

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

MONIQUE PACHECO DO AMARAL

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SEPARAÇÃO DE
COMPONENTES ELETRÔNICOS E ELABORAÇÃO DE MATERIAIS
PARA RECICLAGEM**

**VOLTA REDONDA
2015**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SEPARAÇÃO DE
COMPONENTES ELETRÔNICOS E ELABORAÇÃO DE MATERIAIS
PARA RECICLAGEM**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago, na área de concentração de processamentos e caracterização de materiais e linha de pesquisa de polímeros.

Aluna:
Monique Pacheco do Amaral

Orientador:
Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

**VOLTA REDONDA
2015**

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

A485d Amaral, Monique Pacheco do.
Desenvolvimento de um sistema para separação de componentes eletrônicos e elaboração de materiais para reciclagem. / Monique Pacheco do Amaral. - Volta Redonda: UniFOA, 2015.

122 p. : II

Orientador(a): Roberto de Oliveira Magnago

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2015

1. Polímeros - dissertação. 2. Reciclagem. 3. Lixo eletrônico. I. Magnago, Roberto de Oliveira. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.192

FOLHA DE APROVAÇÃO

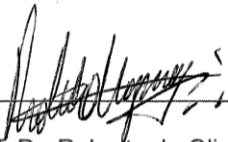
Aluno: Monique Pacheco do Amaral

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SEPARAÇÃO DE COMPONENTES
ELETRÔNICOS E ELABORAÇÃO DE MATERIAIS PARA RECICLAGEM**

Orientador:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

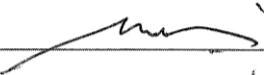
Banca Examinadora



Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago



Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato



Prof. Dr. Nelson Tavares Matias

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda força, saúde e oportunidade de realizar esse trabalho.

Agradeço a minha família em especial ao meu esposo Manasses.

Agradeço aos Professores do MEMAT em especial, ao professor Roberto, ao professor Claudinei e a professora Daniella pela ajuda, paciência e compreensão e aos técnicos de laboratório Luciano e Dirceu.

RESUMO

O lixo é mais um desafio ambiental enfrentado pela humanidade, o lixo eletrônico tem grande contribuição a esse desafio. A exploração da indústria da informação impulsiona o consumismo face ao constante avanço da tecnologia. Assim, a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos está cada vez menor.

Mas o quê fazer com os equipamentos eletroeletrônicos obsoletos? Algumas organizações não governamentais coordenam projetos de inclusão digital de reaproveitamento desse tipo de rejeito, mas na prática apenas adiam o problema (OLIVEIRA, 2010).

Esse fato assume proporções preocupantes, particularmente porque os países desenvolvidos, burlando os termos da Convenção de Basileia que regulamenta o transporte de resíduos, exportam lixo eletroeletrônico para países da África e da Ásia. Nesses países é comum a queima de rejeitos eletroeletrônicos, essa ação libera metais pesados como chumbo, cádmio e mercúrio na atmosfera além de substâncias tóxicas cancerígenas como as dioxinas. No Brasil o primeiro passo importante foi dado em 2010 com a lei de resíduos sólidos (12.305/2010). Na prática, a maior parte dos rejeitos eletrônicos vai para lixões por falta de incentivo a reciclagem. Assim na tentativa de minimizar a contaminação por placas de circuitos e apresentar um destino para as mesmas, foi proposto este trabalho para retirada dos componentes eletrônicos da placa de circuito impresso, pois os mesmos têm uma composição muito heterogênea. Essa retirada de componentes se realiza através de uma máquina que foi projetada nos laboratórios da UniFOA e com o auxílio da mesma instituição pôde ser patenteada. Foram realizados estudos das características químicas das placas de circuito impresso através do microscópio eletrônico de varredura e da espectroscopia de energia dispersiva. Houve também a necessidade de se observar as características térmicas das placas que foi realizada através da análise termogravimétrica e da calorimetria diferencial de varredura. Para a realização dos ensaios com as placas, as mesmas foram moídas e misturadas ao polipropileno (PP). Foram realizados ensaios de flexão, impacto e tração ao compósito, para análise das características mecânicas e viabilidade de substituição do PP puro. Através dos resultados apresentados pelos ensaios e testes observa-se que em muitos casos o polipropileno puro pode ser substituído pelo compósito de polipropileno mais placa de circuito eletrônico.

Palavras-Chave: Lixo Eletrônico; Reciclagem; Polímeros.

ABSTRACT

The trash is another environmental challenge facing humanity, e-waste has great contribution to this challenge. The exploitation of the information industry drives the consumerism face the constant advancement of technology. So, the life of electronic equipment is getting smaller.

But what to do with obsolete electronics equipment? Some non-governmental organizations coordinate digital inclusion projects of reuse of this type of waste, but in practice only postpone the problem (OLIVEIRA, 2010).

This fact causes concern, particularly since developed countries, circumventing the terms of the Basel Convention which regulates the transport of waste, electronics waste export to countries in Africa and Asia. In these countries it is common to burn electronic waste, this action releases heavy metals like lead, cadmium and mercury into the atmosphere as well as carcinogenic toxic substances such as dioxins. In Brazil the first important step was taken in 2010 with the law of solid waste (12,305 / 2010). In practice, most of the electronic waste goes to landfills for lack of incentive for recycling. Thus in order to minimize contamination circuit boards and provide an outlet for the same, this work was proposed for the removal of the electronic components of the printed circuit board, since they have a very heterogeneous composition. This removal of components is done through a machine that was designed in the UniFOA laboratories and with the help of the same institution could be patented. Studies of the chemical characteristics of printed circuit boards through the scanning electron microscope and energy dispersive spectroscopy were performed. There was also the need to observe the thermal characteristics of the boards were carried out by thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry. For the tests with the plates, they were ground and mixed with polypropylene (PP). Bending tests were performed, and tensile impact the composite for analysis of mechanical characteristics and viability of pure PP replacement. From the results presented by the trials and tests it is observed that in many cases the pure polypropylene can be replaced by polypropylene composite more electronic circuit board.

Keywords: Recycling, Electronic waste, Polymers

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	17
3. JUSTIFICATIVA.....	17
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1. Média da vida útil dos equipamentos eletrônicos	17
4.2. Quantidade de placas no Brasil e no mundo.....	18
4.3. Placa de circuito impresso (PCI) e seus componentes	22
4.4. Componentes	29
4.4.1. Circuito integrado e semicondutores em geral	29
4.4.2. Capacitores.....	30
4.4.3. Indutores e transformadores.....	31
4.4.4. Transformadores.....	32
4.4.5. Resistores	32
4.4.6. Dissipadores.....	33
4.4.7. Estanho - Solda.....	34
4.5. Processos já utilizados para reciclagem	35
5. EQUIPAMENTO PARA RETIRADA DOS COMPONENTES.....	39
5.1. Dimensões e estruturado protótipo	40
5.2. Soprador de ar.....	46
5.3. Pistão	46
5.4. Compressor de ar	46
5.5. Navalha.....	46
5.6. Tempo de processamento	47
6. MATERIAIS E MÉTODOS	48
6.1. Materiais - Placas	48
6.2. Materiais - Polipropileno (PP) – Matriz Polimérica	50
6.2.1. Aplicações do Polipropileno.....	51
6.3. MÉTODOS	54
6.4. ENSAIOS.....	58
6.4.1. Ensaio de Flexão	58
6.4.2. Ensaio de Impacto.....	60
6.4.3. Ensaio de Tração.....	62

6.4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia dispersiva (EDS ou EDX)	66
6.4.5. Análise Térmica Simultânea	68
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
7.1. Resultados do equipamento para retirada de componentes	71
7.2. Resultados dos ensaios	71
7.2.1. Resultado - Ensaio de Flexão	71
7.2.2. Resultado - Ensaio de Impacto	73
7.2.3. Resultado - Ensaio de Tração	74
7.2.4. Resultado – MEV e EDS	75
7.2.4.1. MEV e EDS da amostra 1	75
7.2.4.2. MEV e EDS da amostra 2	78
7.2.4.3. MEV e EDS da amostra 4	83
7.2.4.4. MEV e EDS da amostra 5	85
7.2.4.5. MEV e EDS da amostra 6	88
7.2.5. Resultado - Análise Térmica Simultânea	91
8. CONCLUSÃO	96
REFERÊNCIAS	98
Apêndice	103
Documentos da Patente	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Recicladoras no Brasil	19
Figura 2 - Inserção de eletroeletrônico no mercado	19
Figura 3 - Estimativa de geração de rejeito de eletroeletrônico no Brasil	20
Figura 4 - Rotas do lixo Eletrônico.....	21
Figura 5 - Camponês reciclando placas	21
Figura 6 - Elementos contidos uma placa de circuito impresso.	22
Figura 7 - Placa simples	23
Figura 8 - Placa dupla.....	23
Figura 9 - Placa multi camadas.....	23
Figura 10 - Furo metalizado	24
Figura 11 - Vias.....	25
Figura 12 - Placa com os componentes montados.....	25
Figura 13 - Placa de fenolite	26
Figura 14 - Placa de epóxi com fibra de vidro.....	27
Figura 15 - Composição da fibra de vidro.....	28
Figura 16 - Componentes com solda tradicional	28
Figura 17 - PCI de celular com componentes SMD	29
Figura 18 - Exemplos de semicondutores	30
Figura 19 - Tipos de capacitores.....	31
Figura 20 - Indutores	31
Figura 21 - Transformador	32
Figura 22 - Resistores.....	33
Figura 23 - Dissipadores.....	33
Figura 24 - Rolo de estanho para solda eletrônica	34
Figura 25 - Ferro de solda eletrônica	34
Figura 26 - Fluxograma resumido do processo de reciclagem de equipamentos eletrônicos.....	37
Figura 27 - Fluxograma completo do processo de reciclagem de equipamentos eletrônicos completo	38
Figura 28 - Diagrama de fase Estanho/ chumbo	39
Figura 29 - Protótipo 1 mostrando o plano inclinado	40
Figura 30 - Máquina com dimensões básicas.....	41
Figura 31 - Vista em perspectiva do equipamento sem o soprador.....	41

Figura 32 - Vista superior do equipamento sem o soprador.....	42
Figura 33 - Vista lateral do equipamento sem o soprador.	42
Figura 34 - Vista em perspectiva parcial do equipamento, com ênfase para a navalha, a placa de circuito posicionada para a raspagem e o soprador.	43
Figura 35 - Vista superior do equipamento com o soprador, com a navalha, pistão pneumático e a placa posicionada para raspagem.....	43
Figura 36 - Vista em perspectiva parcial do equipamento com ênfase para o soprador, navalha e pistão pneumático.	44
Figura 37 - Vista em perspectiva parcial do equipamento mostrando a placa posicionada para a remoção dos componentes.	44
Figura 38 - Vista em perspectiva parcial do equipamento mostrando a navalha em avanço para raspar os componentes eletrônicos da placa.	44
Figura 39 - Fluxograma do processo- Observar a legenda das figuras.	45
Figura 40 - Pistão.....	46
Figura 41 - Navalha.....	46
Figura 42 - Placas nova sem componentes - a) com cobre - b) sem cobre	49
Figura 43 - Placa usada sem componentes com trilha de cobre.....	49
Figura 44 - Placa com componentes.....	49
Figura 45 - Polipropileno.....	50
Figura 46 - Bubble Deck.....	51
Figura 47 - Pack Less	52
Figura 48 - Grama Sintética.....	52
Figura 49 - a - Aplicação do polipropileno em automóveis parte externa ; b - Aplicação do polipropileno em automóveis parte interna.....	53
Figura 50 - Fluxograma (corpos de prova)	54
Figura 51 - Moinho Granulador	55
Figura 52 - Placas fragmentadas	55
Figura 53 - Moinho.....	56
Figura 54 - Equipamento de Mistura	57
Figura 55 - Amostras fundidas e fragmentadas.....	57
Figura 56 - Injetora	58
Figura 57 - Equipamento de ensaio de impacto	61
Figura 58 - Ensaio de impacto – foco na amostra.....	61
Figura 59 - Amostras do ensaio de impacto.....	62

Figura 60 - Amostras para o ensaio de tração.....	64
Figura 61 - Corpo de prova segunda a Norma ASTM	64
Figura 62 - Ensaio de tração.....	64
Figura 63 - Início do ensaio de tração	65
Figura 64 - Fim do ensaio de tração.....	65
Figura 65 - MEV UniFOA.....	66
Figura 66 - Amostras recobertas com ouro	67
Figura 67 - EDS – UFF	68
Figura 68 - Análise do gráfico de DSC.....	69
Figura 69 - Analisador Térmico	70
Figura 70 - Placa separada de seus componentes.....	71
Figura 71 - Resistência a Flexão.....	72
Figura 72 - Módulo de Elasticidade (Ensaio de Flexão).....	73
Figura 73 - Resistência ao Impacto (Ensaio de Impacto)	74
Figura 74 - Módulo de Elasticidade (Ensaio de Tração)	75
Figura 75 - Amostra 1 - MEV para EDS.....	76
Figura 76 - EDS -Amostra 1.....	76
Figura 77 - MEV da Amostra 1 (Tabela 2).....	77
Figura 78 - Amostra 2 - MEV para EDS.....	78
Figura 79 - EDS- Amostra 2.....	78
Figura 80 - MEV da Amostra 2	79
Figura 81 - MEV e EDS da amostra 3 com fibras	80
Figura 82 - MEV e EDS da amostra 3com solda.....	81
Figura 83 - MEV e EDS da amostra 3com cobre	81
Figura 84 - MEV da Amostra 3	82
Figura 85 - MEV e EDS da amostra 4 com carbono.....	83
Figura 86 - MEV e EDS da amostra 4 com cobre	83
Figura 87 - MEV da Amostra 4	84
Figura 88 - MEV e EDS da amostra 5 com fibra	85
Figura 89 - MEV e EDS da amostra 5 com solda.....	86
Figura 90 - MEV da Amostra 5	87
Figura 91 - MEV e EDS da amostra 6 e análise de uma região	88
Figura 92 - MEV e EDS da amostra 6 com chumbo	88
Figura 93 - MEV e EDS da amostra 6 com silício	89

Figura 94 - MEV e EDS da amostra 6 com fibra	89
Figura 95 - MEV da Amostra 6	90
Figura 96 - Análise térmica da amostra 1	92
Figura 97 - Análise térmica da amostra 2	92
Figura 98 - Análise térmica da amostra 3	93
Figura 99 - Análise térmica da amostra 4	93
Figura 100 - Análise térmica da amostra 5	93
Figura 101 - Análise térmica da amostra 6	94
Figura 102 - TGA de todas as amostras	95
Figura 103 - Termograma de alguns materiais poliméricos comuns	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes de uma PCI	16
Tabela 2 - Placas utilizadas	48
Tabela 3 - Polipropileno	50
Tabela 4 - Dados obtidos dos ensaios de flexão.....	72
Tabela 5 - Ensaio de Impacto	73
Tabela 6 - Ensaio de Tração.....	74
Tabela 7 - Análise geral dos ensaios mecânicos.	75
Tabela 8 - DSC	91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Momento Fletor	59
Equação 2 - Momento de Inércia	59
Equação 3 - Módulo de resistência.....	59
Equação 4 - Tensão de flexão.....	59
Equação 5 - Flexão máxima	60
Equação 6 - Módulo de elasticidade.....	60
Equação 7 - Módulo de elasticidade.....	63
Equação 8 - Módulo de elasticidade.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS

Abinee	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CRT	Tubo de Raios Catódicos
DRX	Difração de raios X
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
EEE	Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
FR- 4	Laminado de fibra de vidro e resina epóxi
FR-2	Laminado de papel e resina fenólica
GPa	Giga pascal
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MPa	Mega pascal
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Placa de circuito impresso
PCs	Computadores pessoais
PC	Policarbonato
PVC	Policloreto de vinila
REEE	Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
TGA	Análise Termogravimétrica

1. INTRODUÇÃO

O relatório ONU, de 2010, diz que a geração de lixo eletrônico cresce a uma taxa de aproximadamente 40 milhões de toneladas por ano em todo o mundo. E a maior parte desses resíduos tem condições de ser reutilizada ou de ser reciclada, mas o destino acaba sendo os aterros sanitários e lixões.

Os materiais eletrônicos, como placas de computador e monitores CRT, não soltam os contaminantes quando estão em um ambiente fechado. Mas em aterros a temperatura é mais alta e o contato com a chuva, que pode ser ácida principalmente nas grandes cidades, faz com que os metais pesados sejam liberados diretamente no solo. Esse processo também pode contaminar as águas de lençóis freáticos, dependendo da região do aterro ou lixão. Em um computador, 68% do produto é feito com ferro, enquanto 31% da composição de um notebook é plástico. No geral, 98% de um computador é reciclável. Mas na prática esse número se reduz para cerca de 80%. A mistura de componentes plásticos e metálicos com os metais pesados torna difícil a separação. (CERRI, 2013, n.p.)

Considerando apenas a PCI pode-se observar a Tabela 1 algumas composições:

A PCI contém alguns metais pesados que causam danos à saúde humana e grandes prejuízos ao meio ambiente.

“O mercúrio, metal que deteriora o sistema nervoso, causa perturbações motoras e sensitivas, tremores e demência, está presente em televisores de tubo, monitores, pilhas e baterias, lâmpadas” (VEIT, 2010).

“O berílio é material componente de celulares e computadores e causa câncer de pulmão” (SPITZCOVSKY, 2009).

“O chumbo, que compõe celulares, monitores, televisores e computadores, causa alterações genéticas, ataca o sistema nervoso, a medula óssea e os rins, além de causar câncer. O cádmio, presente nos mesmos aparelhos que o chumbo, causa câncer de pulmão e de próstata, anemia e osteoporose” (FERREIRA, 2009).

Tabela 1 - Componentes de uma PCI.

Alguns componentes de uma PCI			
		Quantidades Médias	
Metais	28%	Cu	14%
		Fe	6%
		Ni	2%
		Zn	2%
		Sn	2%
		Ag	0,3%
		Au	0,04%
		Pd	0,02%
Plásticos	19%		
Bromo	4%		
Materiais	49%		
Cerâmicos, vidro			

Fonte: VEIT, 2010.

Todos os equipamentos que possuem bateria, placa eletrônica e cabos elétricos possuem algum material contaminante, lembrando que esse tipo de material é acumulativo, quanto mais contato se tem com ele, pior para a saúde.

A lei de resíduos sólidos brasileira LEI Nº 12.305, sancionada em 2010, prevê que o lixo eletrônico não poderá ser descartado em aterros e lixões a partir de 2014. Os fabricantes serão os responsáveis por dar o destino correto aos materiais que eles mesmos produzirem.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é desenvolver um sistema que separe os componentes eletrônicos da placa de circuito impresso e reciclar as placas de circuitos impressos de equipamentos eletroeletrônicos descartados.

3. JUSTIFICATIVA

Observando o grande potencial de obtenção de componentes nobres, os problemas causados pelo descarte inadequado, leis mais rigorosas quanto ao descarte e a quantidade de lixo eletrônico produzido foi proposto o trabalho de reciclagem de placas de circuitos impressos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Média da vida útil dos equipamentos eletrônicos

Uma estratégia de mercado que surgiu na década de 1920, após a crise de 1929 é a obsolescência programada. Este fenômeno industrial fazia com que as empresas desenvolvessem produtos com uma vida útil mais curta apenas para garantir o consumo constante de novos itens, aquecendo, assim, a economia, que vivia maus momentos.

“No documentário *The Light Bulb Conspiracy* (A conspiração da lâmpada, em português), a cineasta Cosima Dannoritzer mostra que, apesar das fabricantes negarem, a indústria tem práticas para determinar a validade de seus produtos e isso acontece, especialmente, na indústria da tecnologia” (KHON, 2013). (tradução nossa)

Um dos casos apontados no vídeo é o da primeira geração do iPod, que teve problemas na bateria oito meses depois da compra. O consumidor em questão procurou a Apple, que sugeriu: “[...] vale mais a pena comprar um iPod novo”. O caso se tornou uma ação coletiva, que deu aos clientes uma substituição das

baterias e a extensão da garantia. Ao ser questionada sobre o fato, a empresa alegou que a vida útil dos produtos varia muito com o seu uso.

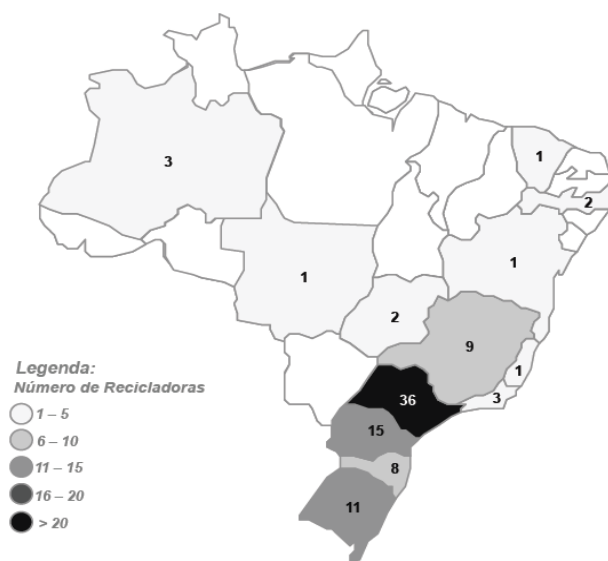
Outro caso apresentado no documentário revela que um rapaz procurou a assistência técnica para restaurar sua impressora a jato de tinta da Epson e os técnicos disseram que não havia conserto. Indignado, o consumidor procurou mais sobre o assunto na web e descobriu uma teoria que ronda fóruns: segundo os usuários, existe um chip que determina a duração do produto. Quando a impressora atinge um número de páginas impressas, ela trava e não volta mais a funcionar.

4.2. Quantidade de placas no Brasil e no mundo

“Nosso país é hoje o 5º maior mercado mundial de Internet e de telefonia celular. Chegam-se a mais de 190 milhões de aparelhos celulares habilitados e a mais de 50 milhões de pessoas com acesso à Internet em setembro de 2010. Por outro lado, o mercado brasileiro de informática cresce a uma taxa de 20 a 25% ao ano, superior à média mundial” (CHADE, 2009).

“Em 2008, foram geradas 149,2 mil toneladas de lixo eletroeletrônico no Brasil. Cerca de 90% vão parar em terrenos baldios, lixões e outros destinos inadequados. Estima-se que cerca de um milhão de computadores sejam descartados no país por ano” (SPITZCOVSKY, 2009).

No Brasil, não há uma regulamentação específica para o lixo eletroeletrônico em nível federal. Contudo, a Lei 12305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), sancionada pelo Presidente da República, prevê nos artigos 30 a 36 (Capítulo III, Seção II) a responsabilidade compartilhada de fabricantes, importadores, distribuidores e vendedores na logística reversa para os seguintes produtos pós-consumo: agrotóxicos, pilhas, baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas e produtos eletroeletrônicos. Mas essa iniciativa ainda é pequena, a Figura 1 mostra o número de recicladoras no Brasil.

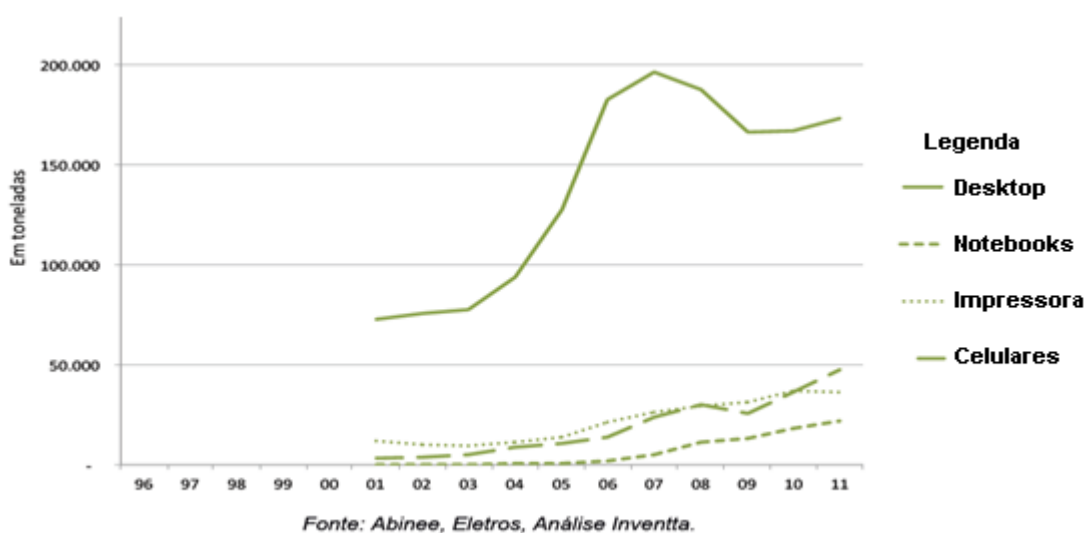


Fonte: Análise Inventta.

Figura 1- Recicladoras no Brasil

Fonte: INVENTTA, 2012.

Analisando a Figura 2 pode-se observar que aconteceu uma grande inserção de eletroeletrônicos no mercado brasileiro entre 2007 e os dias atuais. Os equipamentos que foram inseridos no início de 2007 já estão se tornando obsoletos, esse fato vem para confirmar a grande preocupação com a reciclagem e a logística reversa.



Fonte: Abinee, Eletros, Análise Inventta.

Figura 2- Inserção de eletroeletrônico no mercado

Fonte: INVENTTA, 2012.

A Figura 3 mostra uma previsão da quantidade de rejeitos eletrônicos até 2020. A legenda indica que os equipamentos de pequeno porte como “pequeno” e os eletroeletrônicos de grande porte como “grande”.

Essa previsão mostra que uma ação deve ser tomada de imediato a geração de rejeitos terá um salto por volta de 2016.

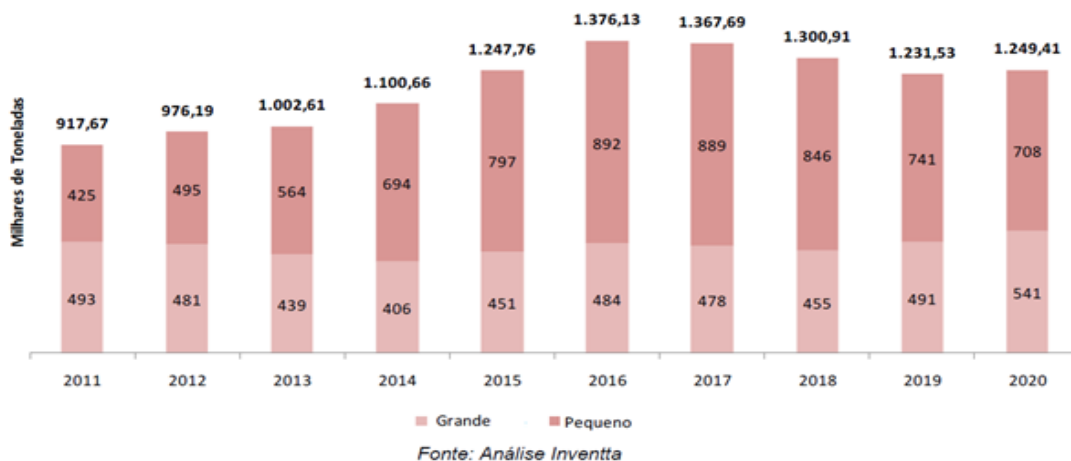


Figura 3 - Estimativa de geração de rejeito de eletroeletrônico no Brasil
Fonte: INVENTTA, 2012.

“Os grandes vilões do descarte eletrônico são os Estados Unidos, acompanhados de Reino Unido, Japão, Coréia do Sul e Austrália. Esses países aproveitam-se da alta tecnologia que possuem e realizam uma rotatividade maior de seus equipamentos eletrônicos” (MOREIRA, 2013).

Para se livrarem do lixo eletrônico, os países desenvolvidos vendem o lixo como material usado que está funcionando por um preço muito baixo (praticamente pelo preço do transporte). Quando esse material chega ao país de destino observa-se que apenas uma pequena parcela está realmente funcionando e todo o resto é lixo. A Figura 4 mostra as principais rotas de lixo eletrônico.

ROTAS DO LIXO ELETRÔNICO

Caminhos comprovados e suspeitos revelam migração do e-lixo



Fonte conhecida

Destino conhecido

Destino suspeito



Figura 4 - Rotas do lixo Eletrônico
Fonte: INVENTTA, 2012

A cidade Chinesa de Guiyu vem atraindo camponeses para efetuar o árduo e trabalho de separar os componentes eletrônicos que podem e não podem mais ser utilizados. Geralmente, os trabalhadores recebem muito pouco por um dia de 16 horas de trabalho. O solo é contaminado e a água não é potável em toda a cidade. A imensa quantidade de metal e de gás carbônico são os responsáveis por isso. As pessoas que vão à cidade também sentem uma estranha dor de cabeça e um gosto metálico na boca. (MACIEL, 2011, p.3)



Figura 5 - Camponês reciclando placas
Fonte: RICARDO, 2013.

Ao redor do mundo, várias medidas têm sido tomadas para tentar, pelo menos, controlar o problema do lixo eletrônico. Países norte-americanos e europeus esboçam legislações específicas para tratar deste tema, o que já é um passo importante. Contudo, tendo em vista que o foco das leis são as indústrias e

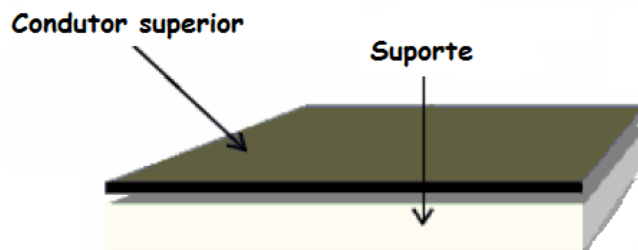


Figura 7- Placa simples
Fonte: EMBARCADOS, 2014.

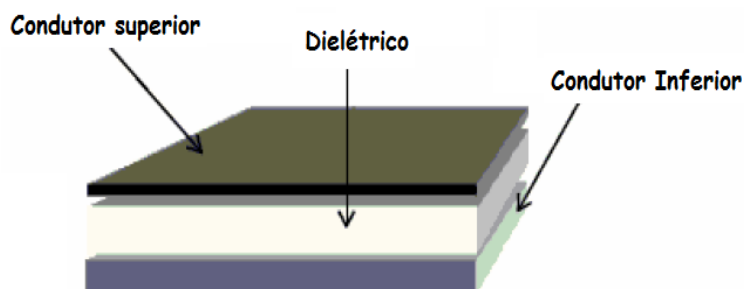


Figura 8 - Placa dupla
Fonte: EMBARCADOS, 2014.

As placas de circuito impresso podem ser classificadas em função do número de camadas condutoras que possuem. Se possuem somente uma camada condutora, são denominadas de face simples, se possuem várias camadas de planos condutores são denominadas de múltiplas camadas, como na Figura 9 onde estão representados somente os planos condutores, entre estes se encontra o dielétrico. Esse dielétrico pode ser de fenolite, ou epóxi e fibra de vidro.

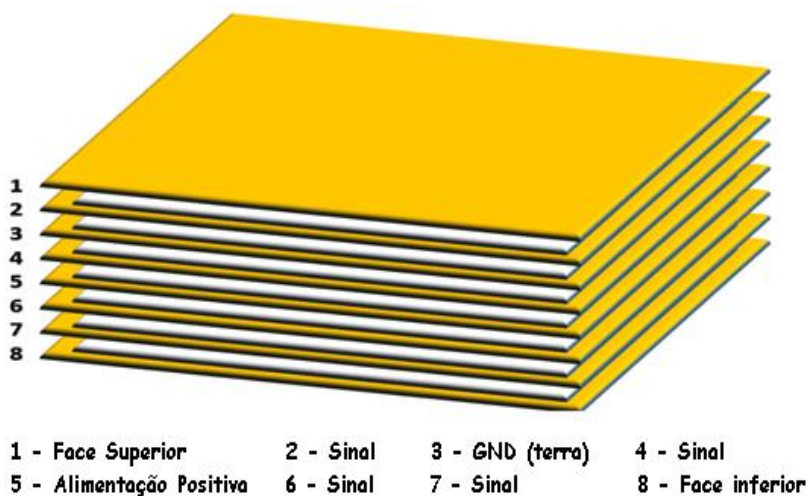


Figura 9 - Placa multi camadas
Fonte: EMBARCADOS, 2014.

O surgimento dos circuitos integrados com larga escala de integração, utilizando arranjo de terminais em forma de grade, tornou necessária a utilização de placas de várias camadas, que são construídas a partir de placas de duas camadas, placas de cobre e substratos. A superposição destes elementos permite a construção de arranjos de múltiplas camadas. Este arranjo apresenta material condutor externo, que é exposto, geralmente denominado lado dos componentes e lado de solda, na Figura 10 estão representadas as camadas, superior, inferior e interna. As camadas internas (de cobre) são aquelas dentro do arranjo, dependendo da funcionalidade, estas camadas são denominadas de sinal, GND e alimentação.

