. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.611.3030&rep=rep1&type=pdf> > Acesso em: 20 jan. 2022.

SOBRINHO, C. I. F.; LUGARESI, M.; NOTARI, D. L.; SILVA, S. D. A. **Resíduos eletroeletrônicos: uma revisão sistemática da literatura.** RICA, Revista interdisciplinar de ciência aplicada, Vol.4 Nº 7, 2019. Curso de Ciência da Computação, Universidade de Caxias do Sul. Disponível em: <https://sou.ucs.br/revistas/index.php/ricaucs/article/download/73/68/81>>. Acesso em 20 Fev. 2021.

SPITZBART, M.; HERBECK, E.; SCHLUEP, M. **Business Plan Calculation Tool for Manual Dismantling Facilities.** United Nations Industrial Development Organization. World Resources Forum. STEP – UNU. 2016. Disponível em: https://www.stepinitiative.org/files/_documents/green_papers/Step_GP_BCT_final.pdf>. Acesso em 15 jun. 2019.

UNITED NATIONS ENVIROLMENTAL PROGRAME - UNEP. 2019. **O Mundo Produzirá 120 Milhoes de Toneladas de Lixo Eletrônico.** Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/press-release/mundo-produzira-120-milhoes-de-toneladas-de-lixo-eletronico>> Acesso em 20 Fev. 2019.

VEIT, H. M. **Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

VEIT, H. M.; *et al.* Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. UFRS. **Revista Escola de Minas**. 2008.

DOI:10.29327/2152495.7.22-1

