



Relatório

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Contributos para a gestão de Resíduos de Equipamentos
Elétricos e Eletrónicos na Ecomais - Recolha e Valorização
de Resíduos, S.A.***

Cristiana Rodrigues Ramos

Leiria, Fevereiro de 2018



Relatório

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Contributos para a gestão de Resíduos de Equipamentos
Elétricos e Eletrónicos na Ecomais - Recolha e Valorização
de Resíduos, S.A.***

Cristiana Rodrigues Ramos

Relatório de Estágio de Mestrado realizado sob a orientação da Doutora Helena
Manuela Pala de Sousa, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do
Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Fevereiro de 2018*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais pela oportunidade, apoio e incentivo incondicional ao longo de todo o meu percurso académico.

Agradeço à minha Orientadora, Doutora Helena Manuela Pala de Sousa, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, por todo o apoio e interesse demonstrado na realização do meu estágio e respetivo relatório.

De igual modo agradeço ao professor Nelson Oliveira, coordenador do Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, pela dedicação em ajudar-me na orientação do meu estágio ao longo destes nove meses.

Por último gostaria de agradecer à empresa *Ecomais*, pelo acolhimento e prestabilidade ao longo do meu estágio curricular.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE), definidos como um fluxo específico de resíduos, têm apresentado uma produção crescente ao longo dos últimos anos. A diminuição do tempo de vida útil dos equipamentos, assim como a elevada procura pelas novas tecnologias e a constante evolução tecnológica são as principais causas deste crescimento.

Os REEE constituem uma importante fonte de recursos secundários, uma vez que têm a capacidade de proporcionar valor acrescentado aos sistemas de gestão de resíduos, permitindo a poupança dos recursos naturais e a preservação da natureza.

Neste contexto, o presente trabalho visou a análise da atividade da *Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A.*, por forma a avaliar e a propor medidas de melhoria nos procedimentos adotados na gestão de resíduos, mais propriamente os REEE.

Com base na análise dos procedimentos de gestão de REEE, concluiu-se que a *Ecomais* apresenta uma atividade bem organizada e satisfatória face às necessidades dos seus clientes. No entanto, dado à evolução tecnológica ao nível da valorização deste fluxo de resíduos, sugere-se que a *Ecomais* realize um estudo de viabilidade económica, de modo a avaliar um eventual alargamento da sua atividade, integrando novos procedimentos na valorização dos REEE e seus constituintes, particularmente metais e plásticos.

Na valorização dos metais, técnicas como a pirometalurgia, hidrometalurgia e eletrometalurgia, consideradas eficientes, promissoras e atualmente muito utilizadas, poderão ser adotadas. Na valorização dos plásticos, poderão ser selecionadas técnicas como a pirólise, extração com fluido supercrítico e a gaseificação. De modo a melhorar continuamente as atividades da empresa, propõe-se ainda um aumento da sensibilização e formação dos seus colaboradores.

De facto, uma boa gestão global de resíduos, entre eles os REEE, conduz a uma economia circular, que se reflete no desenvolvimento de oportunidades de negócio e na otimização de custos. Para além disso, promove a criação de emprego, permitindo a implementação de procedimentos que conduzam à minimização dos riscos para a saúde humana e para o meio ambiente.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos, REEE, Resíduos, Tratamento, Valorização

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

Electrical and Electronic Equipment Wastes (WEEE), defined as a specific waste streams, has shown an increasing production over the last years.

The reduction of the useful life of the equipment, as well as the high demand for new technologies and the constant technological evolution are the main causes of this growth. WEEE is an important source of secondary resources as it has the capacity to provide added value to waste management systems, allowing the save of natural resources and the nature preservation.

In this context, the present work aimed the analysis of *Ecomais - Collection and Valorisation of Waste S.A.* activity, in order to evaluate and propose measures of improvement in the procedures adopted in waste management, more specifically WEEE.

Based on the analysis of WEEE management procedures, it was concluded that *Ecomais* presented a well-organized and satisfactory activity in face of the needs of its customers. However, given the technological evolution in the valorisation of this waste stream, it is suggested that *Ecomais* carry out a study of economic feasibility, in order to evaluate a possible extension of its activity, integrating new procedures in the valorisation of WEEE and its constituents, particularly metals and plastics.

In the valorisation of metals, techniques such as pyrometallurgy, hydrometallurgy and electrometallurgy, considered efficient, promising and currently widely used, may be adopted. In the valorisation of plastics, techniques such as pyrolysis, supercritical fluids extraction and gasification may be selected. In order to continuously improve the company's activities, it is proposed the increase of the awareness and training of its employees.