As camadas reservadas para alimentação e GND apresentam potencial fixo (corrente contínua que alimenta os dispositivos), assim elas se comportam como planos de referência para as trilhas de sinal (que estão em outras camadas). Estas camadas são planos de cobre contínuos, por toda a placa, ou áreas de cobre sobre uma região específica da placa, denominada área preenchida. Para que exista continuidade entre as várias camadas, é necessário que estes caminhos sejam interligados através do substrato, e isto é feito através de furos de passagem que são metalizados internamente. Estes furos metalizados são denominados vias de passagem ou simplesmente vias.

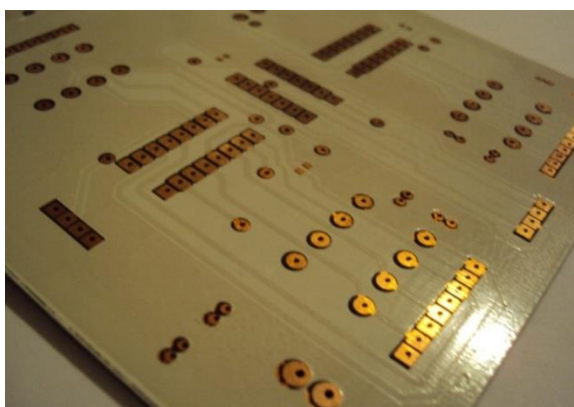


Figura 10-Furo metalizado
Fonte: MOREIRA, 2007.

Em placas de maior complexidade, estas vias podem ser de vários tipos, e são classificadas como:

- placas de via passante (a via atravessa completamente a placa interligando todas as camadas de cobre);

- placas de via cega (a via começa de uma lado e termina em uma camada interna);
- placas de via interna (a via começa e termina em camadas internas, não é visível externamente).

A Figura 11 mostra os tipos de vias:

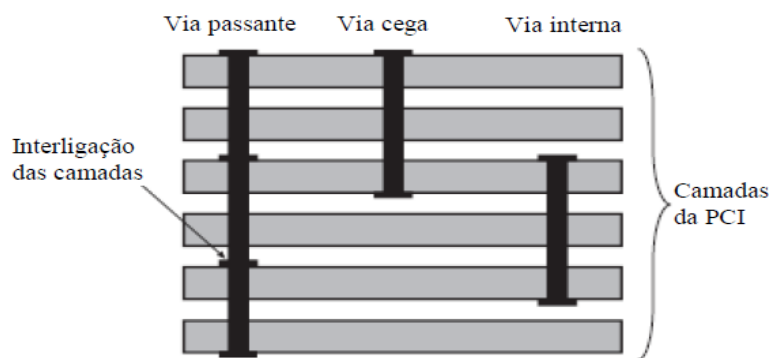


Figura 11 - Vias
Fonte: EMBARCADOS, 2014.

A placa de circuito impresso (PCI) já montada (com os componentes eletrônicos) tem uma composição muito heterogênea (Figura 12). É composta de uma maneira geral de plásticos, cerâmicos, metais comuns e metais preciosos. Toda essa mistura torna sua reciclagem bastante difícil, mas em compensação, a presença de metais comuns e metais preciosos a torna uma matéria prima interessante.

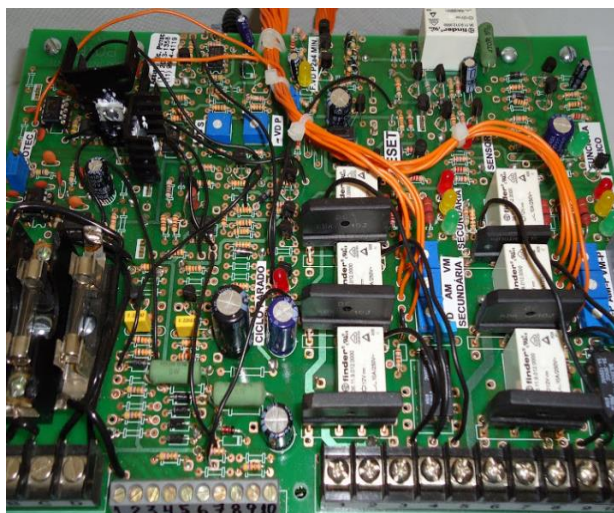


Figura 12 - Placa com os componentes montados
Fonte: A AUTORA, 2014.

As placas de fenolite consistem numa mistura de resina fenólica (nome genérico de um grupo de matérias plásticas que se obtêm por condensação de

fenóis com aldeídos) com papel picado ou serragem de madeira (carga), apresentando cor castanha clara ou escura Figura 13, dependendo do tipo de carga utilizada. A mistura é moldada e prensada.



Figura 13 - Placa de fenolite
Fonte: A AUTORA, 2014.

O principal problema que este tipo de chapa apresenta para o circuito impresso é o fato de a carga ser à base de celulose e pode absorver umidade, o que além de prejudicar as suas características isolantes, facilita o seu empenamento. Essas placas ainda são utilizadas por hobbistas e pequenos fabricantes. Para resolver os problemas apresentados pela fenolite, foram desenvolvidas as placas conhecidas como fibra de vidro, na verdade estas placas são feitas com resina epóxi e apenas têm internamente uma fina camada de fibras de vidro. Se por um lado, o uso da resina epóxi (Figura 14) permite que as placas de fibra de vidro sejam resistentes a umidade, por outro são extremamente difíceis de ser cortadas e furadas.

“A dureza do epóxi é semelhante à do granito, fazendo com que sejam necessárias ferramentas especiais para fazer o corte e a furação das placas de circuito impresso de fibra de vidro Figura 14. Estas placas são também cerca de 30% mais caras do que as de fenolite” (MOREIRA, 2007).

Apesar disso, devido à sua excelente capacidade isolante, a grande maioria das placas de circuito impresso de equipamentos eletrônicos são fabricadas com placas de fibra de vidro.

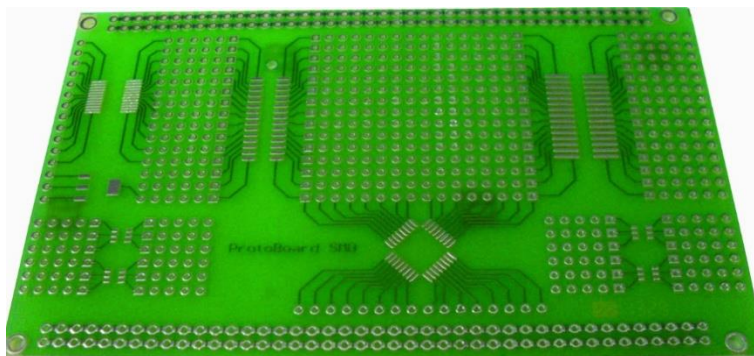


Figura 14 - Placa de epóxi com fibra de vidro
Fonte: A AUTORA, 2014.

Segundo a norma NBR 8188/83, “[...] as matrizes para circuito impresso em fenolite são referenciadas como FR-2 e as de fibra de vidro como FR-4 (ABNT, 1983)”

Para aplicações em que utilizam frequências muito elevadas, tanto a fenolite como a fibra de vidro pode apresentar problemas de polarização dielétrica. Como alternativa existem matrizes para circuitos impressos onde o material isolante utilizado é o politetrafluoroetileno (PTFE), um material mais conhecido pelo nome comercial de Teflon (DuPont™). São placas muito caras e geralmente usadas em circuitos que utilizam frequências muito elevadas.

“Outro material alternativo é o poliéster, que permite fabricar circuitos impressos flexíveis usados em alguns equipamentos portáteis. Nos vários tipos de matrizes usadas nas placas de circuito impresso FR-4 que tem esta denominação devido à característica de baixa flamabilidade (Flame Resistant 4), FR-2, e outros são sempre adicionados retardadores de chama” (SPITZCOVSKY, 2009).

A fibra de vidro é um compósito filamentososo de finíssimos fios de vidro, agregados através de resinas, silicones e outros compostos solúveis em solventes orgânicos. A fibra de vidro é obtida industrialmente através do vidro ainda em estado líquido, ou seja, momento em que a sílica (areia), está derretida sob uma temperatura de 1600°C. Esse líquido é submetido ao resfriamento sob alta velocidade, onde o controle cinético e térmico favorece a obtenção de fios em tamanhos e diâmetro desejados através da passagem do líquido por finíssimos e reguláveis orifícios de platina.

A composição da fibra de vidro é mostrada na Figura 15.

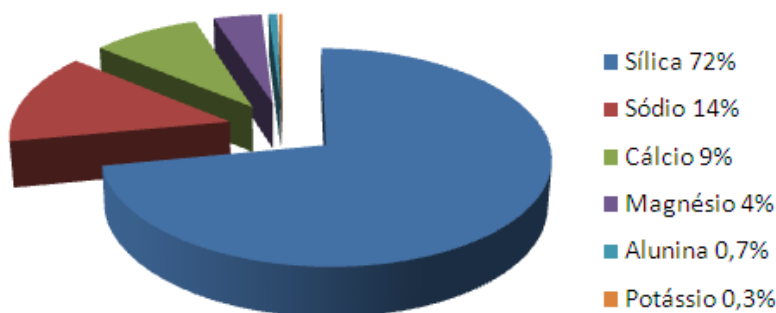
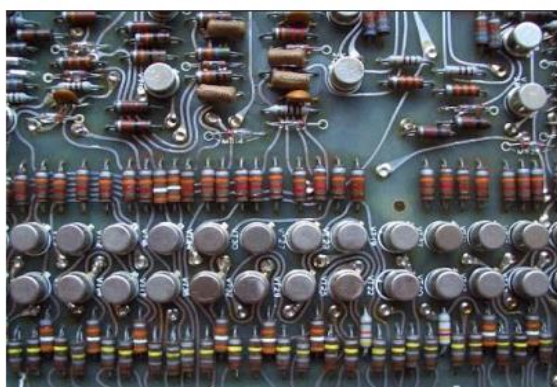


Figura 15 - Composição da fibra de vidro
Fonte: CEBRACE, 2010.

O tratamento de uma placa de circuito impresso é muito complicado, várias tecnologias têm sido desenvolvidas ou aprimoradas para a reciclagem deste componente. Os processos para reciclagem de uma placa podem ser mecânicos, químicos ou térmicos. Os principais processos são os mecânicos (cominuição, classificação e separação), pirometalúrgicos, hidrometalúrgicos, eletrometalúrgicos e biometalúrgicos. Dentre os tratamentos possíveis, o tratamento mecânico é o menos agressivo ao meio ambiente e aos seres humanos por gerar menos resíduos contaminantes. (OLIVEIRA, 2010 p.245)

O setor de montagem de componentes pelo processo de Dispositivos de Montagem Superficial (SMD) que são componentes que utilizam a Tecnologia de Montagem Superficial (SMT) tem evoluído muito nos últimos anos, no sentido de acompanhar a evolução dos encapsulamentos, cada vez menores e com mais terminais. A utilização de componentes convencionais tem diminuindo rapidamente. A colocação dos componentes SMD sobre a placa é realizada por máquinas totalmente automatizadas. As Figuras 16 e 17 mostram a diferença entre uma placa com componentes de tecnologia SMD e outra sem essa tecnologia.



(a)



(b)

Figura 16 - Componentes com solda tradicional
Legenda. (a) Lado dos componentes;(b) Lado da solda
Fonte: A AUTORA, 2014.

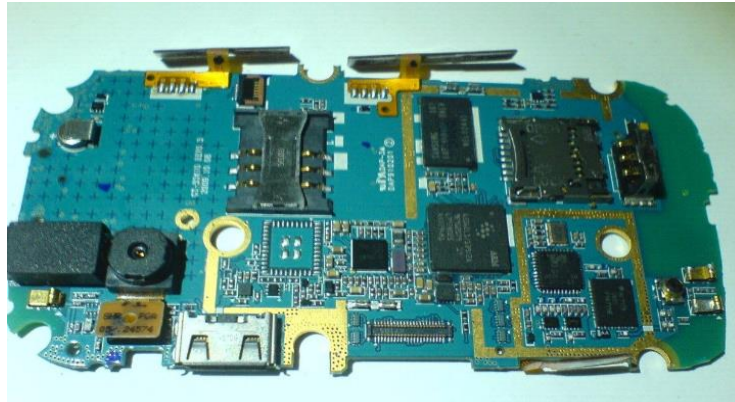


Figura 17 - PCI de celular com componentes SMD
Fonte: REIS, 2013.

4.4. Componentes

Os principais componentes de placas de circuitos eletrônicos são:

- circuito integrado e semicondutores em geral
- capacitores;
- indutores e transformadores;
- resistores;
- dissipadores.

4.4.1. Circuito integrado e semicondutores em geral

Os semicondutores são formados basicamente por Silício ou Germânio. Dentre estes o Silício é o mais utilizado. Os componentes são produzidos através da dopagem dos semicondutores com outros compostos químicos arseneto de gálio, nitreto de gálio, sulfeto de cádmio, arseneto de índio etc. A Figura 18 mostra os vários tipos de componentes eletrônicos que podem ser construídos com semicondutores dentre eles destacam-se os CIs , transistores e diodos.

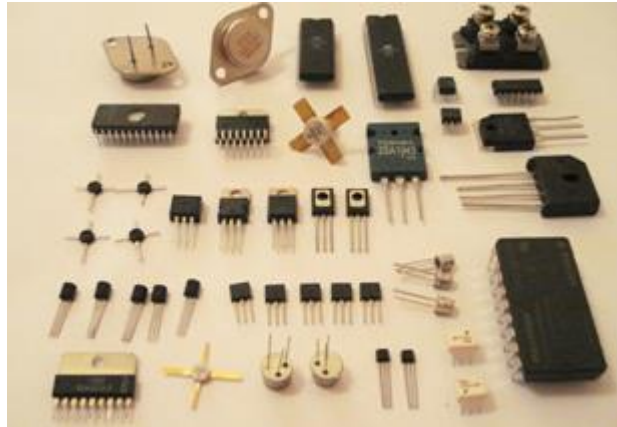


Figura 18 - Exemplos de semicondutores
Fonte: STURARO, 2013.

4.4.2. Capacitores

O Capacitor é um componente constituído por dois condutores separados por um isolante: os condutores são chamados armaduras (ou placas) do capacitor e o isolante é o dielétrico do capacitor. O dielétrico pode ser um isolante qualquer como o vidro, a parafina, o papel e muitas vezes é o próprio ar. Geralmente eles recebem o nome de acordo com o material de seu dielétrico. A Figura 19 apresenta os principais tipos de capacitores:

- capacitores de mica;
- capacitores de papel;
- capacitores stiroflex;
- capacitores de polipropileno;
- capacitores de polyester;
- capacitores de policarbonato;
- capacitores cerâmicos;
- capacitores eletrolíticos;
- capacitores de tântalo.



Figura 19 - Tipos de capacitores
Fonte: STURARO, 2013.

4.4.3. Indutores e transformadores

Um indutor que é mostrado na Figura 20 é um dispositivo elétrico que armazena energia na forma de campo magnético. O indutor pode ser utilizado em circuitos como um filtro.

Também costumam ser chamados de bobina, choke ou reator.

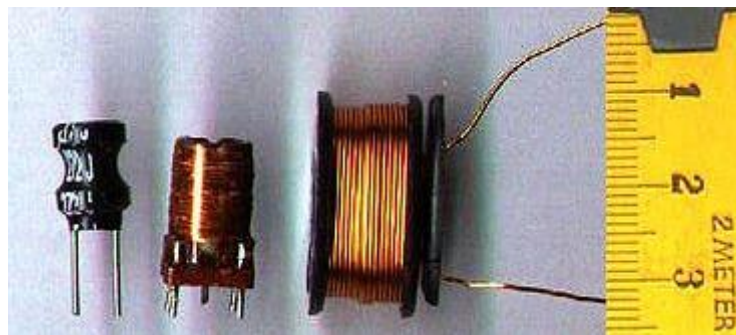


Figura 20 - Indutores
Fonte: ELETRODEX, 2013.

Um indutor é geralmente construído como uma bobina de material condutor, por exemplo, fio de cobre. Um núcleo de material ferromagnético aumenta a indutância concentrando as linhas de força de campo magnético que fluem pelo interior das espiras.

4.4.4. Transformadores

Um transformador ou trafo (Figura 21) é um dispositivo destinado a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, transformando tensões, correntes e ou de modificar os valores das impedâncias elétricas de um circuito elétrico.

Um transformador é formado basicamente de:

- Enrolamento - O enrolamento de um transformador é formado de várias bobinas que em geral são feitas de cobre e recebem uma camada de verniz sintético como isolante.
- Núcleo - esse em geral é feito de um material ferro-magnético é o responsável por transferir a corrente induzida no enrolamento primário para o enrolamento secundário.

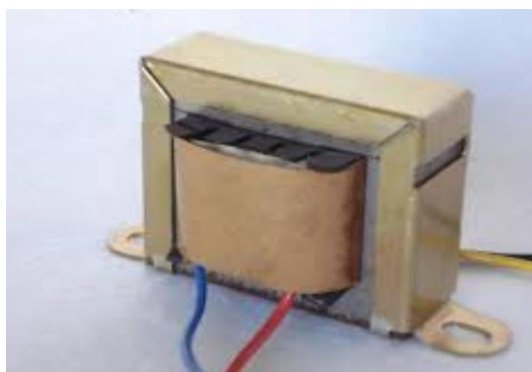


Figura 21 - Transformador
Fonte: A AUTORA, 2014.

4.4.5. Resistores

Resistores (Figura 22) são componentes eletrônicos que tem por finalidade oferecer uma oposição à passagem de corrente elétrica, através de seu material. A essa oposição damos o nome de resistência elétrica. Os resistores podem ser fixos ou variáveis. Os resistores podem ser construídos por cerâmica ou carbono. O elemento de resistência do resistor de composição cerâmica é uma mistura de argila e alumina.

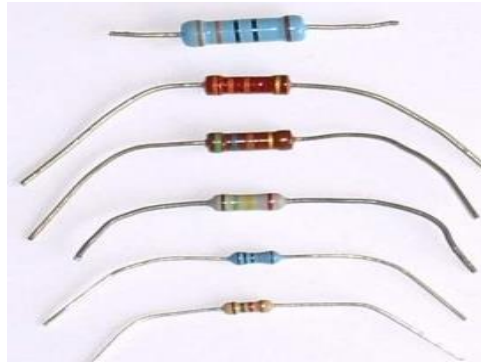


Figura 22 - Resistores
Fonte: ELETRODEX, 2013.

4.4.6. Dissipadores

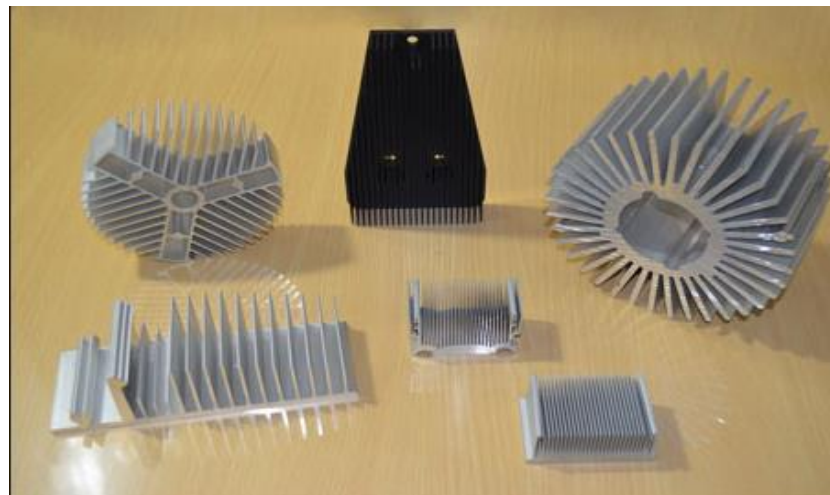


Figura 23 - Dissipadores
Fonte: ALUMINUM, 2013.

Um dissipador térmico (Figura 23), mais conhecido por dissipador de calor, é um objeto de metal geralmente feito de cobre ou alumínio, que, pelo fenômeno da condução térmica, busca maximizar, via presença de uma maior área por onde um fluxo térmico possa ocorrer, a taxa de dissipação térmica, ou seja, de calor, entre qualquer superfície com a qual esteja em contato térmico e o ambiente externo. Dissipadores térmicos têm por objetivo garantir a integridade de equipamentos que podem se danificar caso a expressiva quantidade de energia térmica gerada durante seus funcionamentos não seja deles removida e dissipada em tempo hábil.

4.4.7. Estanho - Solda

As ligas de estanho mais comuns são o bronze (estanho e cobre) e a solda (estanho e chumbo).

A solda é uma liga interessante na elétrica e eletrônica, usada para a união da placa de circuito impresso e os terminais dos componentes e/ou fios. As soldas são classificadas como macias ou duras, dependendo dos seus pontos de fusão e resistência mecânica. As soldas macias, como as usadas em eletrônica, são ligas de estanho e chumbo, algumas vezes com adição de bismuto. A solda para eletrônica também é conhecida apenas como solda 60/40, devido a sua composição de liga ser 60% de estanho e 40% de chumbo. A Figura 24 mostra um rolo de estanho para solda eletrônica.



Figura 24 - Rolo de estanho para solda eletrônica
Fonte: ELETRODEX, 2013.

Essa composição dá à solda uma boa condução elétrica e um ponto de fusão não muito alto, evitando o superaquecimento de componentes no momento da soldagem. Esta solda é manufaturada na forma de um fio maleável de coloração prateada. Dentro do fio há um núcleo de resina.

O processo de solda consiste em aquecer os componentes a serem soldados e a placa onde serão soldados, com um equipamento denominado ferro de solda mostrado na Figura 25.



Figura 25 - Ferro de solda eletrônica
Fonte: ELETRODEX, 2013.

Esse processo é realizado quando deseja-se soldar os componentes manualmente. As PCI são fabricadas com uma máquina automática que solda os componentes em suas posições nas placas.

4.5. Processos já utilizados para reciclagem

O processamento mecânico pode ser considerado um pré-tratamento, com o objetivo de separar previamente metais, materiais poliméricos e cerâmicos.

As técnicas que compõem o processo são: cominuição, classificação e separação.

“A Cominuição é um processo mecânico onde se reduz o tamanho do objeto através de impacto, atrito e compressão. Após esse processo existe a necessidade de uma fragmentação para reduzir as partículas. Seguida da etapa de fragmentação é realizada a etapa de separação que pode ser: separação gravimétrica, magnética e eletrostática” (OLIVEIRA, 2010).

A separação gravimétrica baseia-se na diferença de densidade, utilizando-se de um meio fluido, água ou ar, para realizar a separação. A técnica apresenta bons resultados com baixo custo.

A separação magnética baseia-se nos diferentes graus de atração exercidos por um campo magnético sobre os vários compostos metálicos. Quando submetidos a um campo magnético, os metais podem ser divididos em três grupos: ferromagnéticos (forte atração), paramagnéticos (média e fraca atração) e diamagnéticos (nenhuma atração). Com a técnica é possível separar uma fração magnética (por exemplo, ferro e níquel) e uma fração não magnética. A fração não magnética é encaminhada para um separador eletrostático.

No método de separação eletrostática a propriedade determinante é a condutividade elétrica, os materiais são classificados em condutores e não condutores de corrente elétrica. Quando partículas de polaridade diferentes são colocadas em um campo elétrico, seguem trajetórias diferentes de movimento e podem ser capturadas separadamente.

Em geral, o processo de reciclagem do lixo eletroeletrônico inicia-se com a coleta e/ou recebimento do material obsoleto. Após, os equipamentos passam por uma triagem que irá definir se pode ser reutilizado ou não, aqueles em condições de uso são encaminhados para reutilização. Essa parte geralmente é feita com

computadores que após passarem por uma manutenção posteriormente são encaminhados a projetos sociais e de inclusão digital.

Os equipamentos que não são reutilizáveis devem ser desmontados e os componentes são separados (plásticos, metais, placas de circuito impresso, etc.) e descaracterizados. O volume é reduzido por trituração e/ou compactação (para minimizar os custos de transporte) e, por fim, cada material é encaminhado para a adequada reciclagem.

A reciclagem pode ocorrer diretamente nos centros que realizam a separação, se possuírem estrutura para tal atividade, ou em recicladoras especializadas (por exemplo, recicladoras de plástico). A Figura 26 mostra o caminho que o equipamento eletrônico reciclado percorre.

Observando a Figura 26 nota-se que as placas geralmente não se encaixam em nenhum centro de coleta seletiva. Objetivando assim um melhor aproveitamento desse material foi desenvolvido um equipamento que separa a placa de circuito impresso de seus componentes. Os componentes devem ser encaminhados para uma nova triagem, pois muitos componentes podem ser reutilizados (exemplos capacitores e transformadores). Já a placa deve ser lixada para a retirada do cobre e outros componentes químicos (sobras de solda estanhada e anti chamas) e passa também por uma triagem onde se distingue o tipo de material que é composto e o tipo de construção de circuito (se a placa é simples ou dupla – placa sanduíche), podendo ser encaminhada para consumidores de produtos específicos (por exemplo o fenolite ou fibra de vidro).

O fluxograma da Figura 26 com esse novo encaminhamento é mostrado na Figura 27.

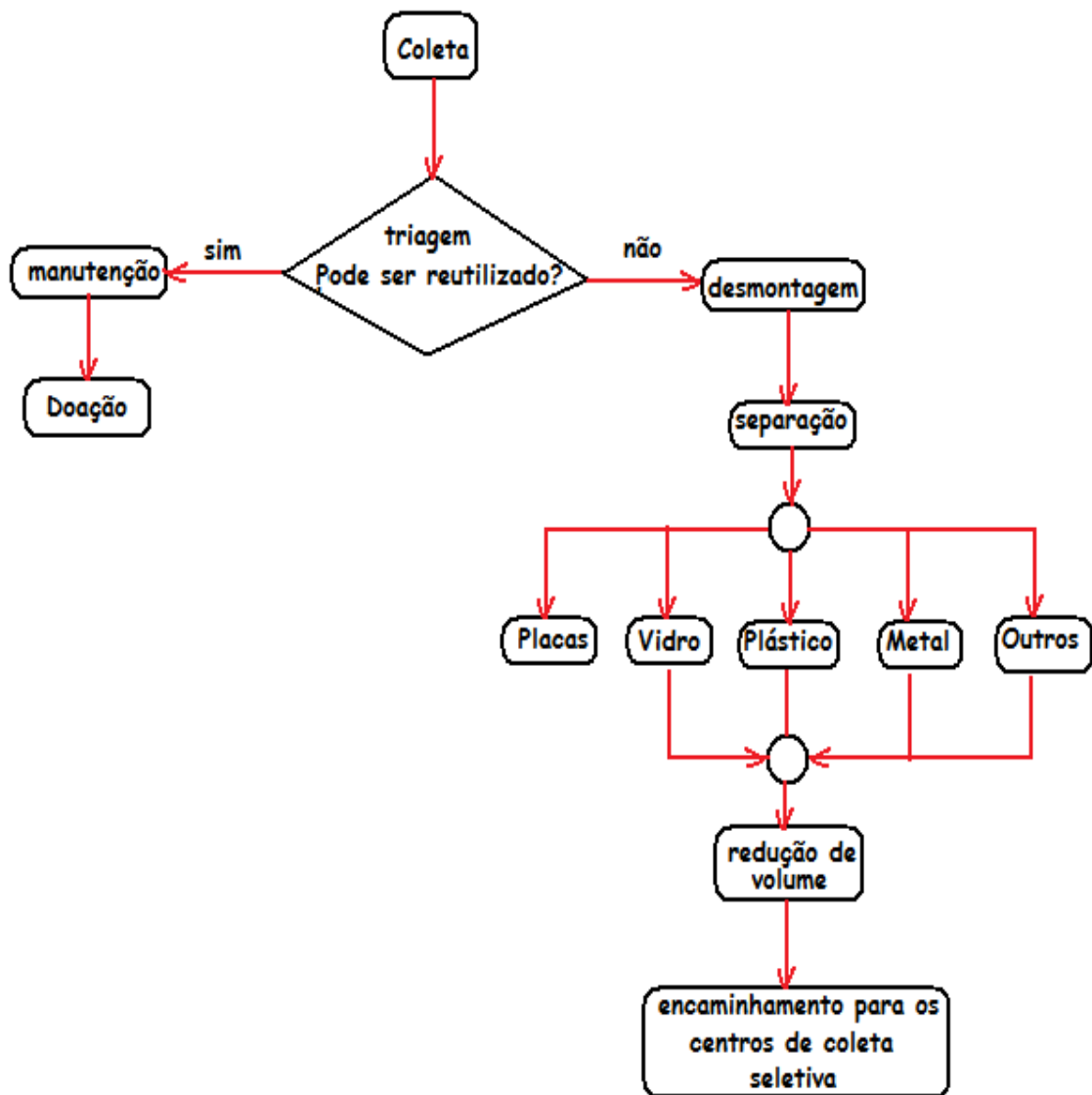


Figura 26 - Fluxograma resumido do processo de reciclagem de equipamentos eletrônicos

Fonte: A AUTORA, 2014.

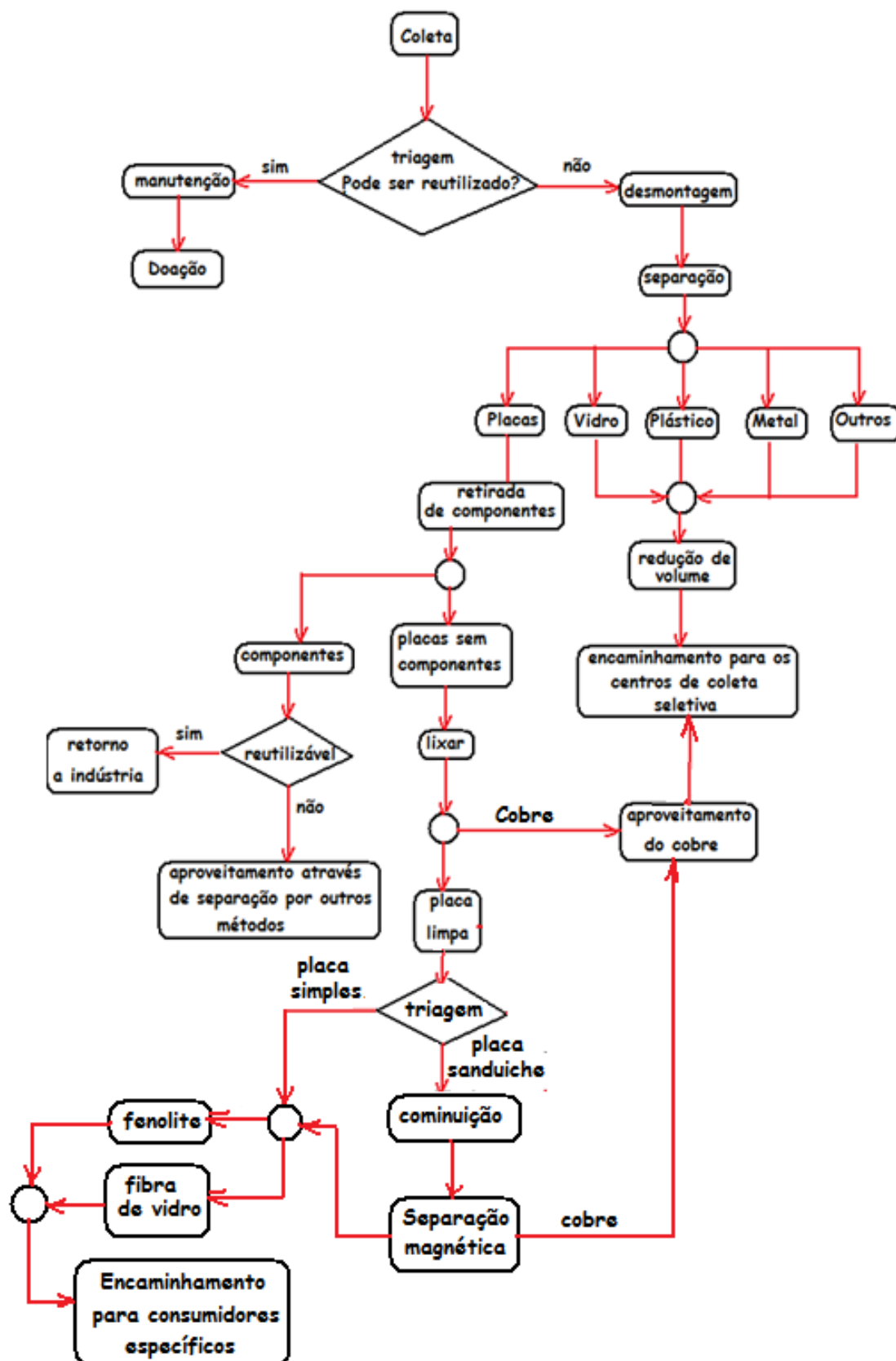


Figura 27 - Fluxograma completo do processo de reciclagem de equipamentos eletrônicos completo
 Fonte: A AUTORA, 2014.

5. EQUIPAMENTO PARA RETIRADA DOS COMPONENTES

“As placas de circuito impressos apresentam maior dificuldade para reciclagem, pois apresentam uma gama muito grande de elementos químicos em um pequeno espaço” (VEIT, 2005).

Para minimizar esse problema, foi desenvolvido um equipamento que separa os componentes eletrônicos da placa que os suporta. Como analisado no Capítulo 4 item 4.3, a placa de circuitos impresso tem composição conhecida, mesmo com as trilhas de cobre que conduzem a eletricidade entre os componentes eletrônicos.

Para retirar os componentes eletrônicos precisa-se aquecer a solda que liga o componente eletrônico à placa. Esse aquecimento foi estudado através do diagrama de fase da liga estanho/chumbo Figura 28.

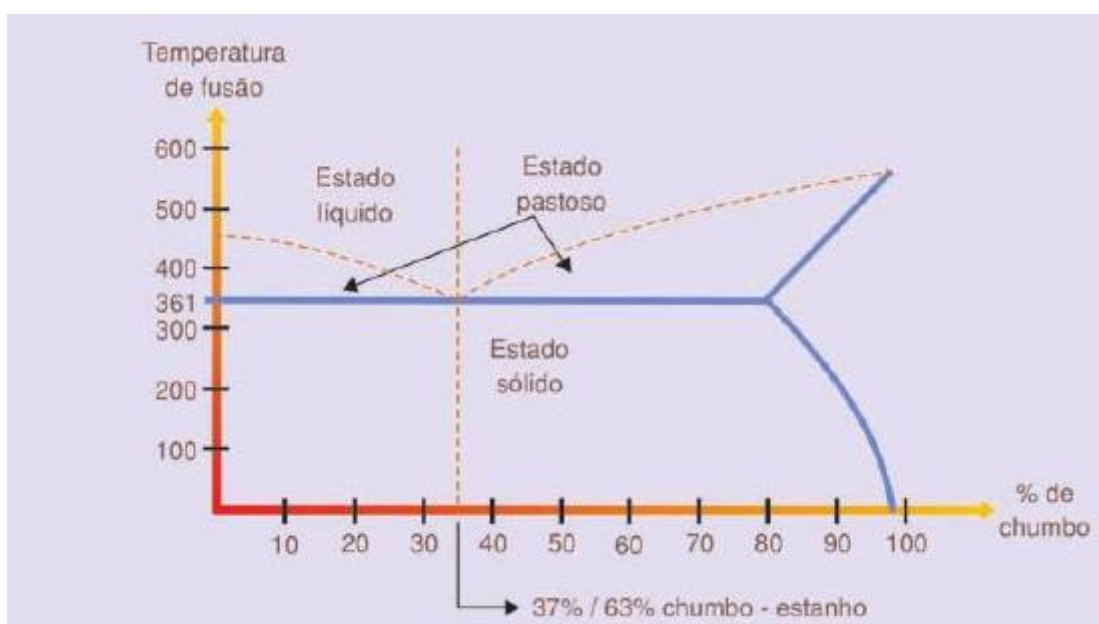


Figura 28 - Diagrama de fase Estanho/ chumbo
Fonte: MECATRÔNICA FÁCIL, 2001.

A liga mais comum utilizada na solda para componentes eletrônicos tem em sua composição de 40% de chumbo e 60% de estanho, com essa composição verifica-se que a temperatura ideal para a retirada dos componentes é de aproximadamente 360°C, pois é a temperatura em que a liga está passando do estado sólido para o líquido. Poderia ser utilizada uma temperatura mais alta, mas seriam apresentados outros problemas, por exemplo: queima de componentes, queima da placa e gasto desnecessário com energia.

O equipamento é composto por uma estrutura de um plano inclinado onde a placa é apoiada como mostrado na Figura 29. Um soprador de ar quente que foi ajustado para trabalhar com temperatura aproximada de 360°C direciona o ar sobre a placa, fazendo a solda passar do estado sólido para o estado líquido.

Uma navalha é posicionada acima da placa de modo a raspar os componentes eletrônicos. Esse movimento de raspagem é realizado pela navalha que está acoplada a um pistão pneumático com controle de fluxo de ar. Esse controle se deve ao fato do movimento do pistão ser muito rápido podendo danificar a placa e os componentes. Assim, esse controle faz a navalha se movimentar lentamente para a retirada dos componentes.



Figura 29 - Protótipo 1 mostrando o plano inclinado
Fonte: A AUTORA, 2014.

5.1. Dimensões e estrutura do protótipo

A Figura 30 mostra a dimensão básica da máquina.

A máquina será, mostrada em seus detalhes construtivos e operacionais, sendo que, para melhor entendimento, referências serão feitas as Figuras, nas quais estão representadas. Após a Figura 38 apresenta-se uma legenda para melhor entendimento do protótipo.



(a)

(b)

Figura 30 - Máquina com dimensões básicas

Legenda: (a) dimensões do plano inclinado; (b) dimensões da estrutura

Fonte: A AUTORA, 2014.

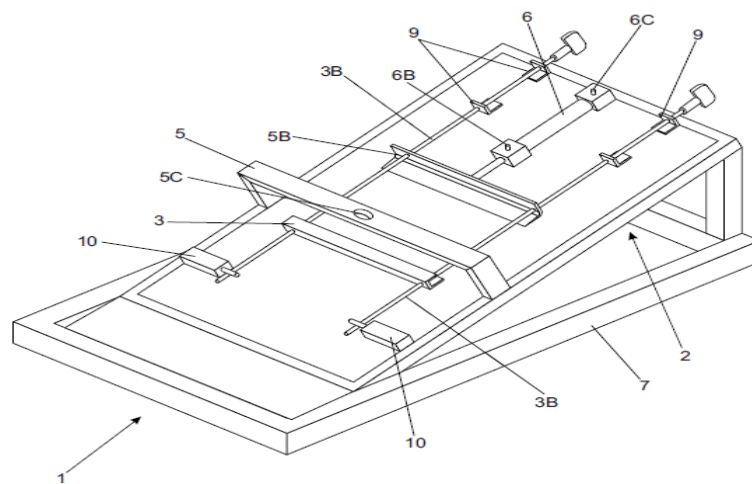


Figura 31 - Vista em perspectiva do equipamento sem o soprador.

Fonte: A autora, 2014.

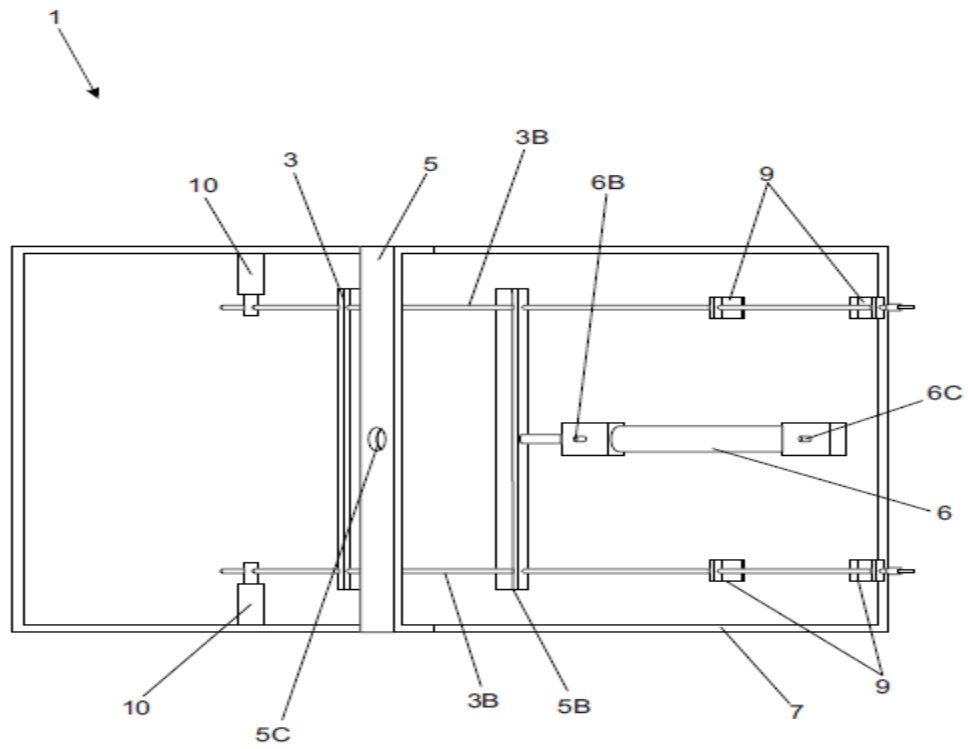


Figura 32 - Vista superior do equipamento sem o soprador.
Fonte: A AUTORA, 2014.

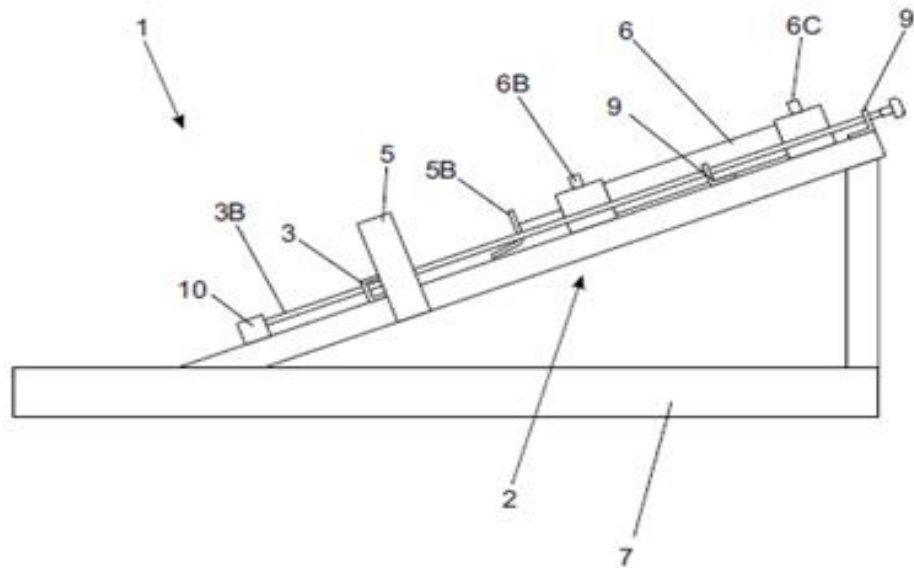


Figura 33 - Vista lateral do equipamento sem o soprador.
Fonte: A AUTORA, 2014.

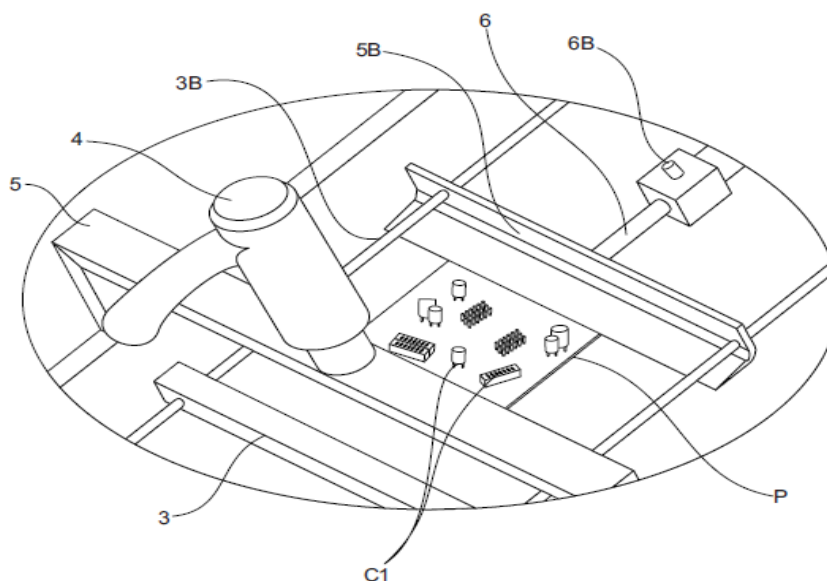


Figura 34 - Vista em perspectiva parcial do equipamento, com ênfase para a navalha, a placa de circuito posicionada para a raspagem e o soprador.
Fonte: A AUTORA, 2014.

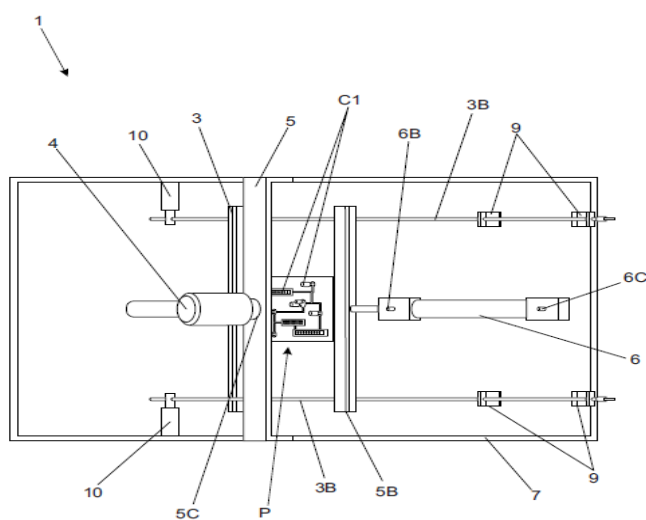


Figura 35 - Vista superior do equipamento com o soprador, com a navalha, pistão pneumático e a placa posicionada para raspagem.
Fonte: A AUTORA, 2014.

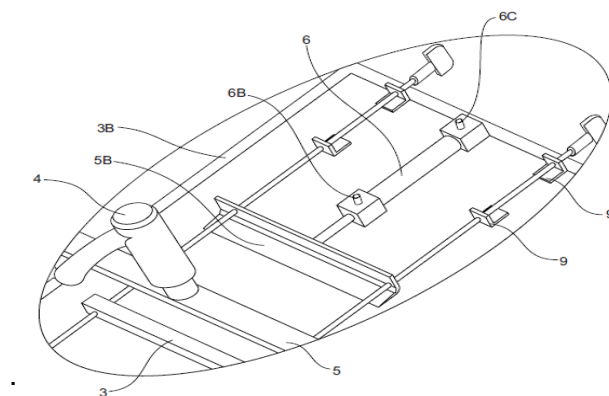


Figura 36 - Vista em perspectiva parcial do equipamento com ênfase para o soprador, navalha e pistão pneumático.
Fonte: A AUTORA, 2014.

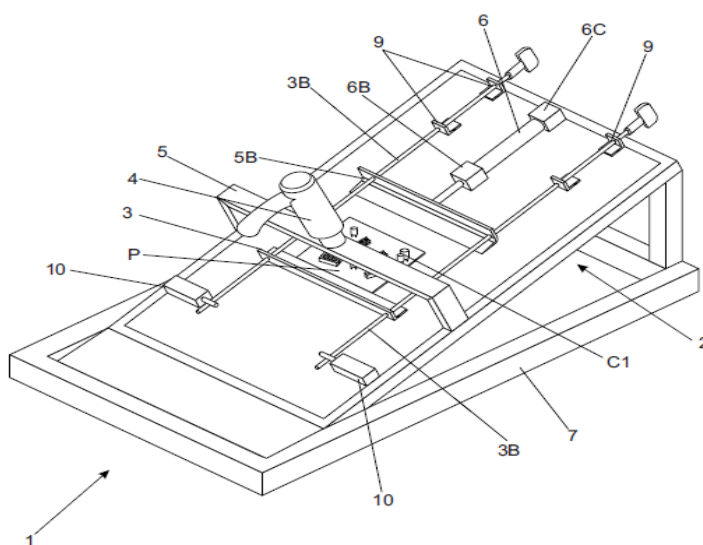


Figura 37 - Vista em perspectiva parcial do equipamento mostrando a placa posicionada para a remoção dos componentes.
Fonte: A AUTORA, 2014.

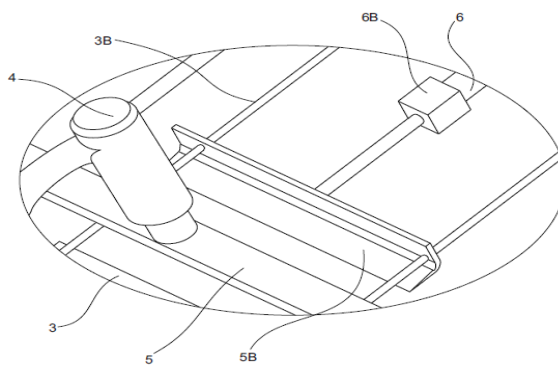


Figura 38 - Vista em perspectiva parcial do equipamento mostrando a navalha em avanço para raspar os componentes eletrônicos da placa.
Fonte: A AUTORA, 2014.

Legenda das Figuras 31 a 39.

Estrutura metálica (1)

Plano inclinado (2),

Placa de circuito impresso (P)

Placa com os componentes (C1)

Chapa transversal (3)

Guias laterais paralelas (3B),

Soprador de ar quente (4)

Suporte transversal elevado (5)

Navalha (5B)

Pistão pneumático (6)

Base estrutural metálica (7)

Mancais metálicos chapas (9)

Apoios (10)

Compressor (11)

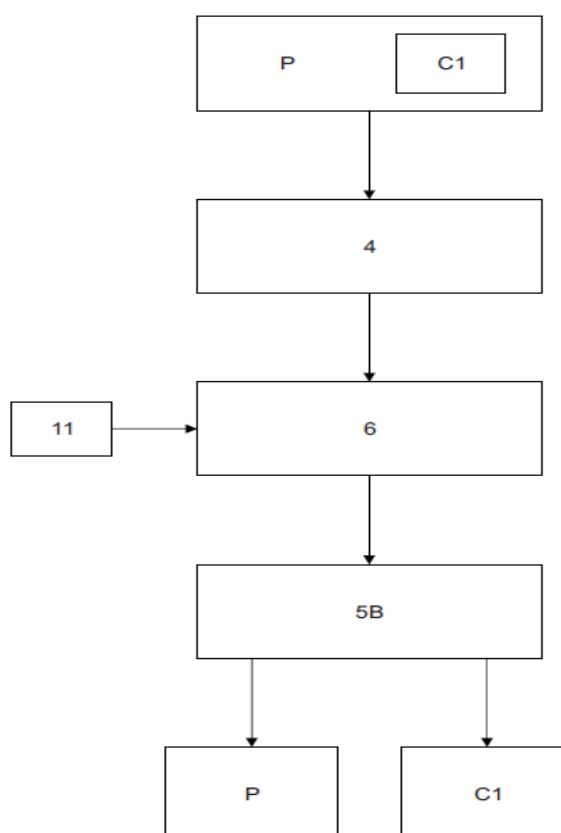


Figura 39 - Fluxograma do processo- Observar a legenda das figuras.
Fonte: A AUTORA, 2014.

5.2. Soprador de ar

O Soprador de ar quente que foi utilizado é da marca MXT com temperatura ajustável de 50°C a 650°C e 110V com potência de 300W a 1800W. Foi ajustado para trabalhar com 360°C.

5.3. Pistão

O Pistão (Figura 40) utilizado é da marca Schrader Bellows com um diâmetro de 2 polegadas e um cursor de 100 mm.



Figura 40 - Pistão
Fonte: A AUTORA, 2014.

5.4. Compressor de ar

O Compressor utilizado é da marca SCHULZAIR PLUS com indicador de pressão. A pressão de funcionamento fica em torno de 100 psi e 300 psi dependendo do tipo de componente eletrônico que está sendo retirado. Com o motor de 10HP.

5.5. Navalha

Navalha linear de aço carbono, com um ângulo de ataque de 30°.



Figura 41 - Navalha
Fonte: A AUTORA, 2014.

5.6. Tempo de processamento

O tempo de processamento depende do tamanho da placa a ser processada. Uma placa de celular (considerada placa de tamanho pequeno) leva cerca de 5 minutos para ser processada. Já a placa mãe de um computador (considerada placa de tamanho grande) leva cerca de 10 a 20 minutos para o processamento, pois deve-se analisar os componentes contido na mesma. Em uma placa com muitos componentes com furos passantes (slots) ou componentes com muitos terminais (processadores), necessitará de mais tempo de processamento.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Materiais - Placas

Nesse trabalho foram utilizadas placas de circuitos usadas e novas, com e sem componentes para comparação conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Placas utilizadas

Amostra	Tipo de placa reforçada	Quantidade de PP (% m/m)	Quantidade de reforço (% m/m)
PP	---	100	---
1	Nova sem componentes sem cobre	95	5
2	Usada sem componentes sem cobre	95	5
3	Usada sem componentes com trilha de cobre	95	5
4	Nova sem componentes com cobre	95	5
5	Usada sem componentes com trilha de cobre (com problema)	95	5
6	Usada com componentes	95	5

Fonte: A AUTORA, 2014.

Observações:

- 1 - Placa nova, sem componentes e sem cobre - placa nova onde o cobre foi retirado por meio de processo químico.
- 2 - Placa usada, sem componentes e sem cobre - os componentes foram retirados e o cobre foi retirado por meio de lixamento.
- 3 - Placa usada, sem componentes e com trilha de cobre – os componentes foram retirados e foram mantidas as trilhas de cobre.
- 4 - Placa nova, sem componentes e com cobre - placa nova onde o cobre foi mantido.
- 5 – Placa usada, sem componentes e com trilha de cobre (com problema) - *essa placa foi exposta a um calor excessivo, ocasionando a dano de algumas regiões.
- 6 – Placa usada e com componentes.



Figura 42 - Placas nova sem componentes - a) com cobre - b) sem cobre
Fonte: A AUTORA, 2014.

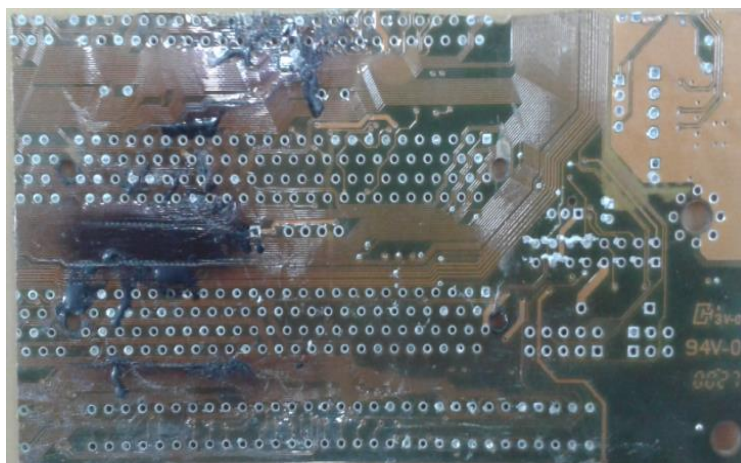


Figura 43 - Placa usada sem componentes com trilha de cobre
Fonte: A AUTORA, 2014.



Figura 44- Placa com componentes
Fonte: A AUTORA, 2014.

6.2. Materiais - Polipropileno (PP) – Matriz Polimérica

O material escolhido como matriz para o trabalho foi o polipropileno (PP), devido a algumas características observadas: baixo custo, facilidade de processamento e **reciclagem**, boa resistência química, bom isolante térmico, fácil coloração, fácil moldagem.

Atualmente existe uma tendência de se produzir produtos fim com polímeros termoplásticos e não com polímeros termorrígidos se possível.

A principal diferença entre estes dois tipos polímeros está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes, devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando há um decréscimo de temperatura. Por outro lado, os termorrígidos não se tornam fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares. (MULINARI, 2009)

Tabela 3 - Polipropileno

Propriedades físicas do Polipropileno	
Massa específica	0,905 (g.cm ⁻³)
Módulo de Flexão	1200(MPa)
Resistência ao Impacto Izod	25(J. m ⁻¹)

Fonte: BRASKEN, 2014.

O polipropileno é obtido pela polimerização do propeno (propileno):

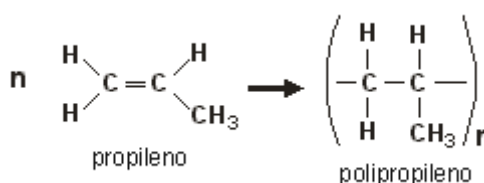


Figura 45 - Polipropileno

Fonte: PORTAL SÃO FRANCISCO, 2011.

“O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico, com densidade em torno de 0,90 g/cm³, índice de refração= 1,49, Tg (temperatura de transição vítrea) = 4-12°C e Tm (temperatura de fusão) = 165-175°C. A alta cristalinidade do PP, entre 60 e 70%, lhe confere elevada resistência mecânica, rigidez e dureza” (BRASKEN, 2014).

O PP foi desenvolvido em 1957 pela Montecatini em Milão, com base nos estudos do Professor G. Natta e nos catalisadores desenvolvidos por Ziegler (organo metálicos) sendo, introduzido no mercado por volta de 1959.

O propeno ou propileno é uma olefina que, sob pressão atmosférica, passa do estado gasoso a -48°C . Pode ser obtido através da pirólise de hidrocarbonetos mais pesados (naftas) ou, ainda, da recuperação dos gases de refinaria. (BRASKEN, 2014)

Sua sigla é PP e, para efeitos de reciclagem, seu símbolo é:



Fonte: ROTULAGEM AMBIENTAL, 2013.

6.2.1. Aplicações do Polipropileno

O PP é utilizado para produzir objetos moldados, fibras para roupas, cordas, tapetes, material isolante, bandejas, embalagens, prateleiras e pára-choques de automóveis, dentre outros.

O Bubble Deck (Figura 46) foi desenvolvido para a construção civil. Sua aplicação é na fabricação de lajes mais leves, diminuindo o uso de concreto e o peso da estrutura.



Figura 46 - Bubble Deck
Fonte: PACKLESS, 2013.

O Pack Less (Figura 47) é um pallet de polipropileno. Ele substitui o pallet de madeira utilizado em transporte de cargas.



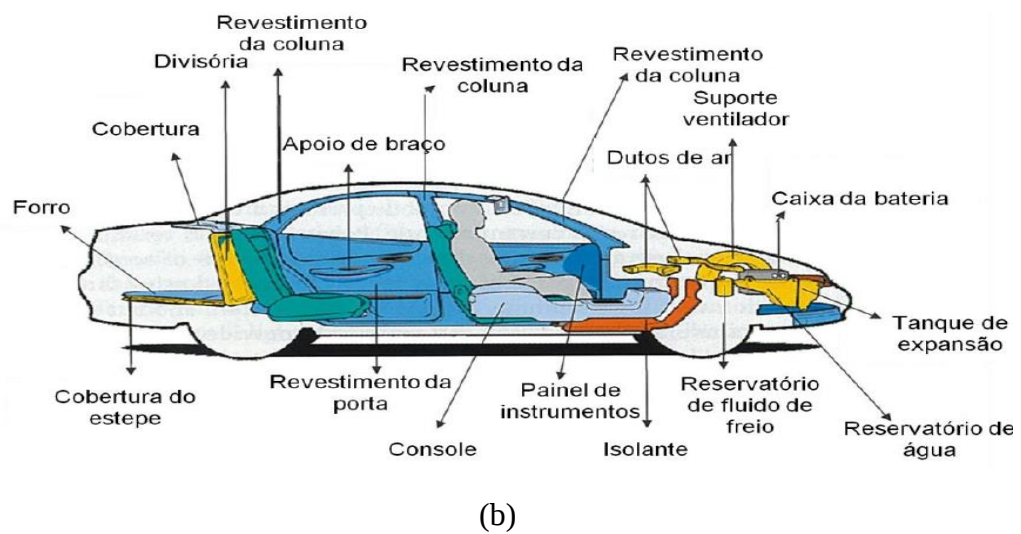
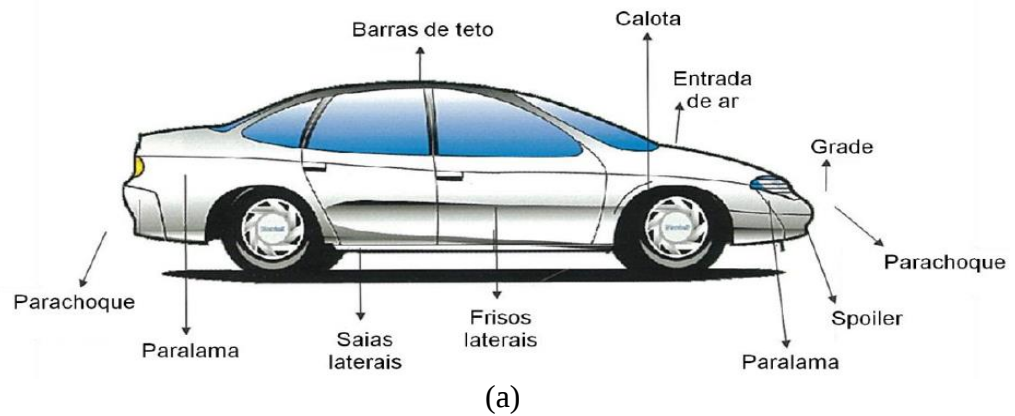
Figura 47 - Pack Less
Fonte: PACKLESS, 2013.

A conhecida grama sintética (Figura 48) também é feita de polipropileno.



Figura 48 - Grama Sintética
Fonte: JRCC, 2014.

Na indústria automobilística existe uma vasta aplicação para o polipropileno como mostram as Figuras 49 a e 49 b.



(b)

Figura 49 - a - Aplicação do polipropileno em automóveis parte externa ;
 b - Aplicação do polipropileno em automóveis parte interna
 Fonte: PETRY, 2011.

6.3. MÉTODOS

O Fluxograma da Figura 50 mostra resumidamente os procedimentos utilizados para a obtenção dos corpos de prova para os ensaios.



Figura 50 - Fluxograma (corpos de prova)
Fonte: A AUTORA, 2014.

As placas foram pré trituradas no equipamento moinho granulador do fabricante Plastimax no Laboratório de Ensaio Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda UniFOA para redução da granulometria. Como pode-se observar nas Figuras 51 e 52.



Figura 51- Moinho Granulador
Fonte: A AUTORA, 2014.



Figura 52 - Placas fragmentadas
Fonte: A AUTORA, 2014.

A granulometria das amostras foi verificada através do peneiramento, 40 gramas da amostra foram peneiradas com peneiras de 2 mm, 850 μm e 475 μm . 47,5% da amostra não passou da peneira de 2 mm, 11,25% da amostra não passou da peneira de 850 μm e 39,25% da amostra não passou da peneira de 475 μm .

Após serem pré trituradas pode-se constatar na Figura 52 que as partículas não têm dimensões uniformes e ainda estão muito grandes e que algumas amostras apresentam uma composição distinta, sendo necessário então

reduzir ainda mais o tamanho das partículas. Essa redução foi realizada no equipamento moinho MA48 do fabricante Marcom.



Figura 53– Moinho
Fonte: A autora, 2014.

A granulometria das amostras após a segunda redução também foi verificada através do peneiramento, 10 gramas da amostra foram peneiradas com peneiras de 600 μm , 425 μm e 75 μm . 19% da amostra não passou da peneira de 600 μm , 59% da amostra não passou da peneira de 425 μm e 21% da amostra não passou da peneira de 75 μm .

As amostras de menor granulometria (praticamente em forma de pó) foram misturadas ao polipropileno na proporção de 47,5g (95%) de polipropileno e 2,5g (5%) de amostra conforme a Tabela 2 em um misturador termocinético.

“Vários processos de transformação de plásticos têm sido usados na produção de compósitos poliméricos, tais como, o processo de extrusão e o misturador termocinético de alta intensidade” (MULINARI, 2009).

A fonte de aquecimento, necessária para a mistura do polipropileno e as placas para obtenção do termoplástico é gerada pelo atrito do material com as palhetas do misturador em alta rotação.

Estes fenômenos que ocorrem no interior do misturador durante a rotação das palhetas são marcados pela elevação da corrente necessária para manter a alta rotação das palhetas. Com a mistura, o material passa de grânulos separados para uma massa viscosa homogênea, que dificulta a movimentação das palhetas, requerendo então mais energia elétrica para manter essa movimentação, sendo essa medida um indicador do momento em que ocorreu a fusão. (LUZ, 2008, p.49)



Figura 54 - Equipamento de Mistura
Fonte: A AUTORA, 2014.

Após a mistura os materiais obtidos foram triturados em um moinho.



Figura 55 - Amostras fundidas e fragmentadas
Fonte: A AUTORA, 2014.

Em seguida, foi realizada a moldagem por injeção dos materiais em uma injetora marca Ray-Ran modelo RR/TSMP também do Laboratório do UniFOA, com temperatura de processo de 300°C, para a obtenção dos corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos. Os materiais foram moldados de acordo com as normas ASTM D638 e ASTM D790.



Figura 56 - Injetora
Fonte: A AUTORA, 2014.

6.4. ENSAIOS

As propriedades mecânicas dos materiais compósitos são de grande interesse científico e tecnológico, devido aos requisitos que os diversos polímeros devem atender na maior parte de suas aplicações. Valores de propriedades mecânicas tais como, resistência à tensão, módulo de elasticidade, alongação, entre outros, podem servir como base de comparação de desempenho mecânico dos diferentes polímeros. Estes valores de propriedades mecânicas são obtidos através de ensaios mecânicos padronizados, dentre os quais se destacam os ensaios de solicitação mecânica sob tração, flexão, impacto, e outros. (CANEVAROLO, 2004, p. 229)

6.4.1. Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra geometricamente padronizada. A carga aplicada parte de um valor inicial igual à zero e aumenta lentamente até a ruptura do corpo de prova.

Os principais resultados dos ensaios são: módulo de ruptura na flexão, módulo de elasticidade, módulo de resiliência e módulo de tenacidade.

Aplicando um esforço numa barra bi apoiada, ocorrerá uma flexão a sua intensidade dependerá de onde essa carga está sendo aplicada. A flexão será máxima se for aplicada à força no centro da barra.

O produto da força pela distância do ponto de aplicação da força ao ponto de apoio origina o que chamamos de momento, que no caso da flexão é o momento fletor (M_f).

Nos ensaios de flexão, a força é sempre aplicada na região média do corpo de prova e se distribui uniformemente no resto do corpo. Devido a isso se considera para calcular o momento fletor a metade da força e do comprimento útil. A equação 1 mostra o cálculo do momento fletor:

$$M_f = \frac{F}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{FL}{4} \quad \text{Eq.1}$$

Para calcular a tensão de flexão é necessário calcular o momento de inércia:

Para corpos de seção retangular:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Eq.2}$$

Falta ainda um elemento para enfim calcular a Tensão de flexão, o módulo de resistência da seção transversal, representado por W , é a medida de resistência em relação a um momento. O valor de módulo é conhecendo dividindo o momento de inércia pela distância da linha neutra à superfície do corpo de prova.

$$W = \frac{J}{c} \quad \text{Eq.3}$$

Dessa maneira pode-se calcular a Tensão de flexão.

$$TF = \frac{M_f}{W} \quad \text{Eq.4}$$

O valor da carga obtido varia conforme o material seja dúctil ou frágil. No caso de materiais dúcteis considera-se a força obtida no limite de elasticidade.

Quando se trata de materiais frágeis, considera-se a força registrada no limite de ruptura.

Outras propriedades que podem ser avaliadas no ensaio são a flexão máxima e o módulo de elasticidade.

A fórmula para o cálculo da flexão máxima:

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{FL}{EJ} \quad \text{Eq.5}$$

Dessa maneira pode-se calcular o módulo de elasticidade:

$$E = \frac{1}{48} \cdot \frac{FL}{fJ} \quad \text{Eq.6}$$

Foi realizada a moldagem por injeção de corpos de prova Figura 56 normatizados (ASTM D790) em uma injetora marca Ray-Ran modelo RR/TSMP, com temperatura de processo de 300°C.

6.4.2. Ensaio de Impacto

A resistência ao impacto representa a tenacidade ou a rigidez que um material rígido possui quando é submetido à deformação utilizando a uma velocidade muito alta. Parâmetro que quantifica a resistência ao impacto é a energia de impacto.

O ensaio de impacto foi realizado com a máquina PANTEC PS 30 de capacidade de 300 J, mostrada na Figura 57. A Figura 58 mostra o detalhe do corpo de prova para o ensaio de impacto.

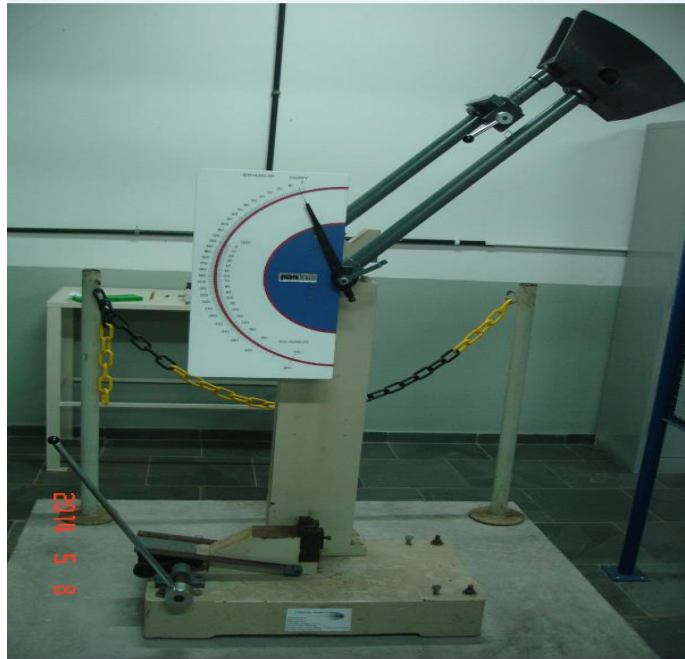


Figura 57 - Equipamento de ensaio de impacto
Fonte: A AUTORA, 2014.



Figura 58 - Ensaio de impacto – foco na amostra
Fonte: A AUTORA, 2014.



Figura 59 - Amostras do ensaio de impacto
Fonte: A AUTORA, 2014.

Foram analisados 3 corpos de prova de cada amostra, com dimensões de acordo com a norma ASTM D6110–06 (2006) com 12mm de largura, 63,5 mm de comprimento e 12 mm de espessura. Foram avaliadas a energia absorvida ao impacto e a resistência.

6.4.3. Ensaio de Tração

O ensaio de tração é usado para o levantamento de informações básicas sobre a resistência dos materiais.

O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente a um corpo de prova, ao mesmo tempo em que são medidas as variações no comprimento.

A deformação na tensão máxima indica o último ponto em que a deformação no corpo de prova é elástica. Ou seja, se o corpo se deformar além deste valor, isto indica que as cadeias poliméricas estão se movimentando entre si e, caso a tensão cesse, o corpo não mais retornará às dimensões iniciais, sofrendo deformação permanente.

O módulo de Young ou módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. É um parâmetro fundamental para a engenharia e aplicação de materiais, pois está associado com a descrição de várias outras propriedades mecânicas, como por exemplo, a tensão de escoamento, a tensão de ruptura, a

variação de temperatura crítica para a propagação de trincas sob a ação de choque térmico, etc. (CALLISTER, 2013, p.591)

É uma propriedade intrínseca dos materiais, dependente da composição química, microestrutura e defeitos (poros e trincas), que pode ser obtida da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material. Tensão corresponde a uma força ou carga, por unidade de área, aplicada sobre um material, e deformação é a mudança nas dimensões, por unidade da dimensão original. Assim, o módulo de Young é dado por:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Eq.7}$$

E - é o módulo de elasticidade ou módulo de young, medido em unidades de pressão (Pa ou N/m² ou m⁻¹·kg·s⁻²).

As unidades praticadas são mega pascal (MPa ou N/mm²) ou giga pascal (GPa ou kN/mm²)

σ - é tensão aplicada, medida em pascal (N/m²),

ε - é a deformação elástica longitudinal do corpo de prova (adimensional).

$$E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{l_0}} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l} \quad \text{Eq.8}$$

Onde:

F - é a força, medida em newton.

A - é a área da secção através da qual é exercida a tensão, e mede-se em metros quadrados.

Δl - é a variação do comprimento, medido em metros.

l_0 - é o comprimento inicial, medido em metros.



Figura 60 - Amostras para o ensaio de tração
Fonte: A AUTORA, 2014.

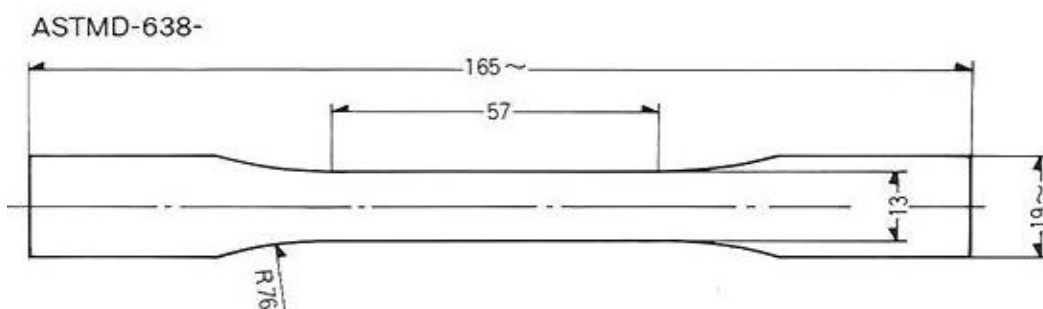


Figura 61 - Corpo de prova segundo a Norma ASTM
Fonte: Norma ASTM D638, 2006.

O ensaio de tração foi realizado com o equipamento EMIC DL 10000 com capacidade de 100 KN e célula de carga de 5 KN e velocidade de ensaio de 3mm/min que é apresentada na Figura 62. Os corpos de prova foram injetados segundo a Norma ASTM D638 (2006) como mostram as Figuras 60 e 61.



Figura 62 - Ensaio de tração
Fonte: A AUTORA, 2014

A Figura 63 mostra o início do teste de tração e a Figura 64 mostra o fim do referido teste.



Figura 63 - início do ensaio de tração
Fonte: A AUTORA, 2014



Figura 64 - fim do ensaio de tração
Fonte: A AUTORA, 2014

6.4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia dispersiva (EDS ou EDX).

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento capaz de produzir imagens de alta ampliação e resolução.

O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de feixes de elétrons por um filamento capilar de tungstênio (eletrodo negativo), mediante a aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 KV. Essa variação de tensão permite a variação da aceleração dos elétrons, e também provoca o aquecimento do filamento. A parte positiva em relação ao filamento do microscópio (eletrodo positivo) atrai fortemente os elétrons gerados, resultando numa aceleração em direção ao eletrodo positivo. A correção do percurso dos feixes é realizada pelas lentes condensadoras que alinham os feixes em direção à abertura da objetiva. A objetiva ajusta o foco dos feixes de elétrons antes dos elétrons atingirem a amostra analisada. (CALLISTER, 2013)

Foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura modelo Hitachi - TM - 3000 do laboratório da UniFOA operado com uma tensão de 15KV de aceleração, apresentado na Figura 65. As imagens foram obtidas a partir da otimização dos sinais de elétrons secundários.



Figura 65 - MEV UniFOA
Fonte: A AUTORA, 2015

O Microscópio utilizado pertence ao laboratório de processamento de materiais do UniFOA. As amostras foram submetidas ao recobrimento metálico com ouro Figura 66.



Figura 66 - Amostras recobertas com ouro
Fonte: A AUTORA, 2015.

O energy dispersive x-ray detector (EDX ou EDS) é um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais.

Quando o feixe de elétrons incide sobre um mineral, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-x. Um detector instalado na câmara de vácuo do MEV mede a energia associada a esse elétron.

“Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos estão presentes naquele local e assim identificar em instantes que mineral está sendo observado. O diâmetro reduzido do feixe permite a determinação da composição mineral em amostras de tamanhos muito reduzidos ($< 5 \mu\text{m}$), permitindo uma análise quase que pontual” (KESTEMNBACH, 1994).

O uso em conjunto do EDX com o MEV é de grande importância na caracterização petrográfica e estudo petrológico nas geociências. Enquanto o MEV proporciona nítidas imagens (ainda que virtuais, pois o que se vê no monitor do computador é a transcodificação da energia emitida pelas partículas, ao invés da radiação emitida pela luz, ao qual estamos habitualmente acostumados), o EDX permite sua imediata identificação. Além da identificação mineral, o equipamento ainda permite o mapeamento da distribuição de elementos químicos por minerais, gerando mapas composicionais de elementos desejados. (MANNHEIMER, 2008, p.221)

Para a análise das amostras desse trabalho foi utilizado o EDS do Laboratório da UFF (Universidade Federal Fluminense) modelo EVO MA10 da marca Zeiss apresentado na Figura 67.



Figura 67 - EDS – UFF
Fonte: Laboratório de Materiais – UFF VR, 2009.

6.4.5. Análise Térmica Simultânea

Dentro das técnicas de análise térmica existem as análises por DSC (calorimetria diferencial de varredura), DTA (análise diferencial térmica), ATG (análise termogravimétrica), TMA (análise termomecânica) e DMA (análise dinâmica-mecânica).

Neste trabalho as amostras foram submetidas às técnicas ATG e DSC.

Na análise termogravimétrica, uma balança é usada para medir a perda de massa em função da temperatura.

“Uma célula de medição DSC consiste de um forno e um sensor integrado com posições designadas para os cadinhos de amostra e referência. As áreas do sensor estão conectadas aos termopares ou podem, até mesmo, ser parte do termopar. Isto permite a gravação tanto da diferença de temperatura entre o lado da amostra e a referência (Sinal DSC) e a temperatura absoluta do lado da amostra ou da referência” (PASSOS, 1998).

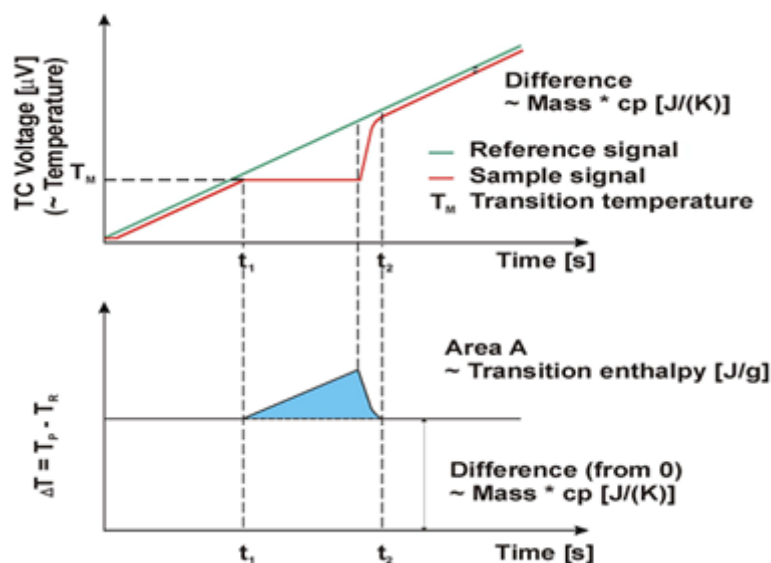


Figura 68 - Análise do gráfico de DSC
 Fonte: Fornecedor de DSC – NETZSCH, 2014.

Devido ao calor específico (cp) da amostra, o lado da referência (usualmente um cadinho vazio) geralmente aquece mais rapidamente do que o lado da amostra durante o aquecimento de uma célula de medição DSC; isto é, a temperatura de referência (TR, verde) aumenta ligeiramente mais rápido do que a temperatura da amostra (TP, vermelho). As duas curvas apresentam comportamento paralelo durante o aquecimento a uma taxa de aquecimento constante – até que uma reação ocorra na amostra. No caso mostrado aqui, amostra começa a fundir no tempo t1. A temperatura da amostra não varia durante a fusão; A temperatura do lado da referência, entretanto, permanece inalterada e continua apresentando um aumento linear. Quando a fusão é completada, a temperatura da amostra também começa a aumentar novamente e, começando com o ponto no tempo t2, novamente apresenta um aumento linear. (NETZSCH, 2014)

O sinal da diferença das duas curvas de temperaturas (ΔT) é mostrado na parte debaixo da Figura 68. Na seção do meio da curva, o cálculo da diferença gera um pico (azul) representando o processo de fusão endotérmico. Dependendo se a temperatura da referência foi subtraída da temperatura da amostra ou vice versa durante este cálculo, o pico gerado pode estar orientado para cima ou para baixo no gráfico. A área de pico está correlacionada com o teor de calor da transição (entalpia em J/g).

Os ensaios de caracterização térmica foram realizados na PUC – Rio no analisador térmico simultâneo da Perkin-Elmer modelo STA-6000 e foram utilizadas as seguintes condições de análises:

- Faixa de temperatura: 25 a 550°C;
- Taxa de aquecimento: 10°C/min;
- Atmosfera na amostra: N₂;

- Vazão do gás: 20 ml/min;
- Volume do cadinho de alumina: 180 μ l;
- Quantidade de material ~ 12 mg.

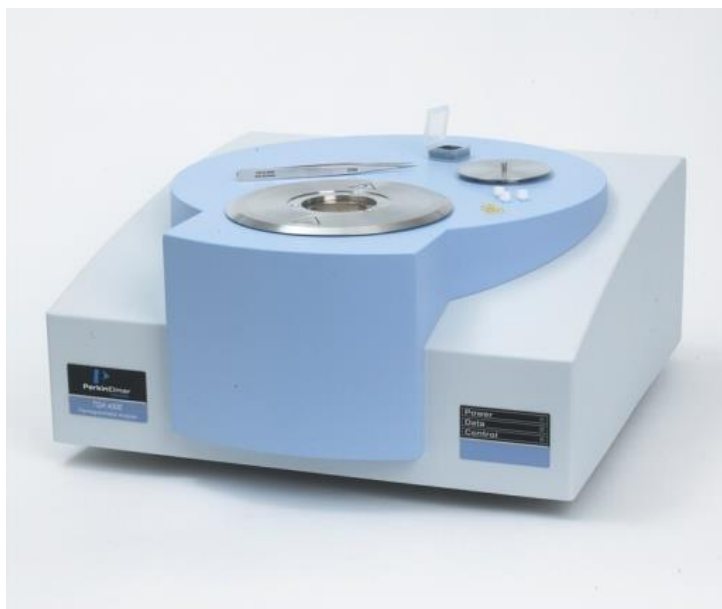


Figura 69 - Analisador Térmico

Fonte: Laboratório de difração de Raios X – PUC Rio, 2014.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. Resultados do equipamento para retirada de componentes

Com o desenvolvimento do equipamento de retirada de componentes observou-se que é possível separar os componentes eletrônicos da placa de circuito impresso por meio de um método automatizado economizando assim o tempo que seria gasto realizando a mesma tarefa manualmente. Viabilizando o processo de reciclagem de placas.

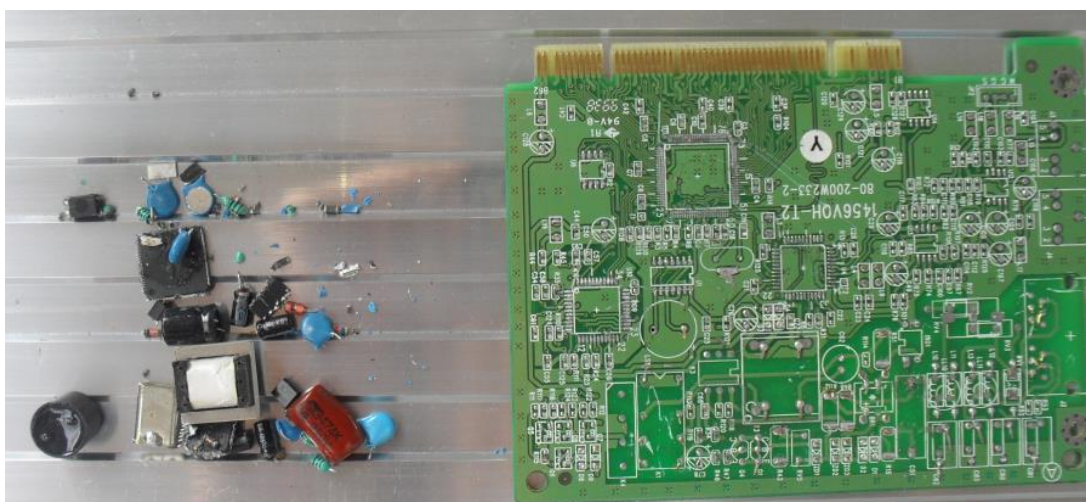


Figura 70 - Placa separada de seus componentes
Fonte: A AUTORA, 2014

7.2. Resultados dos ensaios

7.2.1. Resultado - Ensaio de Flexão

Analisando as amostras 2 e 3 Figura 71 de resistência a Flexão observa-se que aconteceu um aumento de 54,5% em comparação ao PP puro (tabela 4). Como a fase partícula da (placa) é mais dura e rígida do que o PP, as partículas reforçantes tendem a restringir o movimento da fase matriz (PP) na vizinhança de cada partícula. Em essência, a matriz transfere alguma tensão aplicada às

partículas, que suportam uma fração da carga. Enquanto que a matriz suporta a maior porção de uma carga aplicada, as pequenas partículas dispersas dificultam ou impedem o movimento das discordâncias. Assim deformação plástica é restringida.

Verifica-se também através da Figura 71 que as amostras 1, 2, 3 e 4 apresentam comportamentos parecidos.

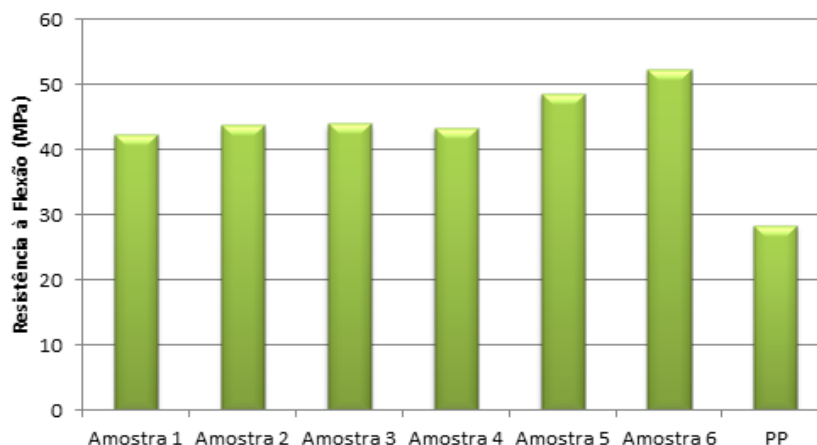


Figura 71 - Resistência a Flexão

Fonte: A AUTORA, 2014.

Tabela 4 - Dados obtidos dos ensaios de flexão.

Teste de flexão			
Análises	Força máxima (N)	Resistência a Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Amostras			
1	144,37±3,23	42,35±2,07	976,39±326,20
2	168,11±20,38	43,71±2,18	1193,63±64,10
3	162,24±6,66	44,03±4,55	971,86±596,11
4	146,23±3,69	43,34±1,98	1233,33±77,63
5	163,31±3,20	48,66±1,22	1051,77±617,82
6	177,18±4,88	52,41±0,77	1481,22±54,07

Fonte: A AUTORA, 2014.

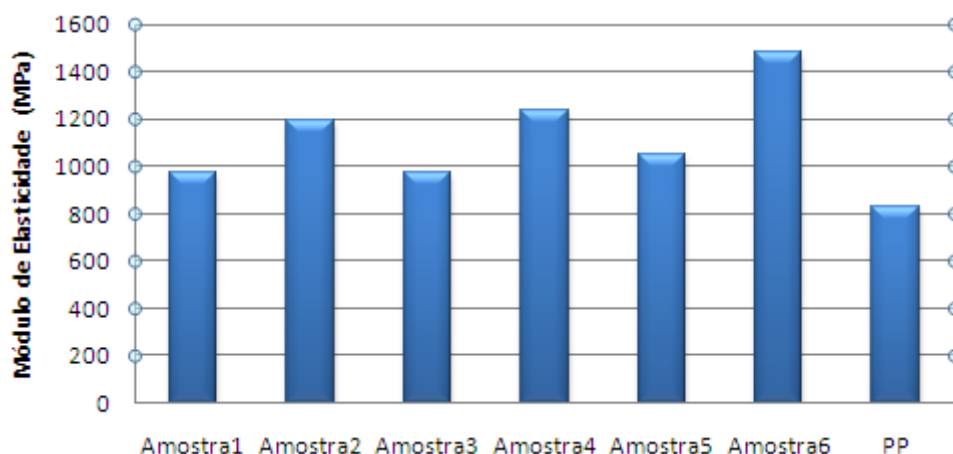


Figura 72 - Módulo de Elasticidade (Ensaio de Flexão)
Fonte: A AUTORA, 2014.

7.2.2. Resultado - Ensaio de Impacto

Os resultados mostrados na Tabela 5 e na Figura 73 indicam que a resistência média ao impacto foi reduzida, ao ser adicionado a mistura de placas. O Polipropileno puro apresentou uma média de $0,067 \text{ J/mm}^2$ já nas amostras com adição de material reciclado essa média foi menor. As misturas mais interessantes devido à reciclagem são as misturas de número 2 e 3, observa-se na Tabela 2 que essas misturas são de placas de circuito impresso sem componentes com e sem trilhas de cobre. Essas misturas apresentaram a média de resistência ao impacto de $0,05$ e $0,053 \text{ J/mm}^2$.

Tabela 5 - Ensaio de Impacto

ENSAIO DE IMPACTO		
Amostra	Energia Absorvida (J)	Resistência ao Impacto (J/mm^2)
1	$3,00 \pm 0,00$	$0,04 \pm 0,00$
2	$3,66 \pm 0,57$	$0,05 \pm 0,01$
3	$4,00 \pm 0,00$	$0,057 \pm 0,01$
4	$4,00 \pm 0,00$	$0,06 \pm 0,00$
5	$4,00 \pm 0,00$	$0,06 \pm 0,00$
6	$4,00 \pm 0,00$	$0,06 \pm 0,00$
PP	$4,67 \pm 1,15$	$0,07 \pm 0,01$

Fonte: A AUTORA, 2014.

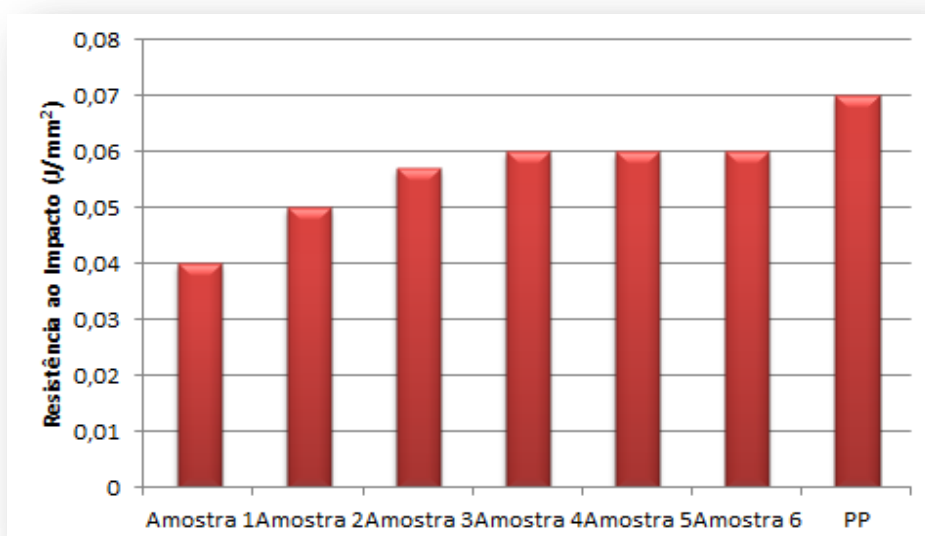


Figura 73 - Resistência ao Impacto (Ensaio de Impacto)
Fonte: A AUTORA, 2014

7.2.3. Resultado - Ensaio de Tração

Como pode-se observar na Figura 74 e na Tabela 6 o módulo de elasticidade analisado através do ensaio de tração apresentou poucas variações em comparação ao PP puro. Já a amostra 6 apresentou um aumento de 35,34% em comparação ao PP puro.

Tabela 6 - Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO				
Amostra	Tensão de escoamento (MPa)	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	13,33±0,57	1136,54 ± 80,61	23,33±1,52	1,07±0,19
2	13,67±1,15	1147,73±66,67	23,33±1,52	1,17±0,55
3	15,33±1,00	1241,98±53,31	26,33±0,57	1,15±0,53
4	14,67±0,57	1158,67±96,00	25±0,00	1,22±0,50
5	13,67±0,57	1123,27±101,86	23,33±2,08	1,14±0,64
6	15,33±0,57	1182,00 ±103,16	25,00±1,00	1,57±0,12
PP	14,00 ±1,00	1221,62±26,81	25,00 ±0,00	1,16±0,56

Fonte: A AUTORA, 2014.

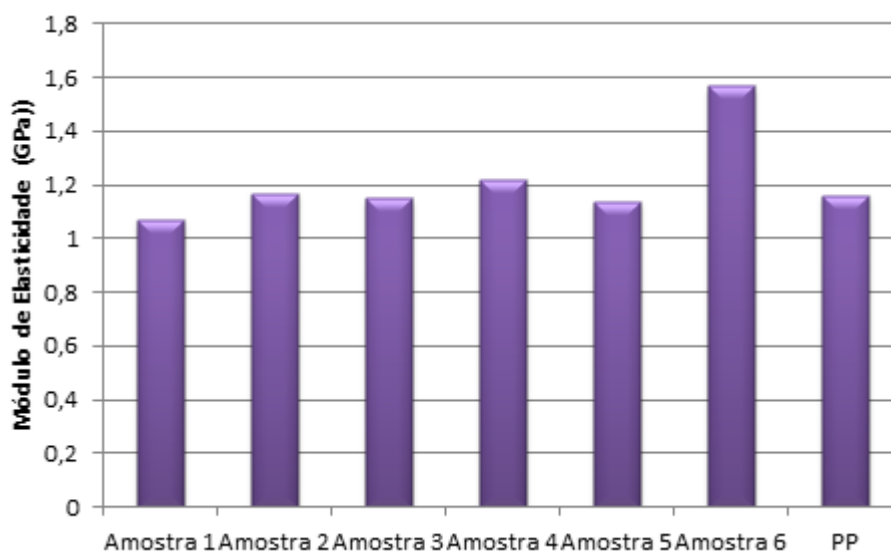


Figura 74 - Módulo de Elasticidade (Ensaio de Tração)

Fonte: A AUTORA, 2014.

Tabela 7- Análise geral dos ensaios mecânicos.

AMOSTRAS	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Energia absorvida (J)	Resistência ao impacto ($\text{J} \cdot \text{mm}^{-2}$)
PP	28,40± 12,90	824,8 ± 46,6	4,67± 1,15	0,067± 0,01
1	42,40 ±2,10	976,40±326,20	3,00 ± 0,00	0,04± 0,00
2	43,70±2,20	1194,00±64,11	3,67± 0,57	0,05± 0,01
3	44,10 ±4,60	971,90±569,10	4,00± 0,00	0,053± 0,006
4	43,30 ±2,00	1233,00±77,63	4,00 ± 0,00	0,06± 0,00
5	48,70 ±1,30	1052,00±617,80	4,00 ± 0,00	0,06± 0,00
6	52,40 ±0,78	1481,00±54,10	4,00 ± 0,00	0,06± 0,00

Fonte: A AUTORA, 2014.

A Tabela 7 mostra os principais dados dos ensaios mecânicos realizados.

7.2.4. Resultado – MEV e EDS

7.2.4.1. MEV e EDS da amostra 1

A Figura 75 mostra duas partículas da amostra 1 que é uma placa nova sem componentes e sem trilha de cobre. Essa placa é de fenolite. Como observa-se na Figura 76 tem se uma grande porcentagem de carbono pois essa placa é a base de celulose. A partícula b das Figuras 75 e 76 apresentam uma pequena

porcentagem de alumínio isso se deve a fina camada de tinta que a placa é recoberta.

A Figura 77 apresenta algumas ampliações da amostra 1 mostrando que as partículas têm aspectos uniformes.

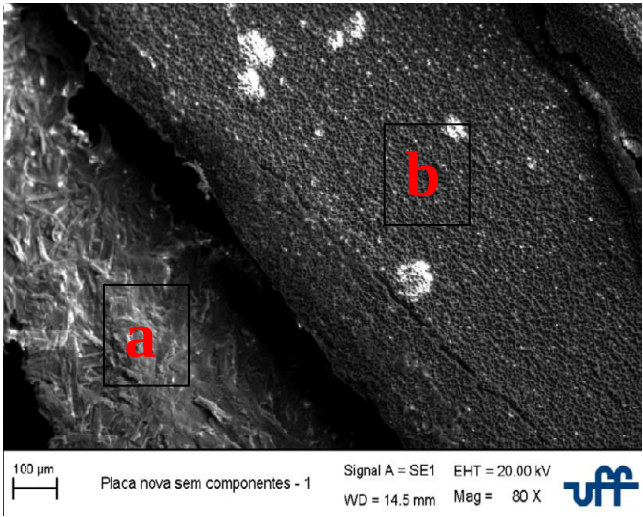


Figura 75 - Amostra 1 - MEV para EDS
Fonte: A AUTORA, 2015.

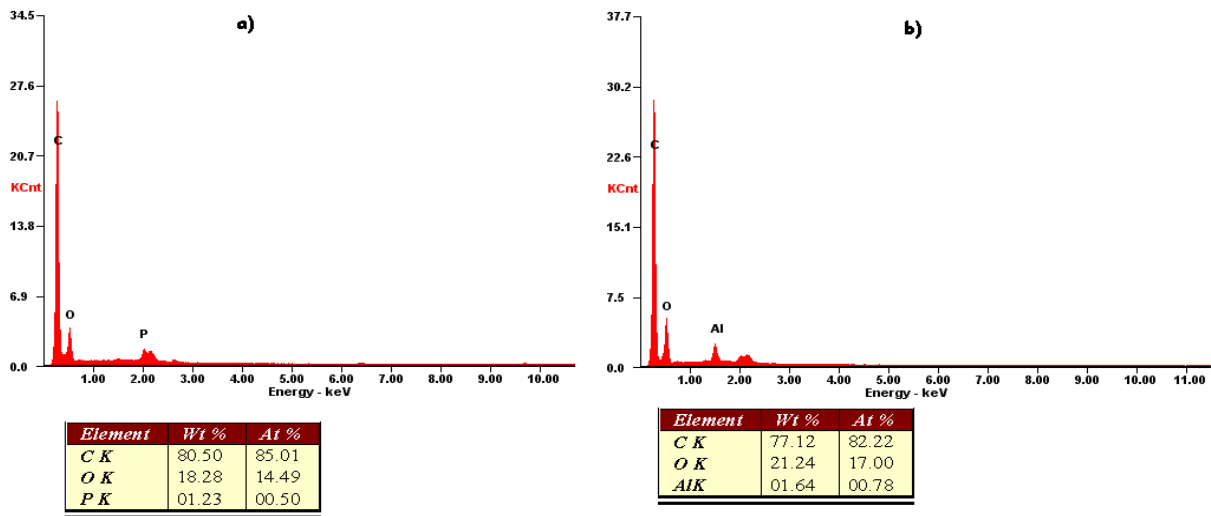


Figura 76 - EDS -Amostra 1
Fonte: A AUTORA, 2015.

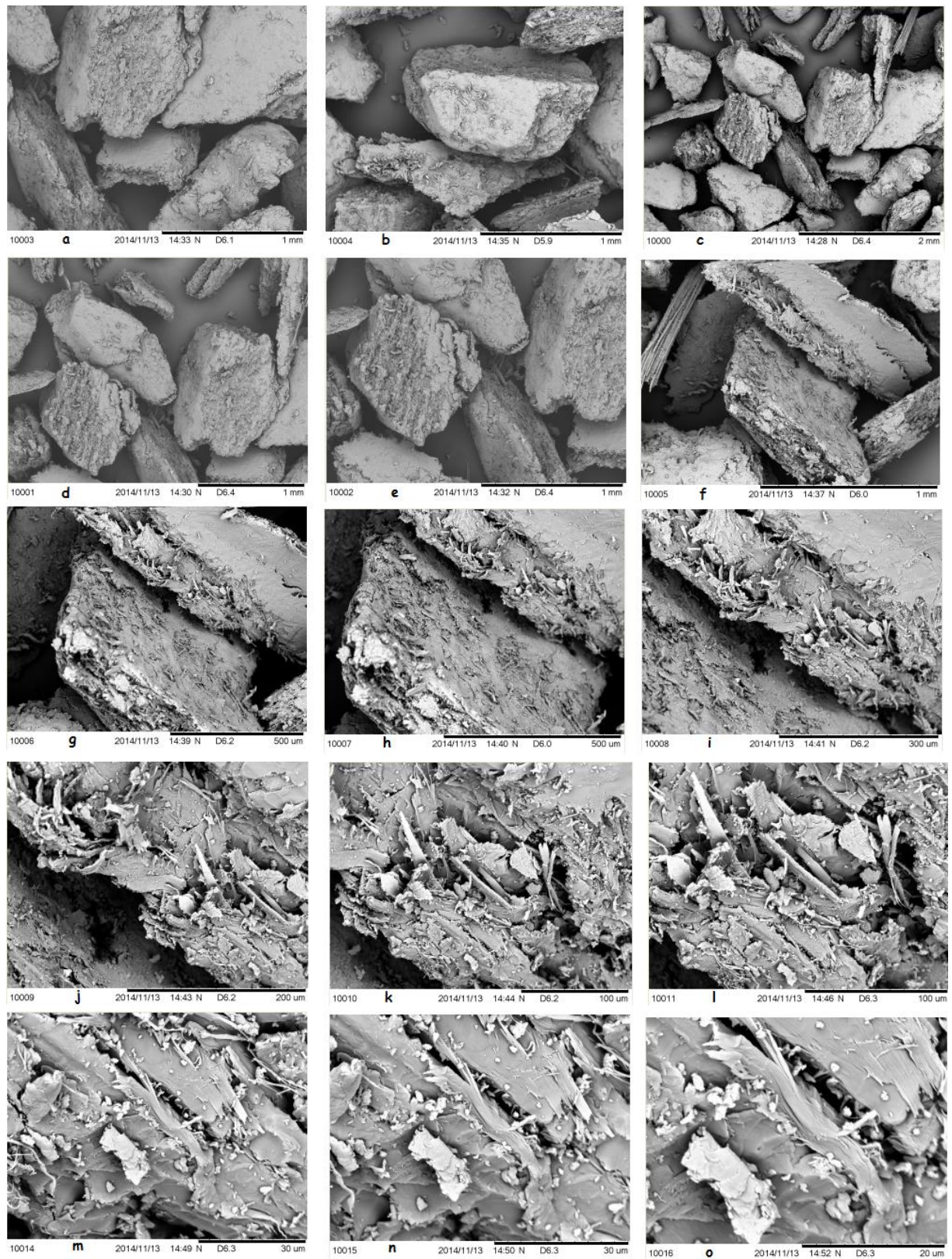


Figura 77 - MEV da Amostra 1 (Tabela 2)
Fonte: A AUTORA, 2014.

7.2.4.2. MEV e EDS da amostra 2

Observando a imagem do MEV da amostra 2 (Figura 78) observou-se duas partículas com aspectos diferentes. Essa amostra é uma placa usada sem componentes e sem trilha de cobre. As trilhas de cobre foram lixadas para a retirada, mas os furos metalizados não foram retirados, constata-se de fato por meio do EDS da amostra 2 (Figura 79), que apresentou uma porcentagem de cobre.

A amostra refere-se a uma placa de fibra de vidro, observa-se as fibras na Figura 80-a. Já na análise do EDS essa partícula apresentou um alto teor de silício que é a base da fibra de vidro.

A Figura 80 apresentou algumas ampliações da amostra 2 mostrando muitas fibras e poucas partículas com aspectos diferentes das fibras. A Figura 80- r mostra detalhes da fibra que compõe a placa de circuitos.

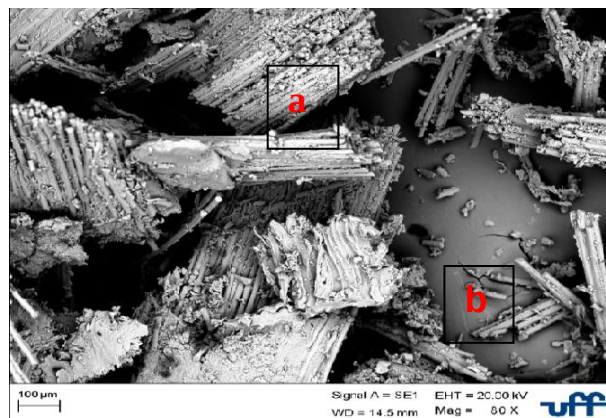


Figura 78 - Amostra 2 - MEV para EDS
Fonte: A AUTORA, 2015.

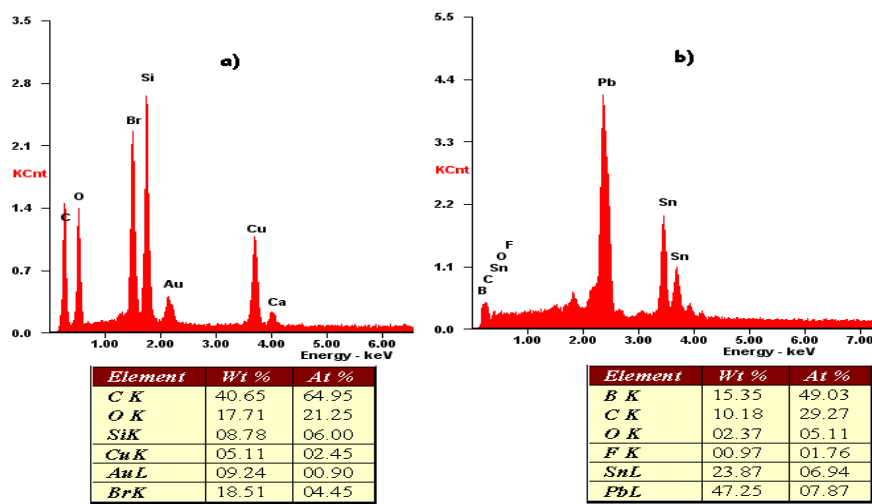


Figura 79 - EDS- Amostra 2
Fonte: A AUTORA, 2015.

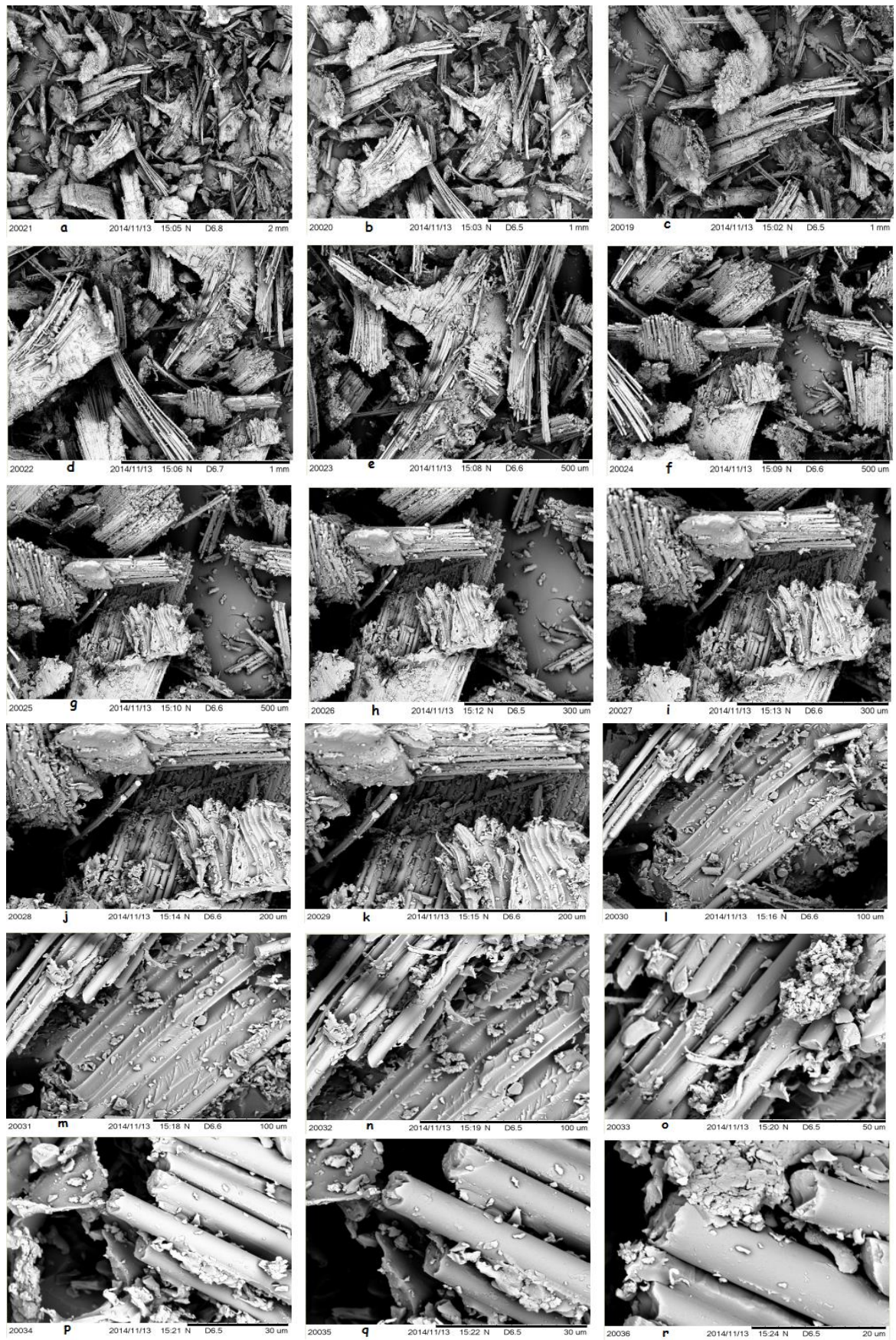


Figura 80 - MEV da Amostra 2
Fonte: A AUTORA, 2014.

A amostra 3 é uma placa usada sem componentes com trilha de cobre. Analisando a Figura 84 - a observam-se algumas partículas com formatos e texturas diferentes. Foram observados três tipos de partículas. Na Figura 81 são apresentadas as fibras, pois a placa é de fibra de vidro e apresenta alta concentração de silício. Na Figura 82 foi apresentada uma partícula de solda, pois observam-se grandes quantidades de chumbo e estanho. A Figura 83 apresenta uma partícula da trilha de cobre, pois ela tem grandes proporções de cobre.

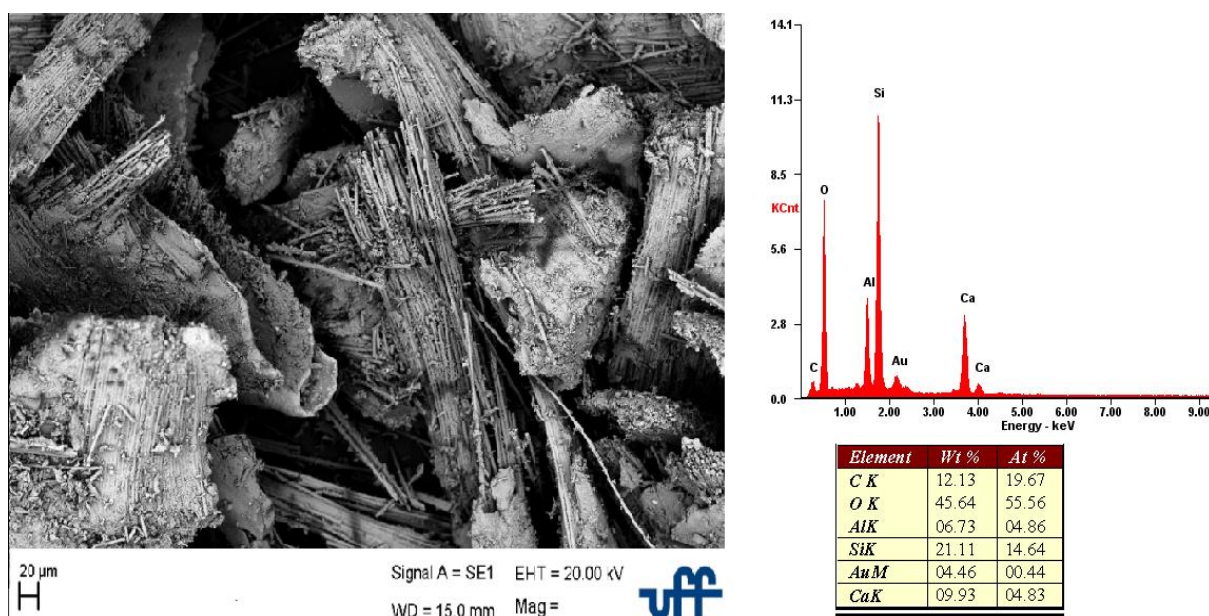


Figura 81 - MEV e EDS da amostra 3 com fibras

Fonte: A AUTORA, 2014.

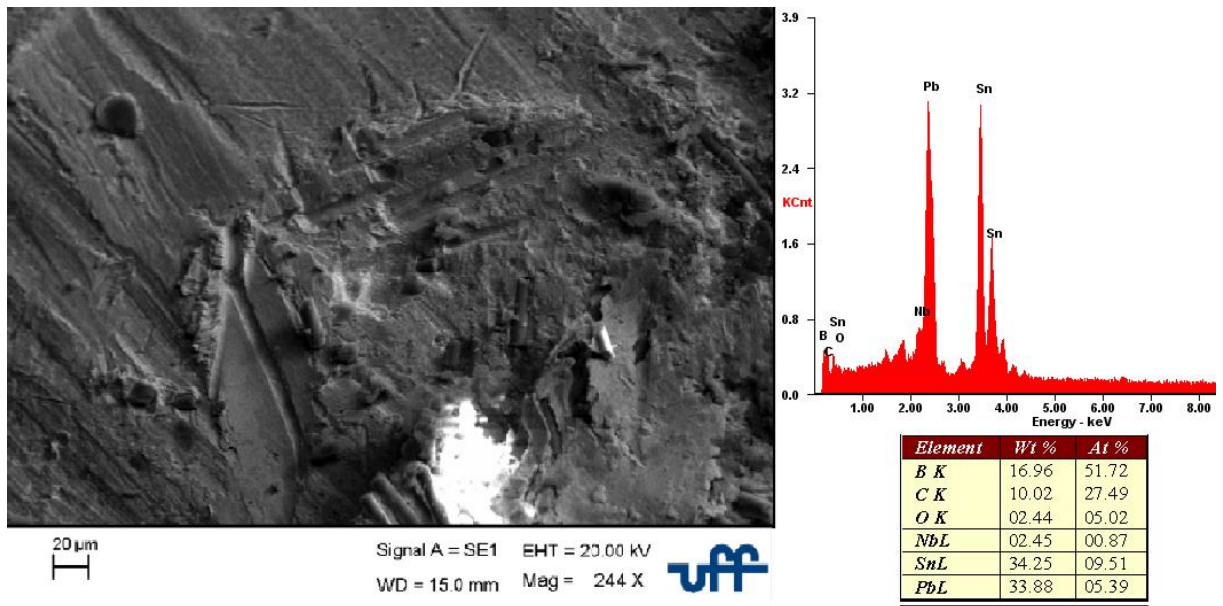


Figura 82- MEV e EDS da amostra 3com solda
Fonte: A AUTORA, 2015.

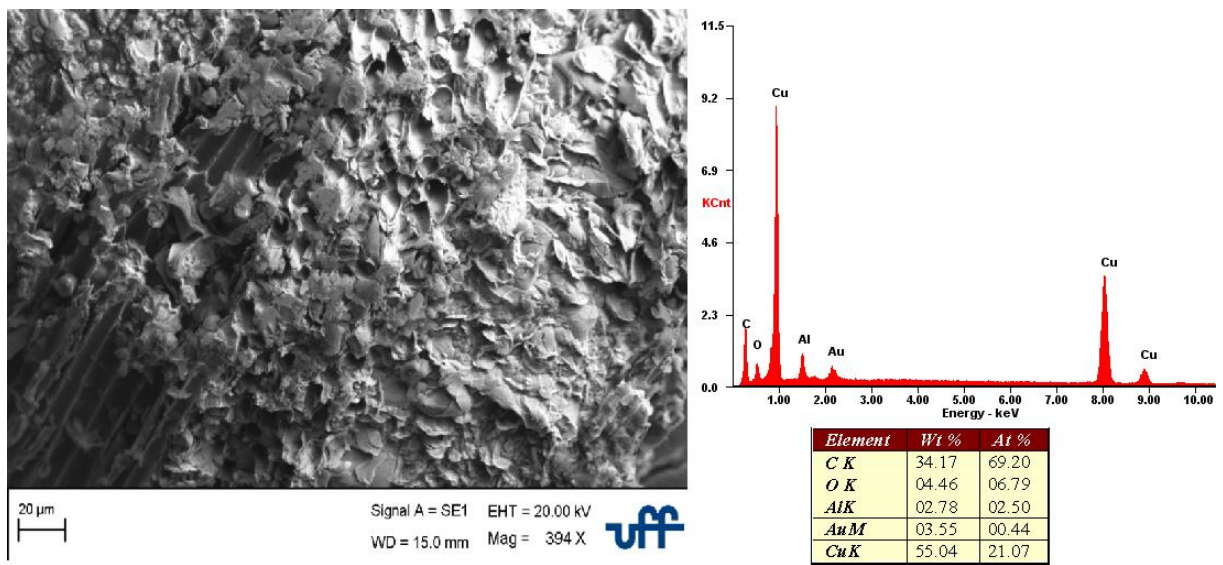


Figura 83 - MEV e EDS da amostra 3com cobre
Fonte: A AUTORA, 2015.

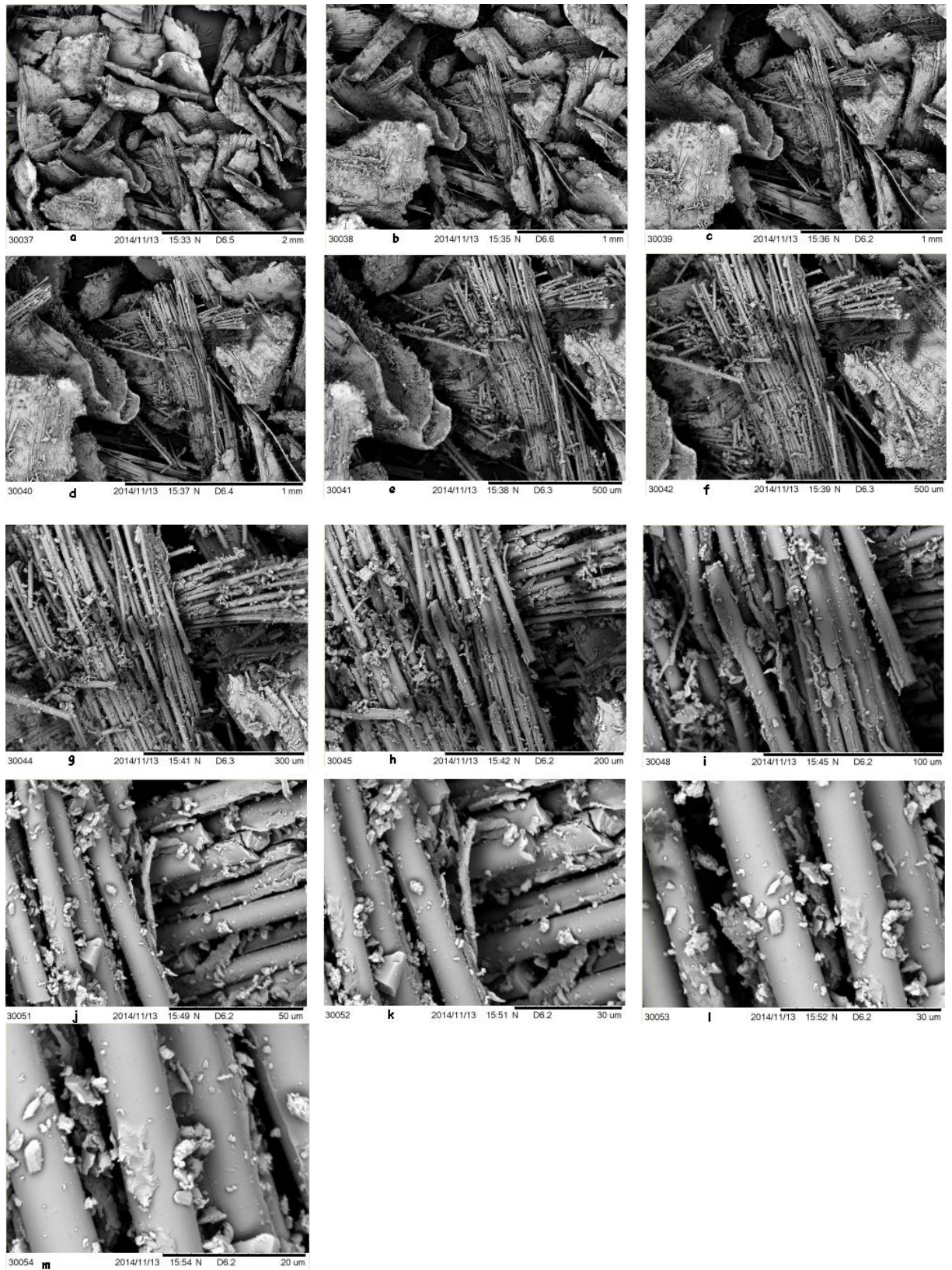


Figura 84 - MEV da Amostra 3
Fonte: A AUTORA, 2014.

7.2.4.3. MEV e EDS da amostra 4

A Figura 87 amostra duas partículas da amostra 4 que é uma placa nova sem componentes e com trilha de cobre. Essa placa é de fenolite. Como observa-se na figura 85 tem se uma grande porcentagem de carbono, pois essa placa é a base de celulose. Essa amostra contém trilha de cobre, assim observam-se partículas de cobre como é mostrado na Figura 86.

A Figura 87 apresenta algumas ampliações da amostra 4 mostrando que as partículas tem aspectos uniformes.

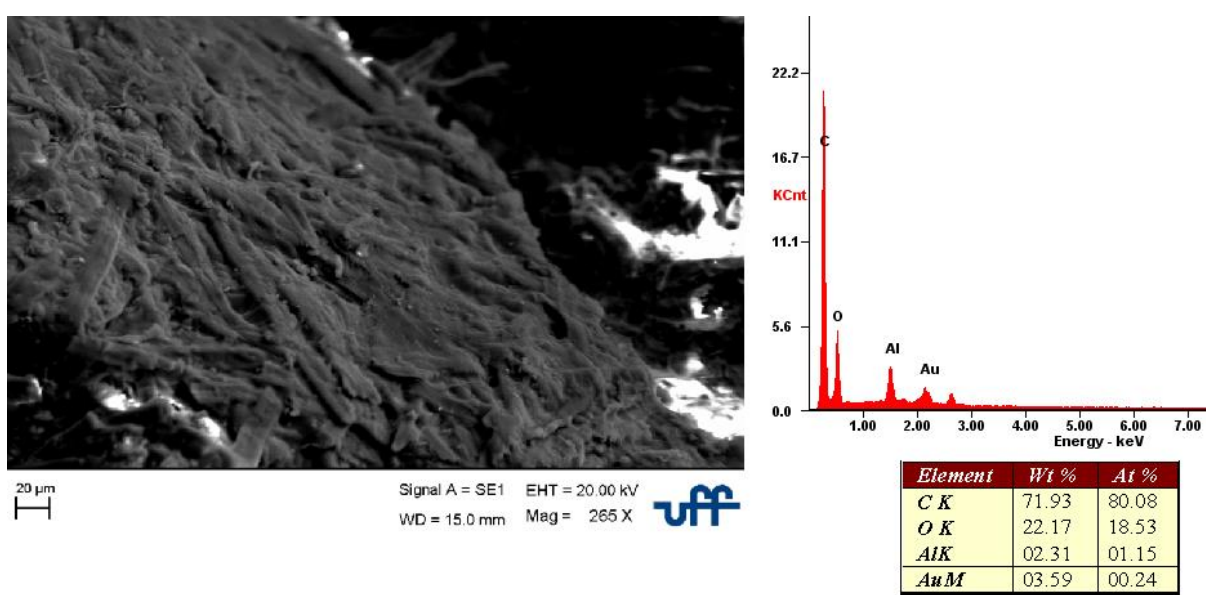


Figura 85 - MEV e EDS da amostra 4 com carbono
Fonte: A AUTORA, 2015.

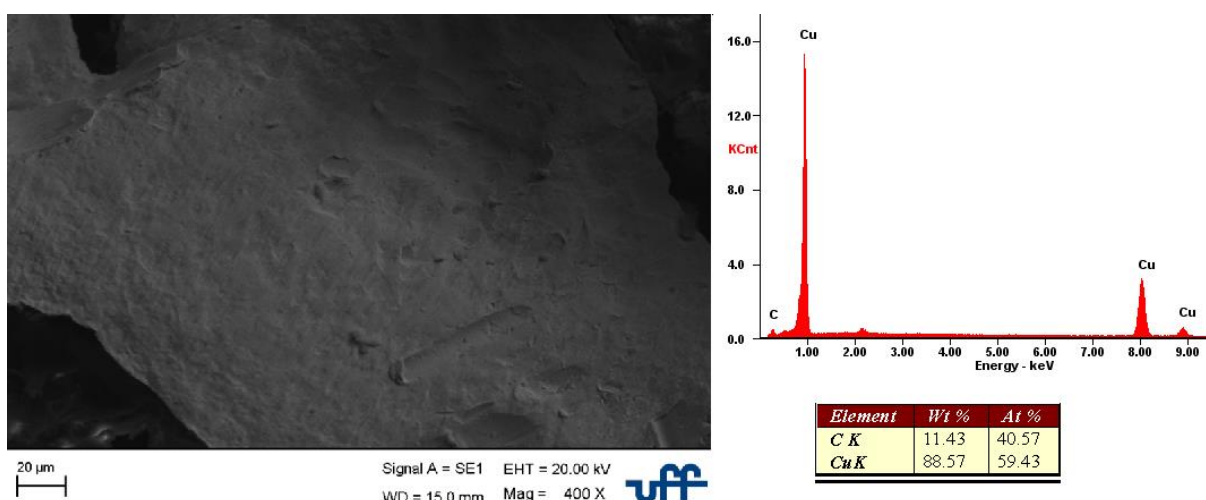


Figura 86 - MEV e EDS da amostra 4 com cobre
Fonte: A AUTORA, 2015.

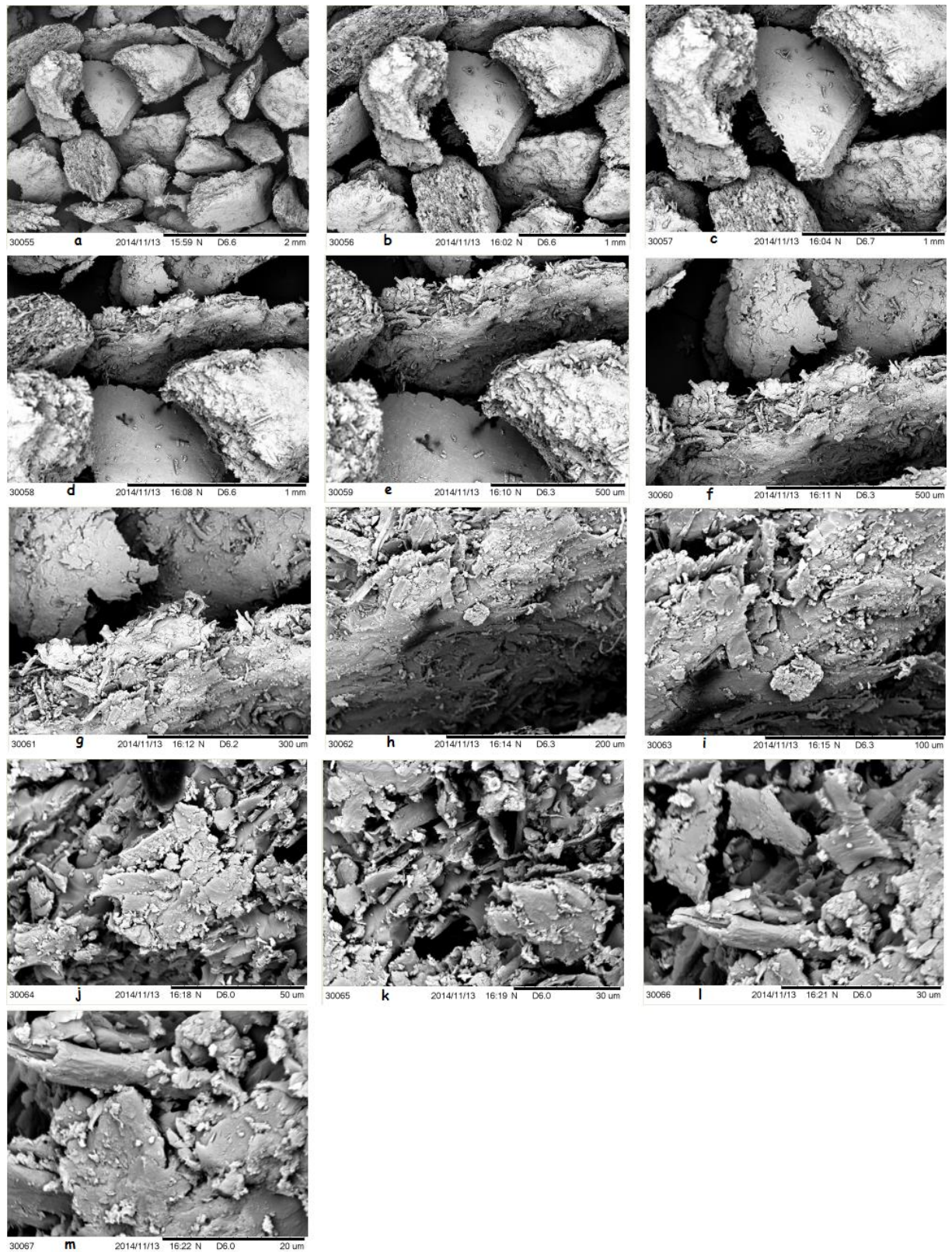


Figura 87- MEV da Amostra 4
Fonte: A AUTORA, 2014.

7.2.4.4. MEV e EDS da amostra 5

A amostra 5 também é uma placa de fibra de vidro usada e sem componentes, essa placa foi analisada devido ao problema que aconteceu durante a retirada dos componentes. O soprador de ar quente ficou muito próximo da placa causando uma queima parcial da mesma (ver Figura 42). Analisando as partículas e o EDS da amostra (Figura 88) verifica-se que a queima parcial não causou mudanças visíveis na composição da amostra, pois as fibras apresentam composições parecidas com a amostra 3 que não sofreu queima. A queima foi superficial danificando apenas a camada de verniz.

A Figura 89 mostra porcentagens relevantes de cobre, estanho e chumbo concluindo que essa partícula pertence a uma trilha de cobre ou um furo metalizado que recebeu solda. Essas duas partículas são predominantes na amostra como mostra a Figura 90.

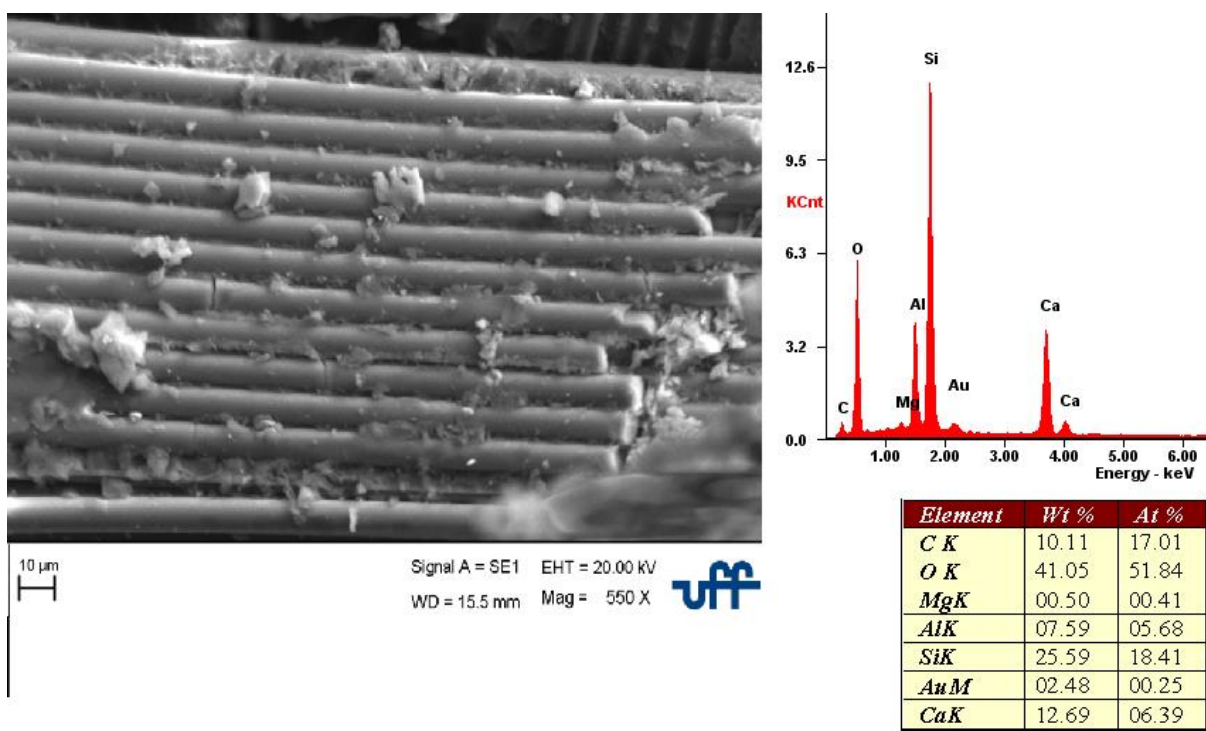


Figura 88 - MEV e EDS da amostra 5 com fibra
Fonte: A AUTORA, 2014.

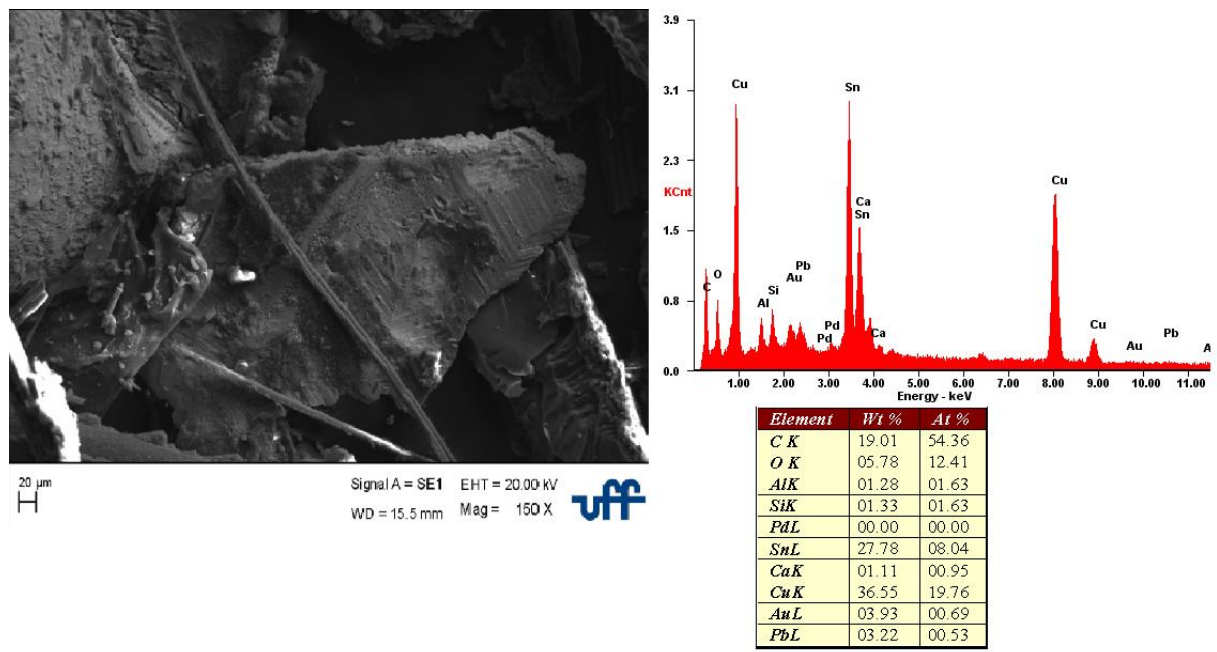


Figura 89 - MEV e EDS da amostra 5 com solda
Fonte: A AUTORA, 2014.

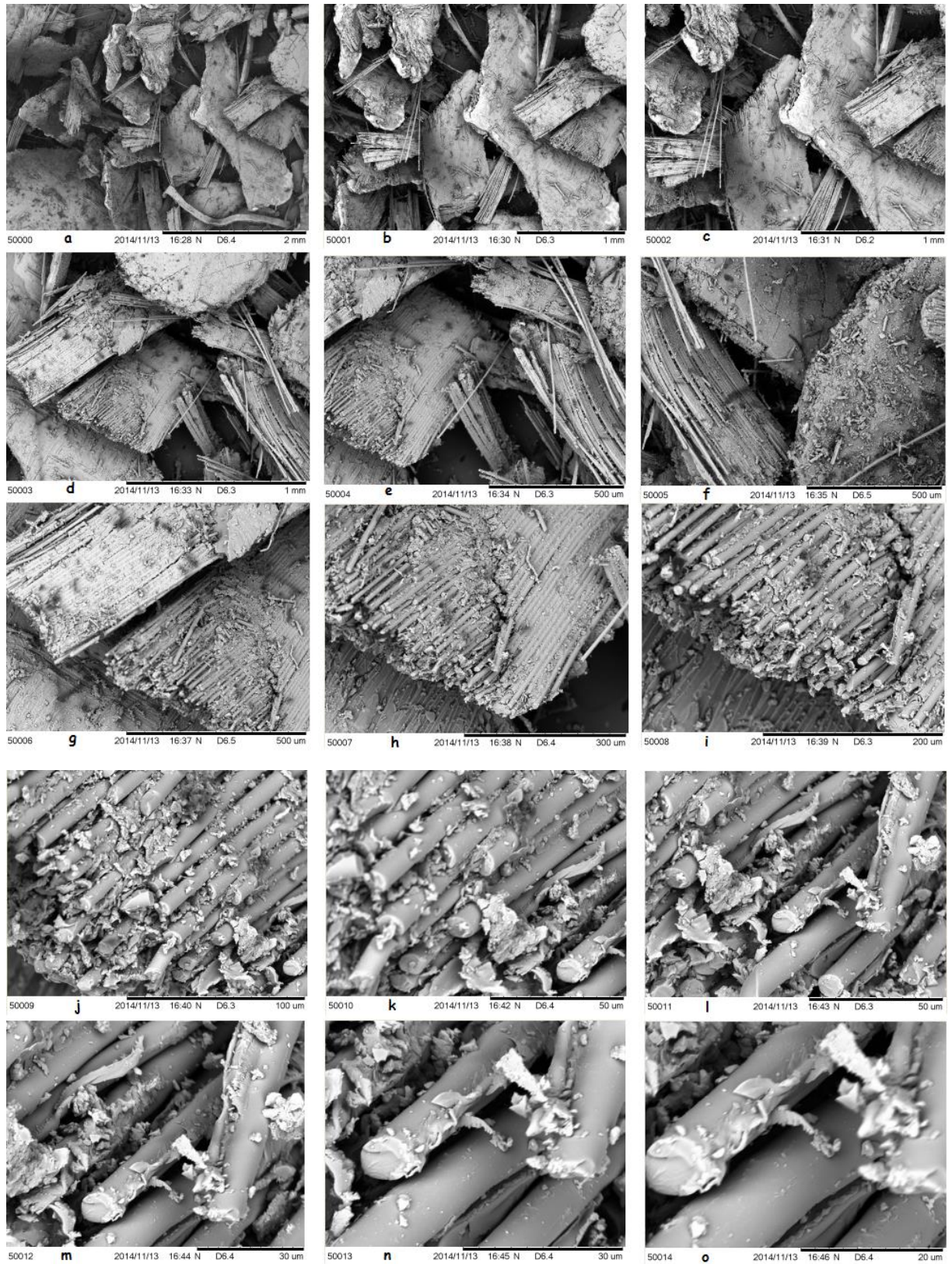


Figura 90 - MEV da Amostra 5
Fonte: A AUTORA, 2014.

7.2.4.5. MEV e EDS da amostra 6

A amostra 6 é a placa uma usada com componentes, como previsto apresenta uma composição muito variada, justificando a separação dos componentes e placa para a reciclagem. Como tem muitas partículas variadas analisou-se uma área como mostra a Figura 91 onde foram encontrados muitos elementos químicos.

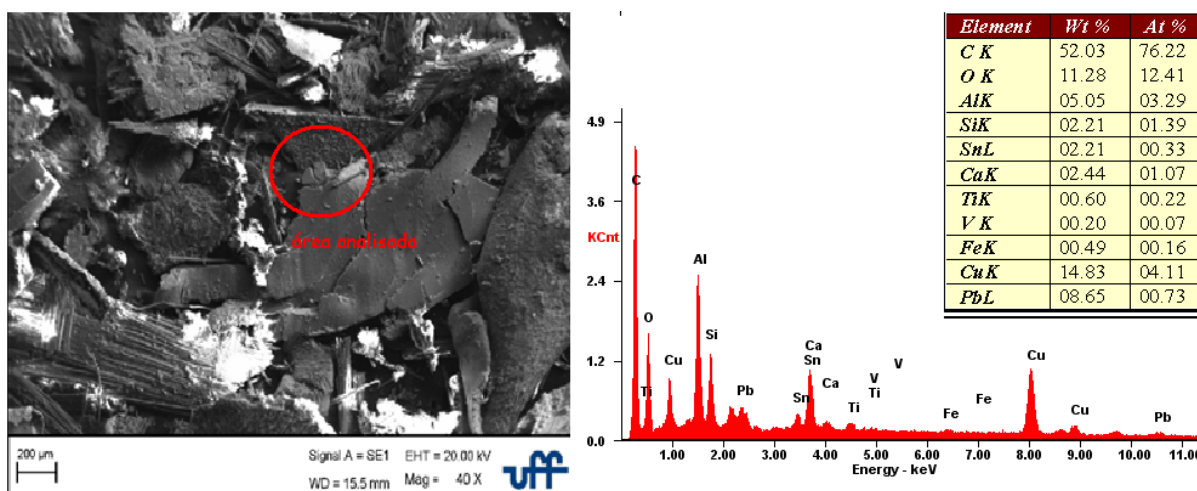


Figura 91- MEV e EDS da amostra 6 e análise de uma região
Fonte: A AUTORA, 2015.

Também foram analisadas outras partículas da amostra 6, a partícula apresentada na Figura 92 mostra uma grande porcentagem de chumbo e estanho.

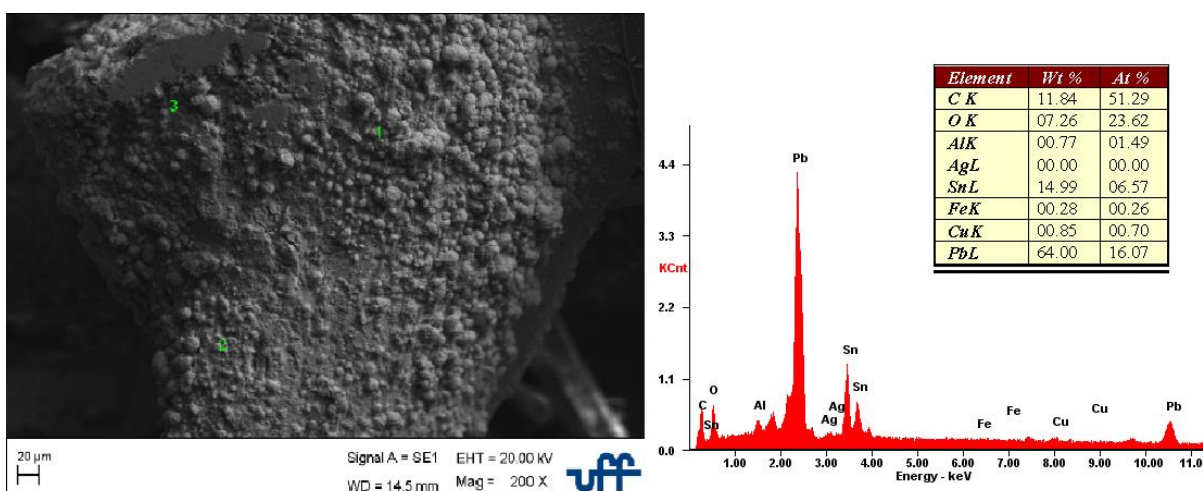


Figura 92 - MEV e EDS da amostra 6 com chumbo
Fonte: A AUTORA, 2015.

A partícula apresentada na Figura 93 não apresenta características de fibra mas tem uma grande porcentagem de silício, como apresenta também molibidênio e bário pode-se concluir que essa partícula fazia parte de um semicondutor.

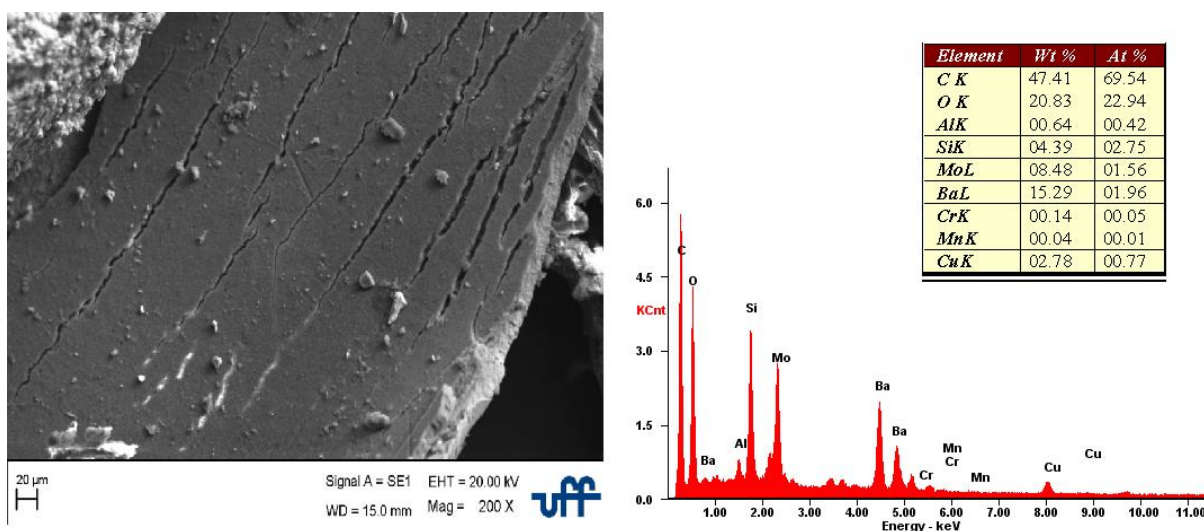


Figura 93 - MEV e EDS da amostra 6 com silício
Fonte: A AUTORA, 2015.

As fibras também apareceram na amostra 6, pois a mesma é composta de fibra de vidro. A análise química da fibra apresentou composições parecidas com as análises da outras placas compostas por fibra de vidro como mostra a Figura 94. A Figura 95 - h mostra a fibra analisada na amostra 6.

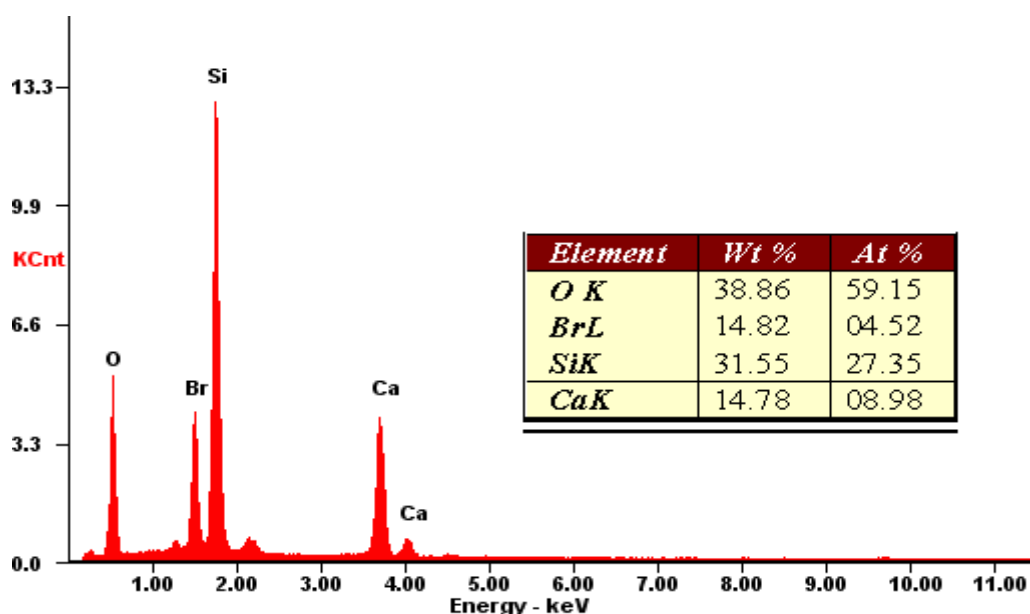


Figura 94 - MEV e EDS da amostra 6 com fibra

Fonte: A AUTORA, 2015.

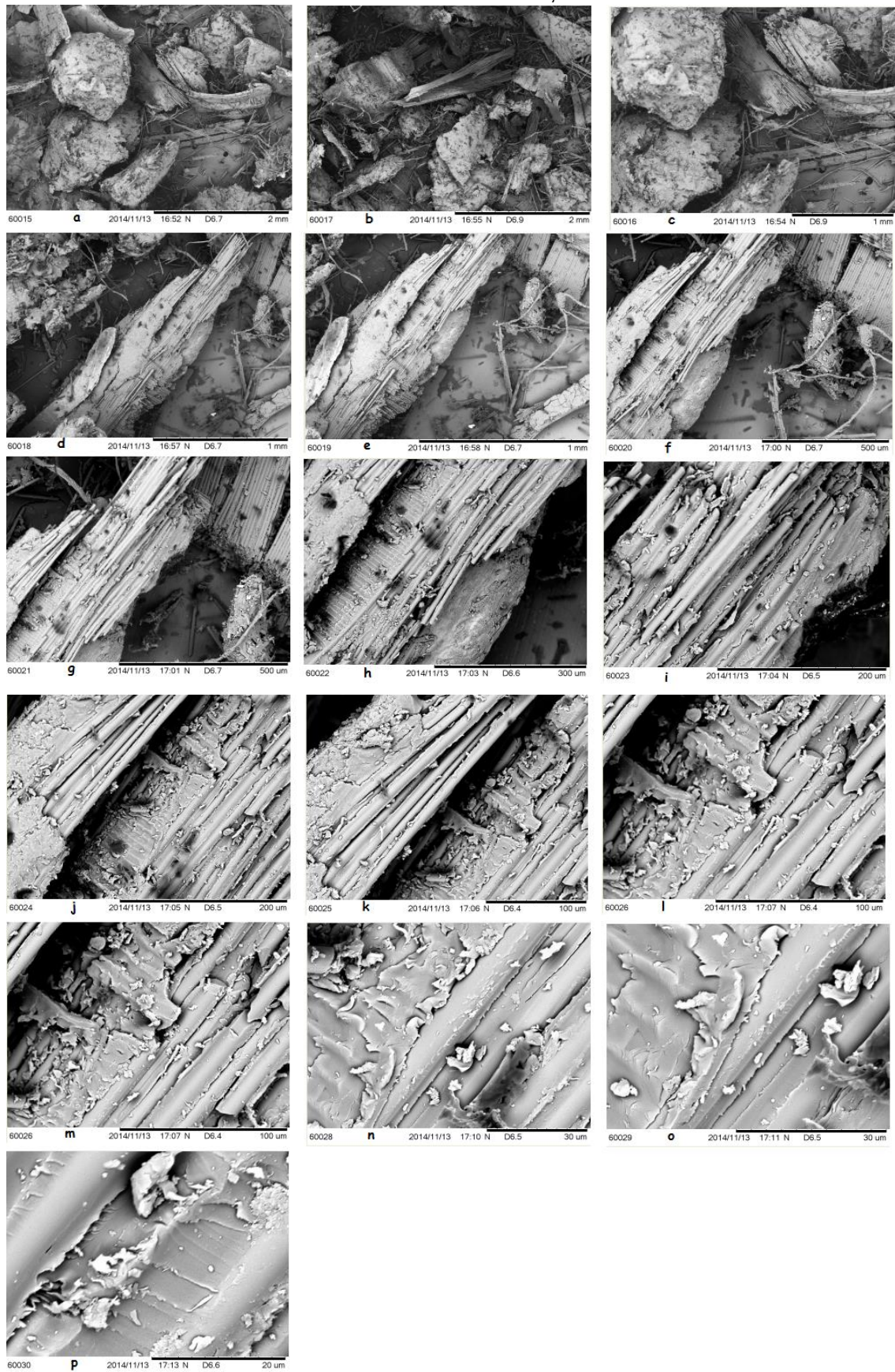


Figura 95 - MEV da Amostra 6
Fonte: A AUTORA, 2014.

7.2.5. Resultado - Análise Térmica Simultânea

As curvas em azul se referem a análises termogravimétricas já as curvas em vermelho se referem a análises de DSC. Para o gráfico DSC o eixo y está representado no lado direito da página e se refere ao “Fluxo de calor” em (mW) os picos direcionados para baixo representam processos endotérmicos. Esses processos endotérmicos mostram uma mudança de fase nas amostras.

Na Tabela 8 foram listados os picos das amostras que são mostrados nas Figuras 96 a 101, em algumas amostras aconteceram mais de um pico endotérmico/exotérmico. Observou-se que todas as amostras apresentaram um pico na faixa de 319°C a 387°C. A amostra 6 apresentou três picos, como essa amostra tem composição variada, esse comportamento já era esperado. Essa amostra também apresentou maior entalpia, conseqüentemente apresentou uma maior quantidade de energia.

Tabela 8 - DSC

Amostras	Entalpia (J/g)	Temperatura °C *	Tipo
Amostra 1	14,69	323,94	Endotérmico
Amostra 2	75,47	319,92	Endotérmico
Amostra 3.1	21,86	319,16	Endotérmico
Amostra 3.2	11,52	516,58	Endotérmico
Amostra 4.1	-1,42	265,77	Exotérmico
Amostra 4.2	3,35	319,43	Endotérmico
Amostra 5.1	9,64	184,75	Endotérmico
Amostra 5.2	19,34	317,25	Endotérmico
Amostra 6.1	1,21	184,20	Endotérmico
Amostra 6.2	6,64	221,64	Endotérmico
Amostra 6.3	105,05	386,28	Endotérmico

*Temperatura no pico endotérmico

Fonte: A AUTORA, 2015.

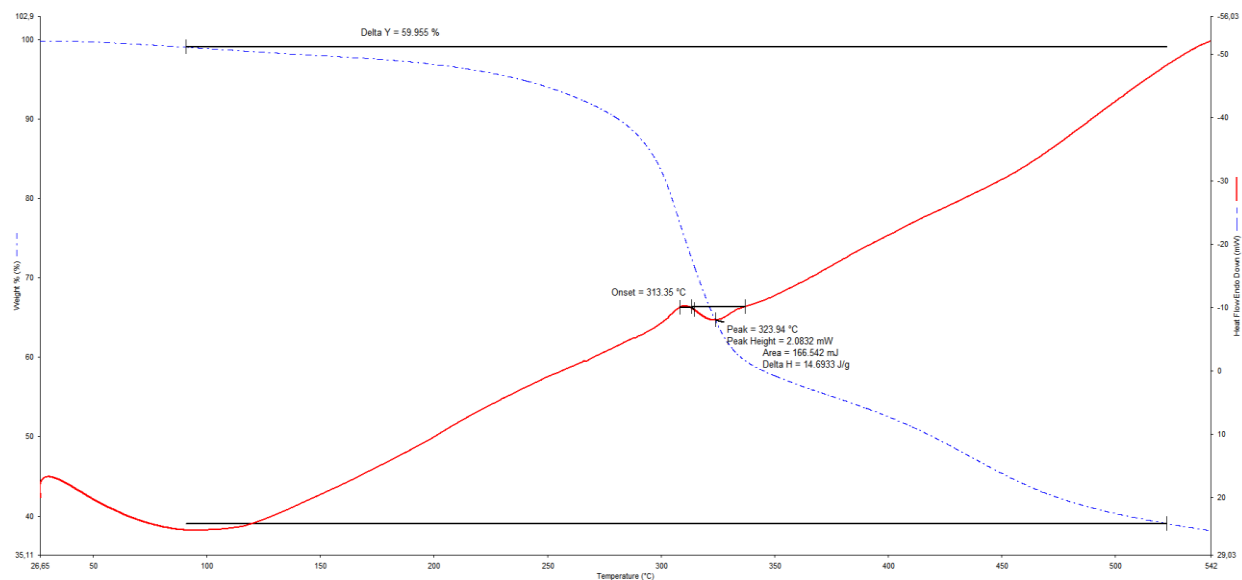


Figura 96 - Análise térmica da amostra 1
Fonte: A AUTORA, 2014.

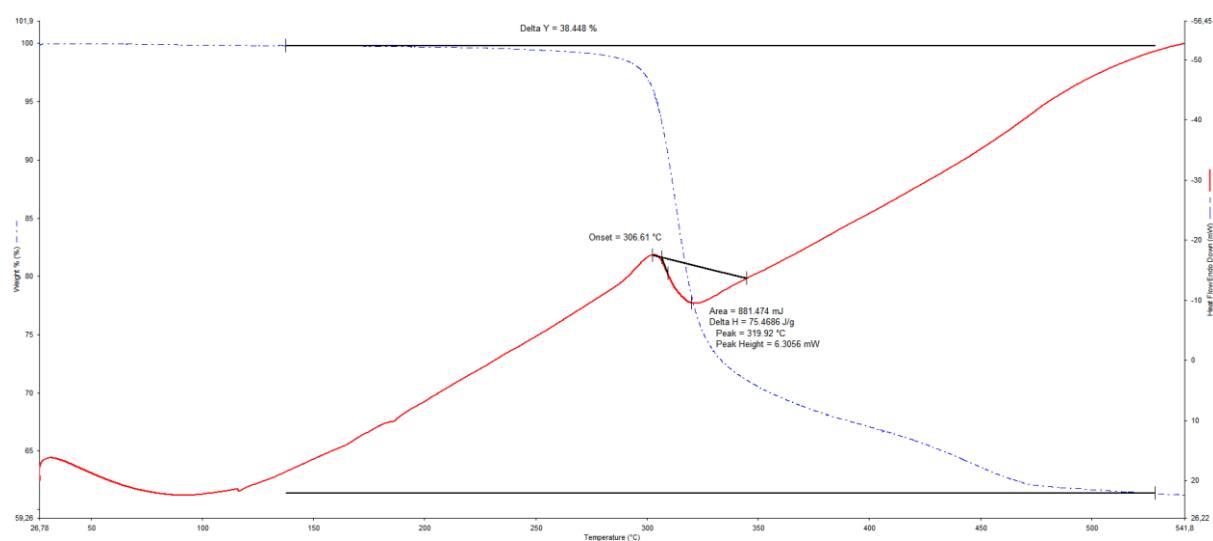


Figura 97 - Análise térmica da amostra 2
Fonte: A AUTORA, 2014.

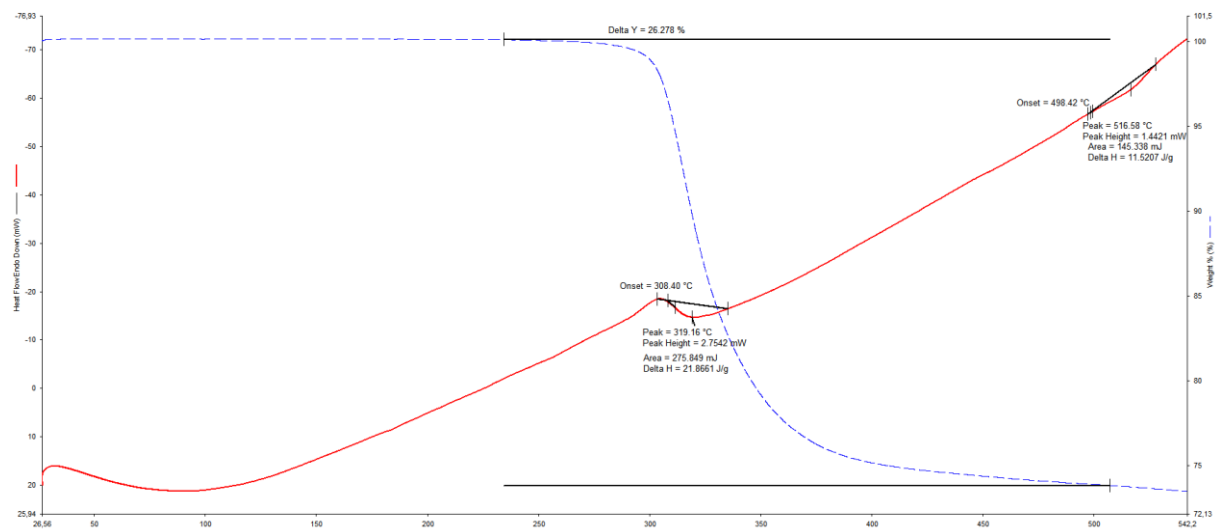


Figura 98 - Análise térmica da amostra 3
Fonte: A AUTORA, 2014.

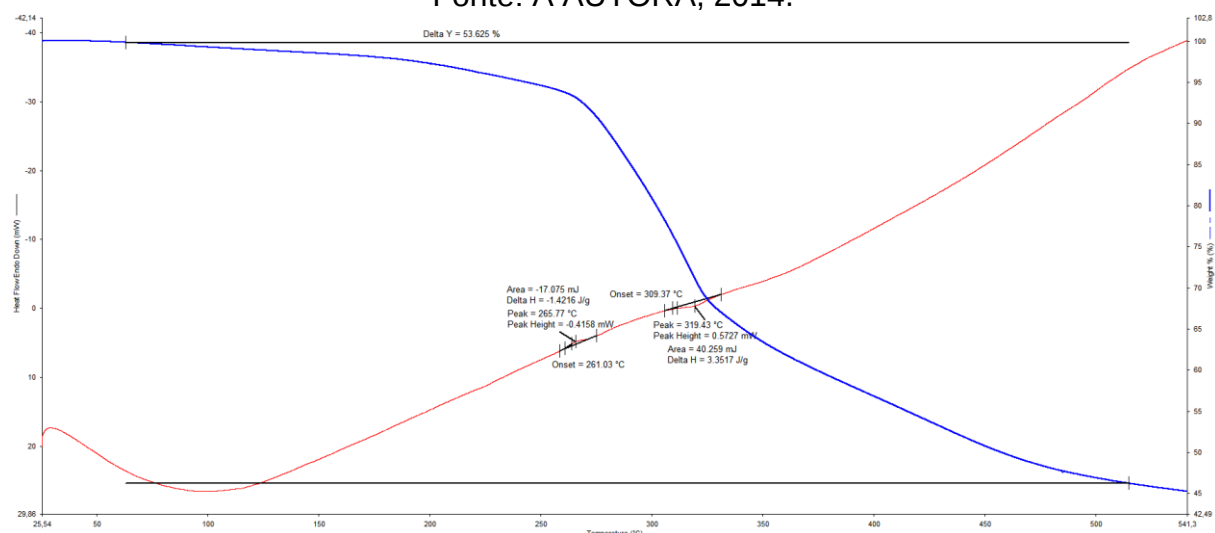


Figura 99 - Análise térmica da amostra 4
Fonte: A AUTORA, 2014.

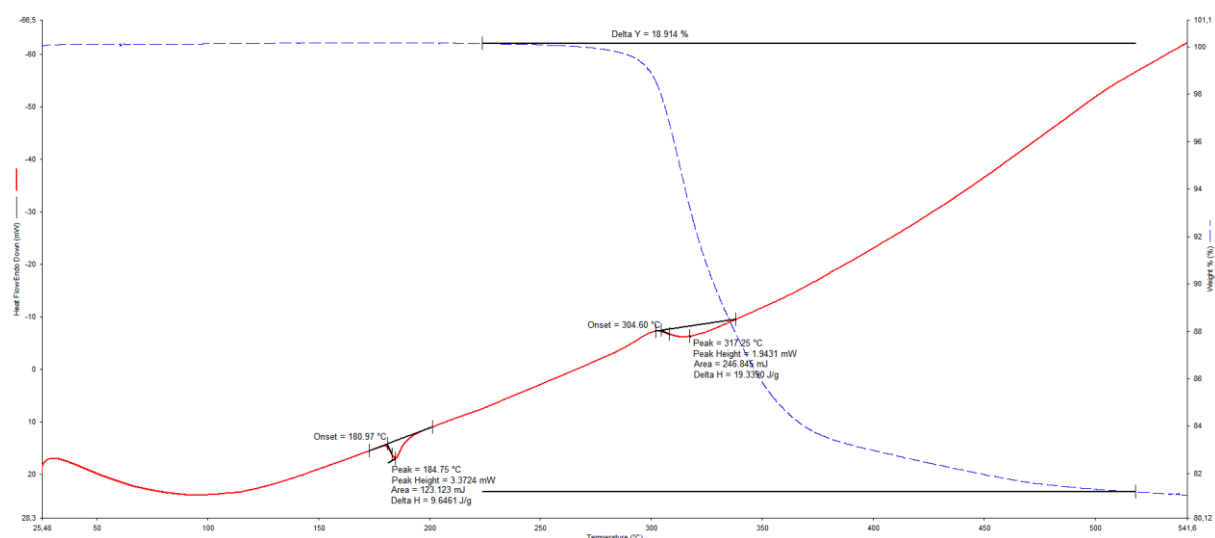


Figura 100 - Análise térmica da amostra 5
Fonte: A AUTORA, 2014.

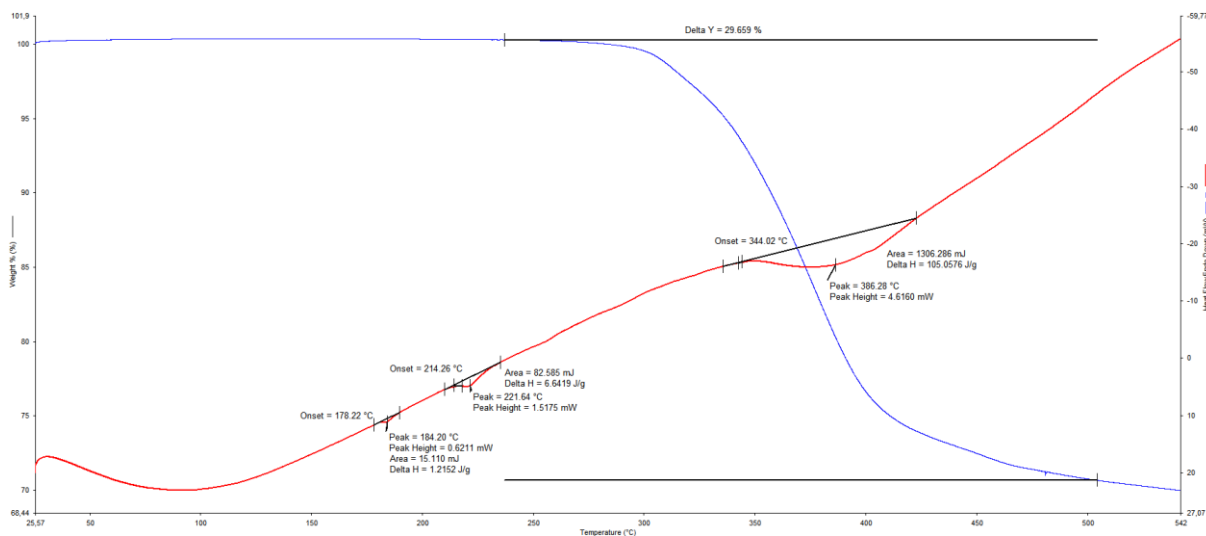


Figura 101 - Análise térmica da amostra 6
Fonte: A AUTORA, 2014.

Os termogramas Figura 102 fornecem informações sobre a decomposição de diferentes tipos de polímeros. Além disso, os padrões de decomposição são característicos para cada tipo de polímero e, em alguns casos pode ser usado para propósito de identificação.

Observando as curvas de TGA das amostras verificou-se que a amostra 1 e a amostra 4 obtiveram resultados parecidos, as duas amostras são compostas por fenolite, a amostra 1 não tem cobre, já amostra 4 apresentou cobre.

A presença do cobre teve pequena relevância na análise do TGA na comparação das duas amostras, pois a amostra 1 apresentou dois estágios de decomposição do material. Na amostra 4 esse segundo estágio não foi evidenciado. O material residual da decomposição da amostra 1 é aproximadamente 35% na amostra 4 essa porcentagem aumenta para 45%.

As amostras 3 e 5 são muito parecidas a única diferença foi a queima parcial da amostra 5. As proximidades das amostras 3 e 5 podem ser observadas no TGA, a diferença que pode ser observada é o resíduo da decomposição, no caso a quantidade de carga inorgânica que não se decompõe termicamente. A amostra 3 apresentou aproximadamente 75 % de material que não se decompõe já a amostra 5 apresentou 85%.

A amostra 6 por conter uma composição variada apresentou uma temperatura de decomposição mais elevada que as outras amostras ficando na faixa de 380°C a 400°C, enquanto as outras amostras estão na faixa de 300°C a 320°C. A porcentagem de resíduos que não se decompõe termicamente ficou em uma faixa

intermediária em comparação com as outras amostras, inicialmente se esperava que a mostra 6 apresentasse a maior porcentagem de resíduos, mas a diversificação dos mesmos contribuiu para a redução do percentual.

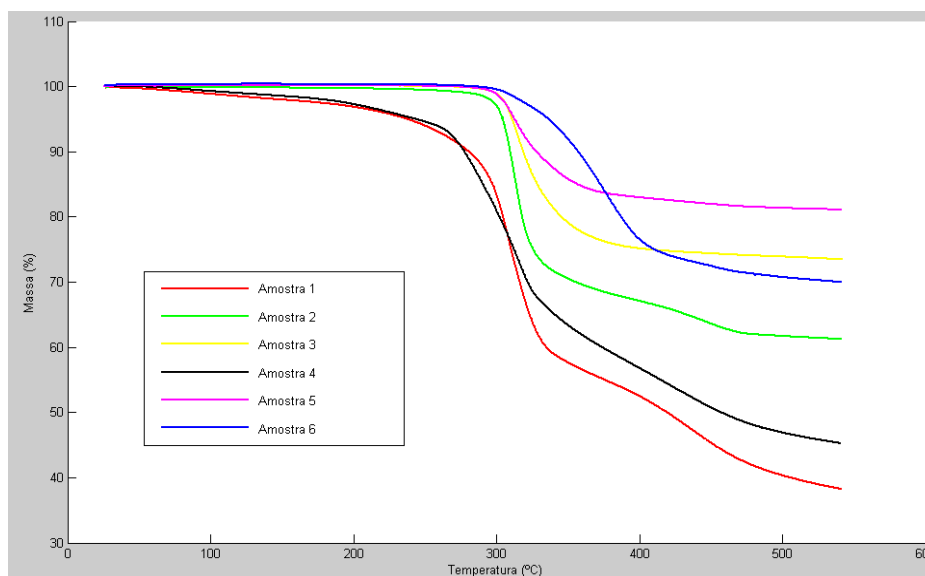


Figura 102 – TGA de todas as amostras
Fonte: A AUTORA, 2014

A Figura 103 apresenta as curvas de TGA para alguns polímeros, observando a curva da amostra 1 Figura 102 e comparando com a curva apresentada pelo PVC Figura 103 notamos características parecidas.

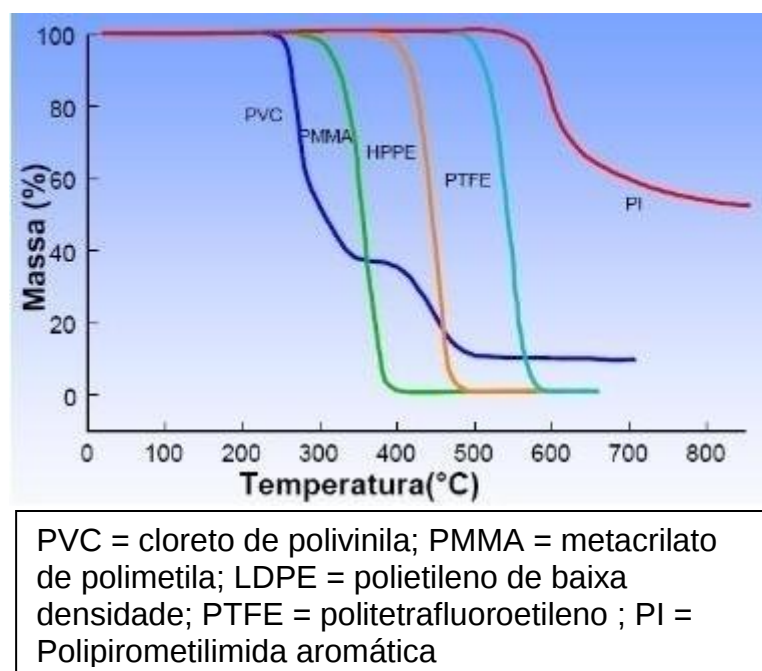


Figura 103 - Termograma de alguns materiais poliméricos comuns
Fonte: ADAPTADA DE CHIU, 1996.

8. CONCLUSÃO

Por meio do estudo e desenvolvimento desse trabalho foi possível criar um equipamento que gerou uma patente, esse equipamento retira os componentes eletrônicos das placas de circuitos impressos e viabiliza a reciclagem, pois as placas com os componentes eletrônicos tem uma gama muito grande de elementos inviabilizando a reciclagem.

Analisando os dados dos ensaios mecânicos verifica-se que as amostras acompanham um padrão em que os valores de resistência a flexão e módulo de elasticidade demonstram valores superiores aos valores apresentados pelo PP puro. O mesmo fato não ocorre com a resistência ao impacto, em que os valores de todas as amostras foram inferiores ao valor do PP puro. Com esses dados podemos concluir que o compósito de 95% de PP puro e 5% placas de circuito não são indicados em situações onde se exigem maiores valores de resistência ao impacto, um bom exemplo para a não substituição é o pára choque de carros. Em que necessita-se de uma resistência ao impacto mínima.

Com os dados fornecidos pelo MEV e EDS verifica-se que as amostras de placas feitas com fenolite (amostras 1 e 4) apresentam uma grande porcentagem de carbono, pois a base desse tipo de placa é a celulose. Não sendo indicada a substituição do PP puro em situações onde se necessita de pouca umidade. Um bom exemplo da não utilização do compósito feito com as amostras 1 e 4 é a carcaça e partes internas de equipamentos eletroeletrônicos, pois a exposição do circuito à umidade retida na carcaça poderia danificar ou reduzir a vida útil dos equipamentos. Já as amostras 2, 3 e 5 apresentam grandes porcentagens de silício pois são produzidas em fibra de vidro. Comparando os dados dos ensaios mecânicos, observa-se que aconteceram pequenas mudanças significativas nos valores das unidades analisadas nas amostras, mas aumentaram esses valores. Isso não aconteceu apenas com um ensaio, o ensaio de impacto. O ensaio de impacto, reduziu seus valores nos compósitos. Verifica-se também que a presença de cobre não mostrou mudanças nas informações fornecidas pelos gráficos de ensaios mecânicos.

Analisando os resultados dos ensaios térmicos pode-se verificar que as amostras de placas apresentaram mudanças de fase entre as temperaturas de 319°C a 387°C que são valores maiores que a fusão do polipropileno que é de 165°C.

Com o compósito feito com a matriz polimérica de polipropileno e carga de placas de circuitos eletrônicos indica-se uma aplicação na construção civil, onde aplica-se o polipropileno puro (com seus aditivos usuais: antioxidantes, anti UV etc). Por exemplo, lajes como o Bubbles Deck, ou em transporte de material como o pallet PackLess. Uma outra aplicação para o compósito é em grama sintética que é feita de polipropileno. Esse compósito (polipropileno + placa de circuito impresso) não é indicado para embalagens de produtos alimentícios, pois apresenta traços de cobre ou chumbo, pois esses traços poderiam interferir na qualidade e segurança dos alimentos. Uma outra aplicação que o compósito não é indicado é para material de suporte para sistemas elétricos (caixas de passagem, corrugados, suporte de disjuntores etc), por possuir traços de cobre poderia causar prejuízos aos sistemas elétricos ou potencializar a eletricidade estática.

É necessário viabilizar um destino para os eletroeletrônicos descartados e a placa reciclada tem um baixo custo tornando-se então interessante utilizá-la como reforço em matriz polimérica. Assim se obtém um produto com um custo reduzido e com propriedades úteis.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasília: Câmara dos Deputados, 1995.

ALUMINUM. **Empresa de vendas de material eletrônico**. Disponível em: <www.aluminumextrusionb2b.com>. Acesso em: 15 ago 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 8188/83: **Guia de projeto e uso de placa impressa**: procedimento. Rio de Janeiro, 1983.

BRASKEN, **Polipropileno H 301**. Disponível em: < <http://www.brasken.com.br/site.aspx/consultar-produtos>>. Acesso em: 20 junho. 2014.

CALLISTER JR, W. D.: **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2013, p.591.

CANEVAROLO, S. V.: **Técnica de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, p.209-229, 2004.

CEBRACE: **Componentes do vidro**. Disponível em: < <http://www.cebrace.com.br/v2/vidro/composicao-quimica>>. Acesso em: 10 out 2013.

CHADE, J. **Brasil é o 50º maior mercado para celular e Internet do mundo**. O Estado de São Paulo, seção economia, 22 out. 2009.

CERRI, A.: **Mercurio, cádmio e chumbo: os inimigos íntimos presentes nos eletrônicos**. Disponível em <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/428-mercurio-cadmio-e-chumbo-os-inimigos-intimos-presentes-nos-eletronicos.html> . Acesso em 13 jan. 2013

CERVO. A.L. **Metodologia Científica**. 3ª Edição 2007. São Paulo: Brasil.

CHIU J.: **Thermal analysis of fibre forming polymers**. Journal of thermal analysis August 1996, Volume 47, pp 463-473.

CONTEÚDO aberto. In: Wikipédia: **A enciclopédia livre**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Inductors-photo.JPG>. Acesso em: 10 ago 2013.

EMBARCADOS. **Placas**. Disponível em: <http://www.embarcados.com.br/pcismulticamadas/> Acesso em: 18 jul 2014.

ELETRODEX: **Componentes Eletrônicos**. Disponível em: www.eletrodex.com.br Acesso em: 17 ago 2013.

FERREIRA, M. S., MARÇAL, M. P. V. **Lixo eletrônico em Patos de Minas**: desafios e descarte. Revista do Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Extensão do UNIPAM. Patos de Minas/MG, 2009.

INVENTTA; **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos** - Análise de Viabilidade Técnica e Econômica .ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. 2012

JRCC.; **Empresa de vendas de material eletrônico**. Disponível em: www.jrcc.com.br. Acesso em: jul 2014.

KESTEMNBACH H.; **Microscopia Eletrônica de Transição e Varredura**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1994.

KHON. S: **Aparelhos Eletrônicos: Programados para Estragar**. Disponível em: <http://m.olhardigital.uol.com.br/noticia/aparelhos-eletronicos-programados-para-estragar/23839>. Acesso em: 16 out 2013.

LUZ, S. M., **Estudo das propriedades mecânicas, interface morfologia de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de bagaço e palha de cana**. Tese de D.Sc., Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brasil, p. 50, 2008.

MACOHIN, A. **A Sustentabilidade na informática** – Reciclagem e Eliminação dos Produtos Tóxicos das Peças de Computadores. Centro Universitário Franciscano UNIFAE, 2007.

MACIEL, A. C. **Lixo Eletrônico**. In: III SEMINÁRIO ENIAC 2011, 3, São Paulo, 2011. Anais. Guarulhos: Editora da Faculdade Eniac, 2011 p.1 – 4.

MANNHEIMER W.A; **Microscopia dos Materiais**: Uma Introdução. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microscopia, 221p., 2002.

MECATRÔNICA FÁCIL. **Revista de mecatrônica**. São Paulo: Editora Saber , n 50, p 25, ano 6, 2001

MOREIRA, D. **Brasil tem problema de Estrutura e Legislação para Enfrentar o Lixo Eletrônico**. Disponível em:<<http://idgnow.uol.com.br/computação pessoal /2007/04/26/idgnoticia.2001-04-25.2669597646/>> Acesso em: 15 ago 2013.

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. 2009, 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP.

NETZSCH. Fornecedor de Equipamentos. **Princípio Funcional de um fluxo de calor DSC**. Disponível em: <<http://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/landing-pages/principio-funcional-de-um-fluxo-de-calor-dsc.html>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

OLIVEIRA, R. S.; GOMES, E. S. e AFONSO, J. C. **O Lixo Eletroeletrônico**. Química Nova na Escola n.4, p.240 - 248, 2010.

PACKLESS. **Palets**. Disponível em: <<http://www.packless.com.br:>>. Acesso em: 10 ago 2013.

PASSOS, A. C. **Considerações em Análise Térmica**: Calorimetria Diferencial de Varredura. Monografia do curso de especialização em engenharia de materiais para o setor elétrico, Curitiba 1998.

PETRY, A. **Mercado Brasileiro de Polipropileno com Ênfase no Setor Automobilístico**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Polímeros**, s.d.. Disponível em: <<http://www.portalsao-francisco.com.br/alfa/polimeros/polimeros-5.php>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

RAZERA, I. A. T. **Fibras Lignocelulósicas como Agente de Reforço de Compósito de Matriz Fenólica e Lignofenólica**. 2006. 189f. Tese Doutorado - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2006.

REIS .M: **PCI de celular com componentes SMD** Disponível em: <bauda-eletronica.blogspot.com>. Acesso em: 18 ago 2013

RICARDO, S. **Corram! Tem ouro no lixo**. Disponível em: <<http://www.recanto-das-letras.com.br/cronicas/858498>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

ROTULAGEM AMBIENTAL. **Simbologia** Disponível em: <http://embalagem-sustentavel.com.br/2010/09/02/dica-rotulagem-reciclagem/>. Acesso em: 10 ago 2013.

SILVA, J. R. N. **Lixo eletrônico**: um estudo de responsabilidade ambiental no contexto do instituto de educação ciência e tecnologia do Amazonas - IFAM CAMPUS MANAUS CENTRO.I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2010a.

SUKIGARA, S.; Gandhi, M.; Aytse, J.; Micklus, M. & Ko, F. - **Polymer**, 45, p.3701 (2004).

SPITZCOVSKY, D. **Reciclagem de lixo eletrônico deixa a desejar**. Planeta Sustentável, 8 jun. 2009.

STURARO, L. **Capacitores**. Disponível em <http://www.py2bbs.qsl.br/capacitores.php>. Acesso em 20 ago. 2013.

TROMBETTA, E. **Utilização de fibra natural de *pinus* (serragem) como reforço em componentes automotivos compostos de polipropileno**. 2010, 104 f. Dissertação 76 (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

VEIT, H. M.; VII **Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre, Brasil, 2010.

VEIT, H. M.; **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2005.

VEIT, H. M. **Reciclagem de Carcaças de Monitores: Propriedades Mecânicas e Morfológicas**. Disponível em: <<http://revistapolimeros.org.br/doi/10.4322/polimeros.2014.004>>. Acesso em: 30 out 2013.

Apêndice

Documentos da Patente

24/03/2014 860140036891 13:19 NPWB  0000221401960434	 BR 10 2014 006973 9	
Protocolo	Número	Código QR

  INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL Diretoria de Patentes Sistema e-Patentes/Depósito	INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL Diretoria de Patentes Sistema e-Patentes/Depósito	

DIRPA 	Tipo de Documento: Recibo de Peticionamento Eletrônico	DIRPA	Página: 1 / 2
Título do Documento: Recibo DIRPA-FQ001 - Depósito de Pedido de Patente ou de Certificado de Adição		Código: RECIBO	Versão: 01
		Modo: Produção	

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial informa:

Este é um documento acusando o recebimento de sua petição conforme especificado abaixo:

Dados do INPI:	
Número de processo:	BR 10 2014 006973 9
Número da GRU principal:	00.000.2.2.14.0196043.4 (serviço 200)
Número do protocolo:	860140036891
Data do protocolo:	24 de Março de 2014, 13:19 (BRT)
Número de referência do envio:	27366

Dados do requerente ou interessado:	
Tipo de formulário enviado:	DIRPA-FQ001 v.005
Referência interna:	114601-224969
Primeiro requerente ou interessado:	MONIQUE PACHECO DO AMARAL
CPF do primeiro requerente ou interessado:	079.137.767-90
Número de requerentes ou interessados:	2
Título do pedido:	EQUIPAMENTO E PROCESSO PARA RETIRAR COMPONENTES DE PLACAS DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS.

Arquivos enviados:

Arquivo enviado	Documento representado pelo arquivo	Número de páginas
[package-data.xml]	Arquivo com informações do pacote em XML	---
[brf101-request.xml]	Formulário de depósito de pedido de patente ou de certificado de adição em XML	---
[application-body.xml]	Arquivo com dados do corpo do conteúdo patentário em XML	---
[brf101-request.pdf]	Formulário de depósito de pedido de patente ou de certificado de adição em PDF	---
RELATORIO.pdf [DOCUMENTO.pdf]	Arquivo com conteúdo técnico-patentário da petição - Relatório descritivo em formato eletrônico PDF - Reivindicações em formato eletrônico PDF - Resumo em formato eletrônico PDF	páginas 1 a 6 páginas 7 a 8 página 9 9
DESENHOS.pdf [DOCUMENTO-1.pdf]	Arquivo com conteúdo técnico-patentário da petição - Desenhos em formato eletrônico PDF [Número de desenhos: 9, Desenho para resumo: 1, Cor dos desenhos: Preto e Branco]	páginas 1 a 9 9
RELATORIO.txt [RELATDESCTXT.txt]	Relatório descritivo em formato eletrônico texto	---
REIVINDICAÇÃO.txt [REIVINDTXT.txt]	Reivindicações em formato eletrônico texto	---
RESUMO.txt [RESUMOTXT.txt]	Resumo em formato eletrônico texto	---
GRU e comprovante.pdf [GRU-1.pdf]	Guia de Recolhimento da União (GRU) paga com comprovante de pagamento em formato eletrônico PDF [Código de serviço: 200, Número: 00.000.2.2.14.0196043.4, Nome do sacado: MONIQUE PACHECO DO AMARAL]	2
PROCURACAO..pdf [INDEXADO-1.pdf]	Procuração em formato eletrônico PDF	1
PROCURACAO (2)..pdf [INDEXADO-2.pdf]	Procuração em formato eletrônico PDF	1



INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
Diretoria de Patentes
Sistema e-Patentes/Depósito

DIRPA E-PATENTES	Tipo de Documento: Recibo de Peticionamento Eletrônico	DIRPA	Página: 2 / 2
Título do Documento: Recibo DIRPA-FQ001 - Depósito de Pedido de Patente ou de Certificado de Adição		Código: RECIBO	Versão: 01
		Modo: Produção	

Dados sobre o envio:

Responsável pelo envio:	Administrativo VILAGE:9ed81effcc7b1cbce5d2884c6b878046
Assinatura (Requerente, Interessado ou Procurador):	GEISLER CHBANE BOSSO:03923594801,OU=AR FACESP,OU=VALID,OU=RFB e-CPF A3,OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB,O=ICP-Brasil,C=BR
Método de envio:	Eletrônico pela Internet
Código de segurança:	74:46:A7:3B:2D:82:17:B3:59:88:6E:9B:48:6F:60:62:60:5E:F2:C9

EQUIPAMENTO E PROCESSO PARA RETIRAR COMPONENTES DE PLACAS DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS

BREVE APRESENTAÇÃO

[0001] Trata a presente solicitação de Patente de Invenção de um **EQUIPAMENTO E PROCESSO PARA RETIRAR COMPONENTES DE PLACAS DE CIRCUITOS ELETRONICOS**, particularmente de um equipamento que compreende uma estrutura de um plano inclinado onde a placa com os componentes eletrônicos é apoiada, sendo que, acima da mencionada placa, atua um soprador de ar quente ajustado para trabalhar com temperatura aproximada de 360 °C, de maneira que esse ar quente seja direcionado sobre a dita placa, fazendo a solda passar do estado sólido para o estado líquido; feito isso, uma navalha acionada por um pistão pneumático com controle de fluxo de ar se movimenta sobre a placa, removendo, por raspagem, os componentes eletrônicos.

CAMPO DE APLICAÇÃO

[0002] O presente equipamento tem o seu campo de aplicação voltado ao segmento de reciclagem de polímeros, ou no segmento de eliminação de equipamentos eletrônicos obsoletos.

FUNDAMENTOS E ESTADO DA TÉCNICA

[0003] Observando os trabalhos já realizados no segmento de reciclagem de equipamentos eletrônicos, se verificou que as placas de circuito impressos apresentam maior dificuldade para reciclagem, haja vista apresentarem uma gama muito grande de elementos químicos distribuídos em pequeno espaço.

[0004] Tais características geram problemas conhecidos de todos afeitos à matéria, vez que é reconhecido mundialmente que existem sérias dificuldades na reciclagem, ou simples separação dos componentes eletrônicos das respectivas placas. E isso não é um problema restrito ao nosso país, mas a todos os países, desenvolvidos ou não.

[0005] É conhecido do estado da técnica o documento de patente BRPI 1010390-2, depositado em 29/11/2010 e publicado em 26/12/2012, com prioridade unionista da Espanha, referente a MÉTODO E DISPOSITIVO PARA DESMONTAGEM DE APARELHOS ELÉTRICOS E OU ELETRÔNICOS, que compreende uma bobina de indução localizada em torno de um suporte tubular, onde o dispositivo a ser desmontado inclui um gerador de corrente alternada que alimenta a referida bobina

com o objetivo de derreter as juntas de material termoplástico do mencionado dispositivo através da indução de um elemento metálico do citado dispositivo.

[0006] Outro documento conhecido do estado da técnica é o BRPI 9704099-1, depositado em 25/07/1997 e publicado em 17/02/1999, com prioridade unionista do Japão, referente a MÉTODO DE DESMONTAGEM DE APARELHO ELETRÔNICO E APARELHO DE DESMONTAGEM DO MESMO, que descreve método de desmontagem de um aparelho eletrônico que tem um alojamento e componentes eletrônicos como tubo de raios catódicos posicionados no alojamento, permitindo ainda a classificação sem mistura de impurezas e reciclagem a um baixo custo por automação. Essencialmente, a invenção relata que, ao soprar um chuveiro a ar a alta pressão, depósitos de pó nos componentes eletrônicos são removidos e limpos. A invenção descreve mais alguns procedimentos com foco em tubos de raios catódicos e diz o processo de desmontagem é efetuado mediante uso de um aparelho de desmontagem automatizado.

[0007] Ambos documentos relacionados acima, embora destinados a desmontar aparelhos elétricos ou eletrônicos, estão fora do foco da presente invenção, que utiliza, essencialmente, calor para aquecer e fazer a solda mudar de estado, e ainda um sistema mecânico de arrancamento dos componentes eletrônicos.

DA INVENÇÃO

[0008] Conforme dito anteriormente, as placas de circuitos impressos apresentam grande dificuldade para reciclagem, em virtude apresentarem uma gama muito grande de elementos químicos em um pequeno espaço.

[0009] A presente invenção surge como um importante avanço no sentido de minimizar o problema descrito, mediante desenvolvimento de um equipamento que separa os componentes eletrônicos da placa que os suporta. A placa de circuito impresso tem composição conhecida e, mesmo com as trilhas de cobre que conduzem a eletricidade entre os componentes eletrônicos, pode-se separar a placa do cobre.

[0010] Para a retirada dos componentes eletrônicos se torna necessário aquecer a solda que liga os referidos componentes eletrônicos à placa. Esse aquecimento foi estudado através do diagrama de fase da liga estanho/chumbo, conforme FIG. 1 anexa.

[0011] A liga mais comum utilizada na solda para componentes eletrônicos tem a porcentagem de 40% de chumbo e 60% de estanho; com essa porcentagem, verifica-se que a temperatura ideal para a retirada dos componentes é de aproximadamente 360 °C, haja vista ser a temperatura em que a liga está passando do estado sólido para o líquido. Poderia ser utilizada uma temperatura mais alta, mas outros problemas iriam ocorrer, como por exemplo: queima de componentes, queima da placa, gasto desnecessário com energia.

[0012] Em linhas gerais, o equipamento objeto desta invenção é composto por uma estrutura de um plano inclinado, onde a placa com os componentes a serem removidos é apoiada. Um soprador de ar quente é ajustado para trabalhar com temperatura para que a solda da placa passe do estado sólido para o líquido, sendo que, tecnicamente, esta temperatura deve estar em torno de 360 °C.

[0013] Uma navalha é posicionada acima da placa de modo a raspar os componentes eletrônicos. Esse movimento de raspagem é realizado pela mencionada navalha mediante acionamento de um pistão pneumático com controle de fluxo de ar. Esse controle se deve ao fato de o movimento do pistão ser muito rápido podendo danificar a placa e os componentes. Assim, esse controle faz a navalha se movimentar lentamente para a retirada dos componentes.

[0014] Além daquelas já observadas acima, são vantagens determinantes da invenção:

- O grande potencial de reciclagem de componentes nobres;
- Com a reciclagem reduz-se os problemas causados pelo descarte inadequado;
- Com a reciclagem reduz-se os processos judiciais motivados pelas leis mais rigorosas quanto ao descarte e a quantidade de “e-lixo” produzido.

DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0015] A invenção será, a seguir, explicada em seus detalhes construtivos e operacionais, sendo que, para melhor entendimento, referências serão feitas aos desenhos anexos, nos quais estão representadas:

FIG. 1: Vista em perspectiva do equipamento sem o soprador.

FIG. 2: Vista superior do equipamento sem o soprador.

FIG. 3: Vista lateral do equipamento sem o soprador.

FIG. 4: Vista em perspectiva parcial do equipamento, com ênfase para a navalha, a placa de circuito posicionada para a raspagem e o soprador.

FIG. 5: Vista superior do equipamento com o soprador, com a navalha, pistão pneumático e a placa posicionada para raspagem.

FIG. 6: Vista em perspectiva parcial do equipamento com ênfase para o soprador, navalha e pistão pneumático.

FIG. 7: Vista em perspectiva parcial do equipamento mostrando a placa posicionada para a remoção dos componentes.

FIG. 8: Vista em perspectiva parcial do equipamento mostrando a navalha em avanço para raspar os componentes eletrônicos da placa.

FIG. 9: Fluxograma do processo.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0016] O **EQUIPAMENTO E PROCESSO PARA RETIRAR COMPONENTES DE PLACAS DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS**, objeto desta solicitação de Patente de Invenção, compreende uma estrutura metálica (1) que configura um plano inclinado (2), onde a placa de circuito impresso (P) com os componentes (C1) a serem removidos é apoiada em uma chapa transversal (3) acoplada em guias laterais paralelas (3B), as quais se estendem pela extensão quase total do plano inclinado (2). Integra ainda a invenção pelo menos um soprador de ar quente (4) posicionado em um suporte transversal elevado (5) diretamente acima da placa (P), dito soprador de ar quente (4) ajustado para trabalhar com temperatura para que a solda da placa (P) passe do estado sólido para o líquido, sendo que, tecnicamente, considerando os componentes da solda, esta temperatura deve estar em torno de 360 °C, podendo variar conforme a composição de chumbo e estanho na referida solda. Contempla ainda a invenção uma navalha (5B) posicionada acima da placa (P), dita navalha (5B) promove a raspagem dos componentes eletrônicos (C1), após a passagem da solda do estado sólido para líquido, sendo esse movimento de raspagem realizado pela mencionada navalha (5B) mediante acionamento de pelo menos um pistão pneumático (6) com controle de fluxo de ar. Esse controle se deve ao fato de o movimento do pistão ser muito rápido podendo danificar a placa (P) e os componentes (C1). Assim, esse controle faz a navalha (5B) se movimentar lentamente para a retirada dos componentes (C1).

[0017] A estrutura metálica (1) conforma uma espécie de mesa em plano inclinado, podendo esta inclinação variar entre 30 e 45°, sendo a mesma apoiada sobre uma base estrutural metálica (7) que configura uma base em triângulo retângulo, de

modo que a parte mais alta, na junção entre cateto menor e hipotenusa, determine o lado de posicionamento do pistão pneumático (6) e, o lado mais baixo, configurado na junção entre cateto maior e hipotenusa, seja o lado de disposição do soprador de ar quente (4) e da chapa transversal (3).

[0018] A chapa transversal (3) possui a configuração preferencialmente em “U”, de modo que sua aba inferior atue como elemento de apoio placa (P) cujos componentes (C1) serão removidos, dita chapa transversal (3) acoplada nos lados opostos nas mencionadas guias laterais paralelas (3B), sendo que, nos extremos superiores, as guias (3B) são acopladas em mancais metálicos chapas (9) fixos ao plano inclinado (2), enquanto que, nos extremos opostos, são as referidas guias laterais (3B) fixadas em apoios (10).

[0019] O suporte transversal (5) possui um orifício central (5C) onde se acopla o soprador de ar quente (4), o qual possui temperatura ajustável entre 50 °C e 650 °C, sendo a temperatura preferencial em torno de 360 °C. Na construção adotada, em nível de protótipo, foi utilizado um soprador de ar quente da marca *MXT*, temperatura variável entre 50 °C e 650 °C, em 110V, com potência ajustável de 300W a 1800W. Na posição acoplada ao orifício central (5C), o soprador de ar quente concentra seu calor diretamente sobre a placa (P), fazendo a solda empregada na mesma ser levada ao estado líquido.

[0020] A frente da chapa transversal (3), guardando uma distância suficiente para inserção da placa (P), está a navalha linear de aço carbono (5B), a qual possui perfil substancialmente em “L”, sendo que a aba atuante contra a placa (P) guarda um ângulo de ataque em torno de 30°, ao passo que a outra aba do “L” recebe a conexão do pistão pneumático (6), que opera mediante uma fonte de alimentação (11), que pode ser, por exemplo, um compressor de ar, ou outro meio correlato, tendo o referido pistão dois pontos (6B) e (6C) de movimentação de fluido.

[0021] No equipamento montado para caracterização da invenção, foi utilizado um pistão da marca *Schrader Bellows*, com diâmetro de duas polegadas e cursor de 100 mm, ao passo que o compressor é da marca *SCHULZ AIR PLUS*, com indicador de pressão. Tecnicamente, a pressão de funcionamento fica entre 100 psi e 300 psi, dependendo do tipo de componente eletrônico a ser retirado, por raspagem.

[0022] Quanto ao processo, a placa (P) com os componentes eletrônicos (C1) a ser retirados por raspagem é posicionada a frente da chapa transversal (3), mantendo

contato físico com a mesma. Uma vez posicionada a placa (P), é acionado o soprador de calor (4), a uma temperatura em torno de 360 °C, de modo a promover a passagem da solda utilizada nas trilhas da placa (P) do estado sólido para o estado líquido; neste momento, o soprador de ar quente (4) é paralisado e a navalha (5B) atuada, com seu ângulo de ataque, contra a placa (P), segundo um movimento linear de raspagem, removendo os componentes eletrônicos (C1). Para tanto, objetivando que a navalha (5B) tenha um lento movimento sobre a placa (P), é empregado, conforme já dito anteriormente, um controle de fluxo de ar, nos moldes convencionais. O retorno da navalha (5) é feito pelo mesmo sistema de alimentação de ar.

[0023] Evidentemente, a presente invenção não se limita à construção aqui descrita, podendo, por exemplo, empregar tecnologia hidráulica, sem que isso altere o escopo da invenção, haja vista se tratar de um equipamento inédito no segmento de reciclagem de componentes eletrônicos.

[0024] Com a presente invenção são obtidas vantagens expressivas no segmento de retirada, ou separação dos componentes eletrônicos (C1) da placa de circuito impresso (P), o que torna as operações de reciclagem desses componentes facilitadas e potencializadas, notadamente pelas seguintes características:

- grande potencial de reciclagem de componentes nobres (de que são feitos os componentes eletrônicos);
- redução dos problemas causados pelo descarte inadequado, pela possibilidade de reciclagem de grande quantidade de material;
- redução do descarte e da quantidade de “e-lixo” produzido.

REIVINDICAÇÕES

- 1) **EQUIPAMENTO**, caracterizado por uma estrutura metálica (1) que configura um plano inclinado (2), onde a placa de circuito impresso (P) com os componentes (C1) a serem removidos é apoiada em uma chapa transversal (3) acoplada em guias laterais paralelas (3B), sobre a placa (P) é posicionado pelo menos um soprador de ar quente (4) disposto em um suporte transversal elevado (5), dito soprador de ar quente (4); contempla a invenção uma navalha (5B) posicionada acima da placa (P), dita navalha (5B) promove a raspagem dos componentes eletrônicos (C1), sendo esse movimento de raspagem realizado pela mencionada navalha (5B) mediante acionamento de pelo menos um pistão pneumático (6) com controle de fluxo de ar.
- 2) **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a temperatura do soprador de ar (4) ser preferencialmente em torno de 360 °C.
- 3) **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a estrutura metálica (1) conformar uma mesa em plano inclinado, com inclinação variável entre 30 e 45°, sendo a mesma apoiada sobre uma base estrutural metálica (7) que configura uma base em triângulo retângulo, de modo que a parte mais alta, na junção entre cateto menor e hipotenusa, determine o lado de posicionamento do pistão pneumático (6) e, o lado mais baixo, configurado na junção entre cateto maior e hipotenusa, seja o lado de disposição do soprador de ar quente (4) e da chapa transversal (3).
- 4) **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o suporte transversal (5) possuir um orifício central (5C) onde se acopla o soprador de ar quente (4).
- 5) **EQUIPAMENTO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a frente da chapa transversal (3), guardando uma distância suficiente para inserção da placa (P), está a navalha linear de aço carbono (5B), a qual possui perfil substancialmente em “L”, sendo que a aba atuante contra a placa (P) guarda um ângulo de ataque em torno de 30°, ao passo que a outra aba do “L” recebe a conexão do pistão pneumático (6), que opera mediante uma fonte de alimentação (11), como um compressor de ar, tendo o referido pistão dois pontos (6B) e (6C) de movimentação de fluido.

6) **PROCESSO**, desenvolvido de acordo com o equipamento das reivindicações 1 a 5, **caracterizado por** a placa (P) com os componentes eletrônicos (C1) a serem retirados por raspagem ser posicionada a frente da chapa transversal (3), mantendo contato físico com a mesma; uma vez posicionada a placa (P), é acionado o soprador de calor (4), a uma temperatura preferencial de 360 °C, de modo a promover a passagem da solda utilizada nas trilhas da placa (P) do estado sólido para o estado líquido; neste momento, o soprador de ar quente (4) é paralisado e a navalha (5B) atuada, com seu ângulo de ataque, contra a placa (P), segundo um movimento linear de raspagem, removendo os componentes eletrônicos (C1); objetivando que a navalha (5B) tenha um lento movimento sobre a placa (P), é empregado, um controle de fluxo de ar, ao passo que o retorno da navalha (5) é feito pelo mesmo sistema de alimentação de ar.

RESUMO

EQUIPAMENTO E PROCESSO PARA RETIRAR COMPONENTES DE PLACAS DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS, particularmente de um equipamento sem

precedentes no estado da técnica, que compreende uma estrutura de um plano inclinado (2) onde a placa (P) com os componentes eletrônicos (C1) é apoiada, sendo que, acima da mencionada placa (P), atua um soprador de ar quente (4) ajustado para trabalhar com temperatura aproximada de 360 °C, de maneira que esse ar quente seja direcionado sobre a dita placa (P), fazendo a solda passar do estado sólido para o estado líquido; feito isso, uma navalha (5B) acionada por um pistão pneumático (6) com controle de fluxo de ar se movimenta sobre a placa (P), removendo, por raspagem, os componentes eletrônicos (C1). Com a presente invenção são obtidas vantagens expressivas no segmento de retirada, ou separação dos componentes eletrônicos (C1) da placa de circuito impresso (P), o que torna as operações de reciclagem desses componentes facilitadas e potencializadas. A presente invenção traz, dentre outras, as seguintes vantagens expressivas, que representam um salto tecnológico neste segmento:

- grande potencial de reciclagem de componentes nobres (de que são feitos os componentes eletrônicos);
- redução dos problemas causados pelo descarte inadequado, pela possibilidade de reciclagem de grande quantidade de material;
- redução do descarte e da quantidade de “e-lixo” produzido.

1/9

FIG. 1

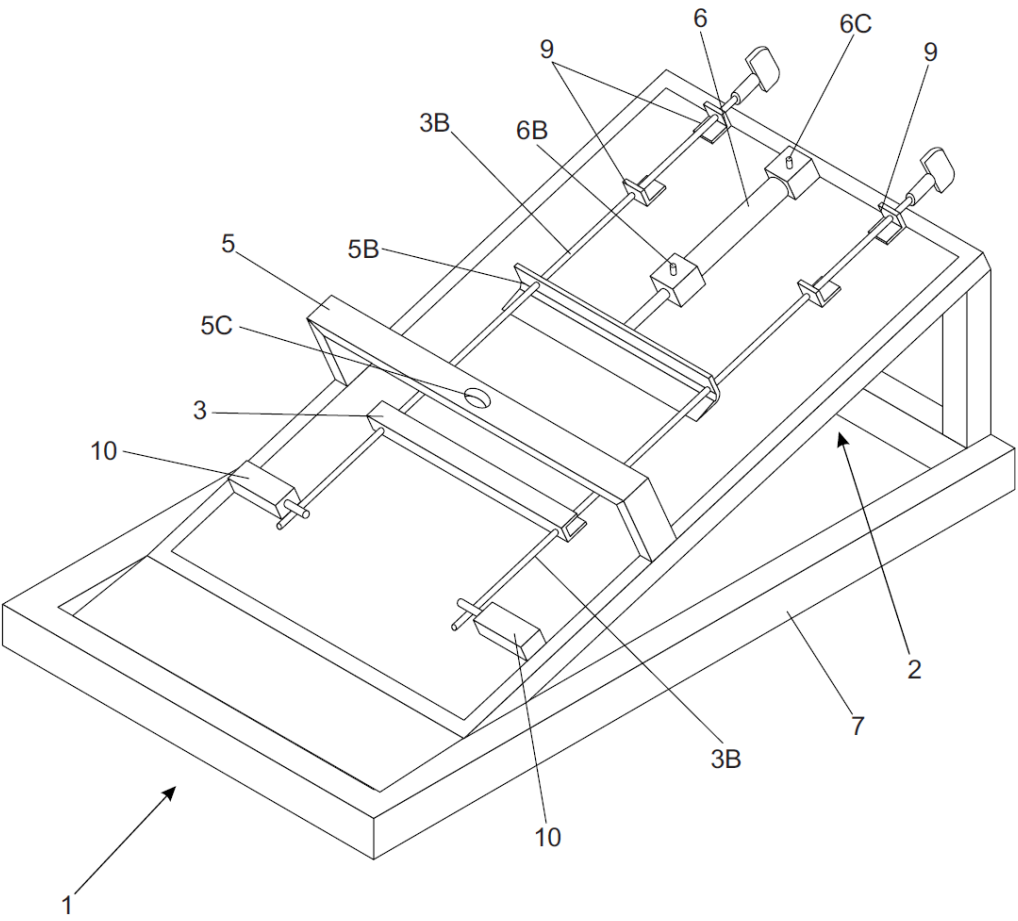


FIG. 2

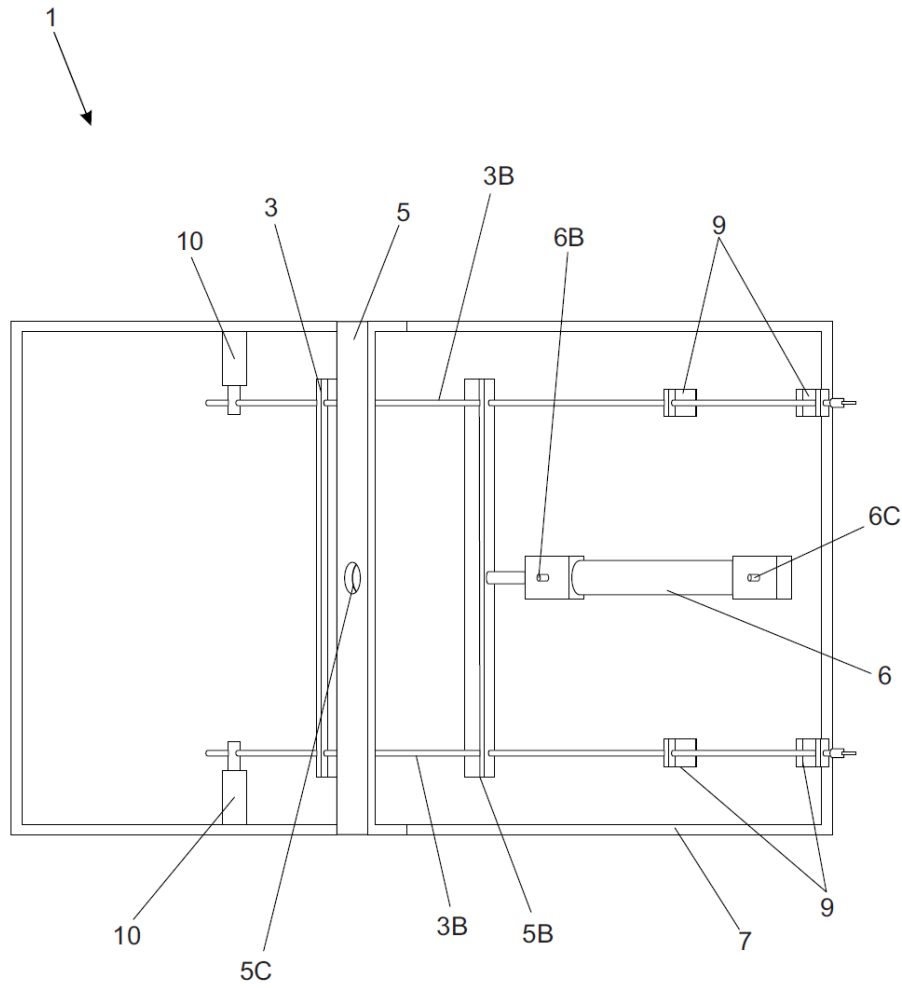


FIG. 3

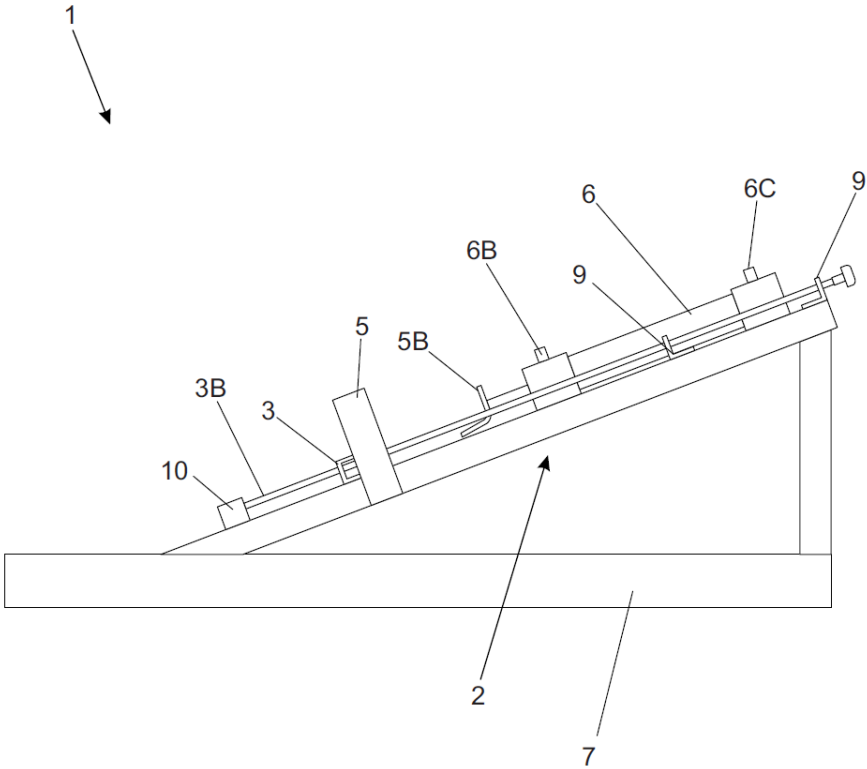
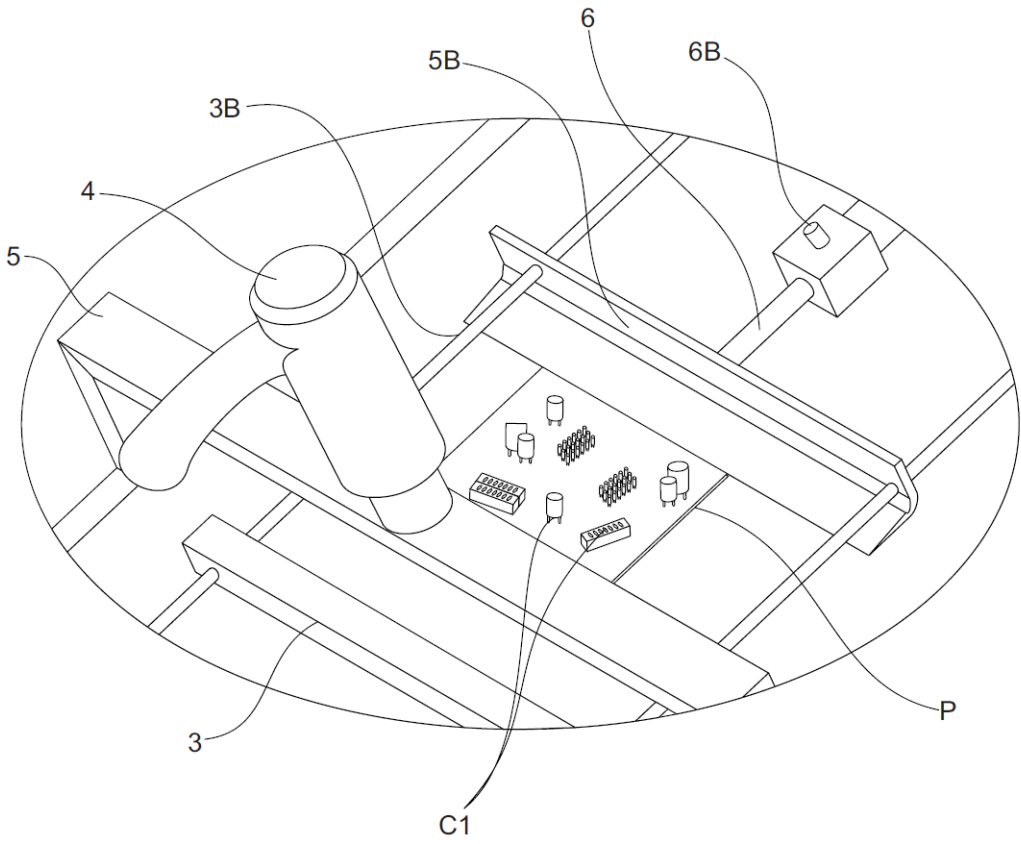
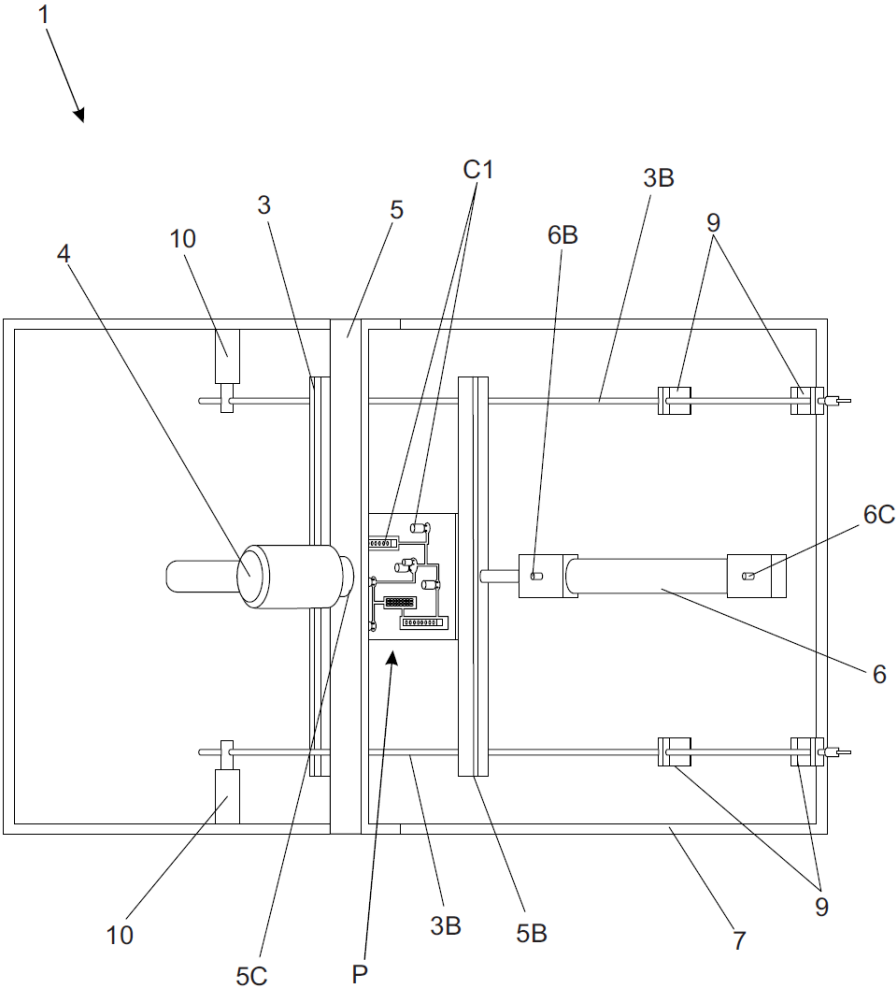


FIG. 4



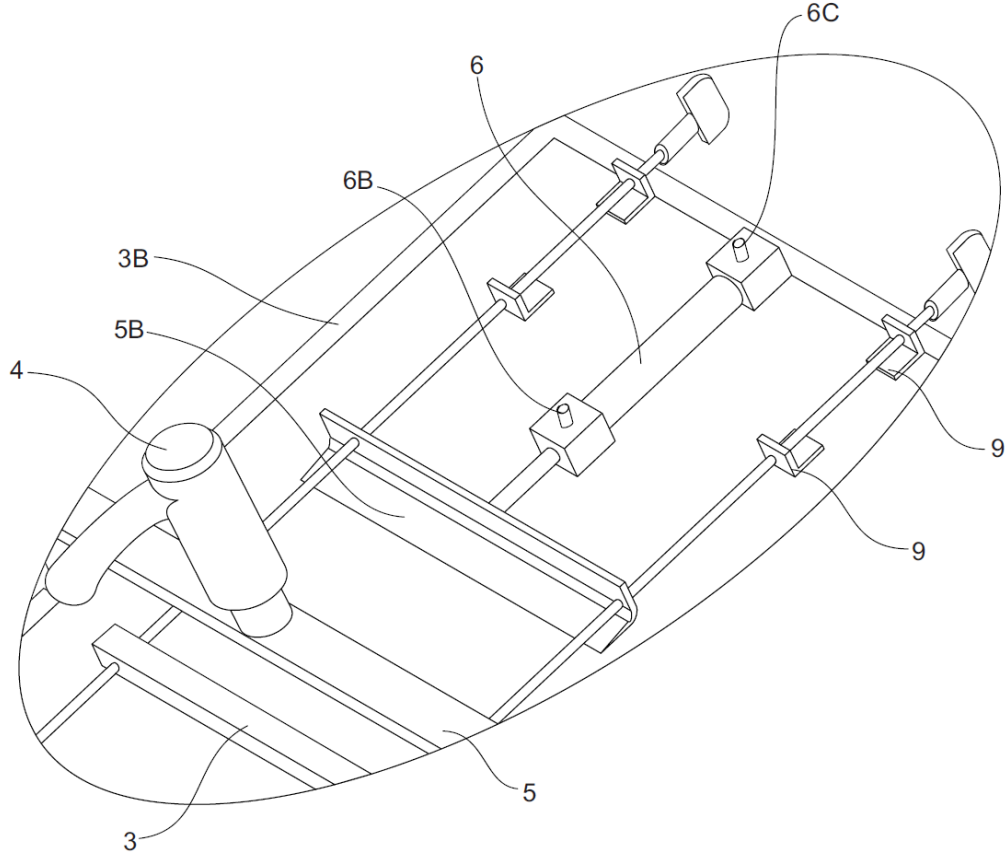
5/9

FIG. 5



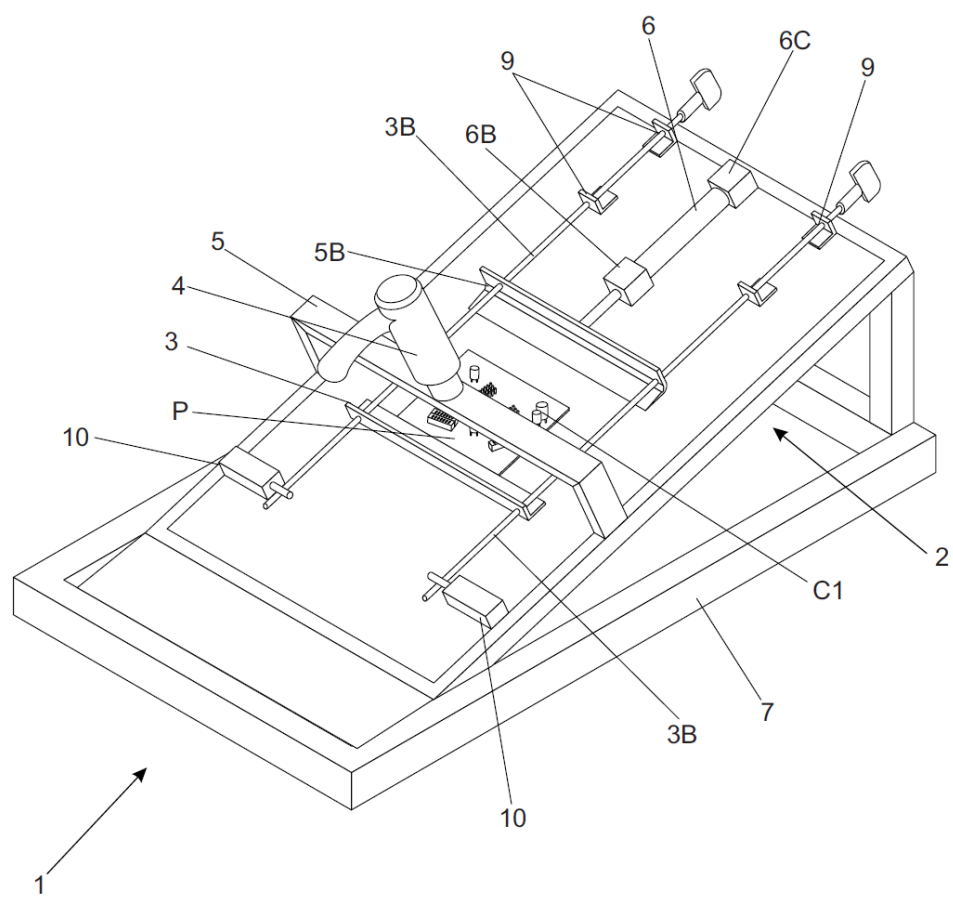
6/9

FIG. 6



7/9

FIG. 7



8/9

FIG. 8

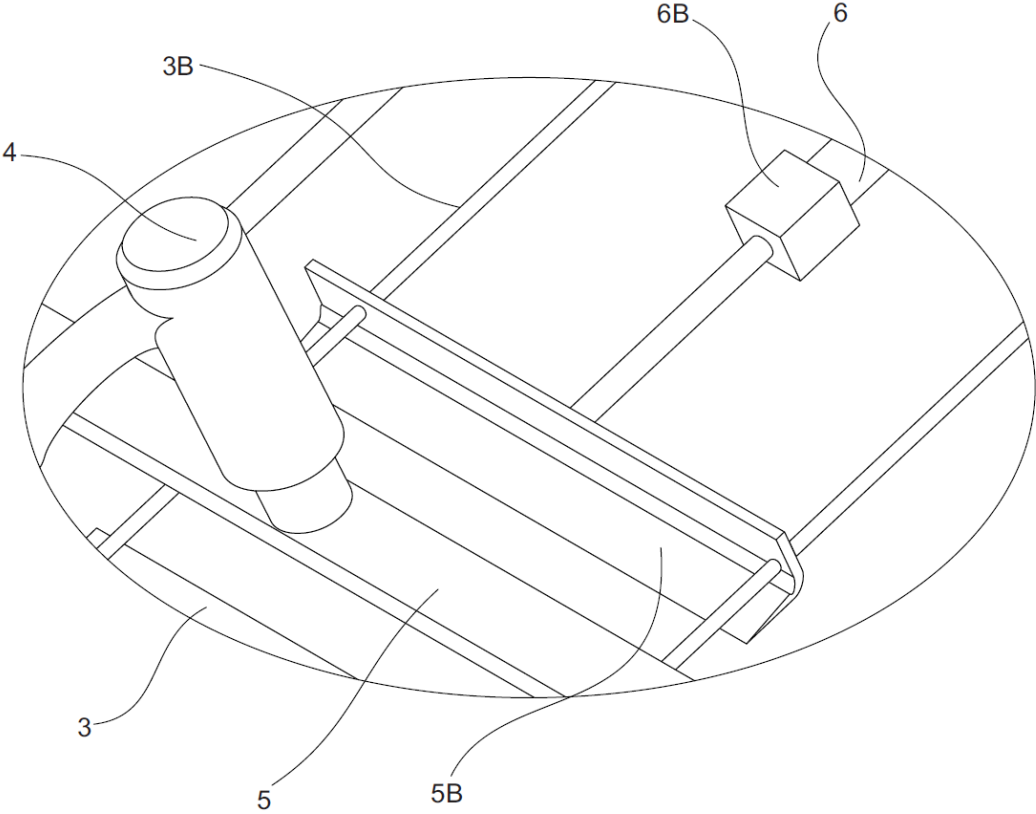


FIG. 9