In fact, a good global waste management, including WEEE, leads to a circular economy, which is reflected in the development of business opportunities and in the cost optimization. In addition, it promotes the creation of jobs, allowing the procedures implementation that lead to the minimization of risks to human health and the environment.

Keywords: Appreciation, Treatment, Valorisation Waste, Waste Management, WEEE

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 - Processo de encaminhamento dos REEE.	11
Figura 2 - Componentes e materiais dos REEE reciclados pelo sistema suíço SWICO/S.EN.S. (adaptado de (Widmer, et al., 2005)).	17
Figura 3 - Diagrama genérico da reciclagem de Placas de Circuito Impresso.	42
Figura 4 - Etapas do trabalho.	44
Figura 5 - Instalações da Ecomais.	46
Figura 6 - Certificado de responsabilidade Ambiental.	50
Figura 7 - Veículo cisterna com sistema de hidroaspiração.	51
Figura 8 - Exemplos de contentores disponibilizados pela Ecomais.	52
Figura 9 - Exemplos de viaturas de serviço da Ecomais.	53
Figura 10 - Enfardamento de big bags.	54
Figura 11 - Enfardamento de papel/ cartão e filme plástico.	55
Figura 12 - Antes e depois da produção de CDR.	56
Figura 13 - Linha de produção de CDR da Ecomais.	57
Figura 14 - Processamento da borracha.	59
Figura 15 - Armazenamento e transporte de REEE.	60
Figura 16 - Fardos produzidos com inox retirado de grandes eletrodomésticos.	62

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de tabelas

Tabela 1 - Categorias legais de classificação dos EEE, e exemplos (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho).	12
Tabela 2 - Processo de tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração obsoletos, de acordo com o WEEELABEX.	24
Tabela 3 - Processo de tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração que contêm HC, de acordo com o WEEELABEX.	26
Tabela 4 - Técnicas de valorização dos materiais constituintes dos REEE.	27
Tabela 5 - Componentes e materiais retirados dos REEE e exemplos da sua proveniência.....	61
Tabela 6 - Quantificação dos fluxos de REEE rececionados na Ecomais.	62

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente
- BFR – Retardadores de chama bromados
- CDR – Combustível Derivado do Resíduo
- CFC – Clorofluorcarbonetos
- CRT – *Cathode Ray Tube*
- EEE – Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
- EFS – Extração com Fluido Supercrítico
- HC – Hidrocarbonetos
- HCFC – Hidroclorofluorcarbonetos
- HFC – Hidrofluorcarbonetos
- GR – Gestão de Resíduos
- LER – Lista Europeia de Resíduos
- PCI – Placas de Circuito Impresso
- PNGR – Plano Nacional de Gestão de Resíduos
- PUR – Poliuretano
- PVC – Policloreto de vinilo
- RCD – Resíduos de Construção e Demolição
- REEE – Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
- RPA – Resíduos de Pilhas e Acumuladores
- RSI – Resíduos Sólidos Industriais
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SGQA – Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente
- UE – União Europeia

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE SIGLAS	XIII
ÍNDICE	XV
1. INTRODUÇÃO	1
2. RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE)	5
2.1 Enquadramento Legal em matéria de resíduos	6
i. Legislação Europeia	6
ii. Legislação e Política Geral Nacional	6
iii. Legislação e Política para fluxos específicos de resíduos (REEE)	8
2.2 Classificação de EEE e caracterização e composição de REEE	9
2.3 Recolha, Tratamento, Reciclagem e Valorização de REEE	18
2.4 Estudo de vias alternativas para a valorização dos REEE	26
2.4.1 Técnicas de valorização dos metais	27
2.4.2 Técnicas de valorização dos plásticos	35
2.4.3 Caso particular: Placas de Circuito Impresso	41

3.	CASO DE ESTUDO	44
3.1	Metodologia	44
3.2	Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A.	45
3.2.1	Tipologia de resíduos - recolhidos/rececionados e tratados pela Ecomais	47
3.2.2	Atividades desenvolvidas na Ecomais	51
3.2.3	Identificação e tratamento dos fluxos de REEE recebidos pela Ecomais	59
3.3	Análise dos procedimentos da Ecomais e propostas de melhoria para a sua atividade	63
4.	CONCLUSÕES	67
	BIBLIOGRAFIA	69

1. INTRODUÇÃO

Desde a década 80 que a Política da União Europeia em matéria de proteção do ambiente e dos recursos naturais tem adquirido uma importância crescente. As ameaças de danos ambientais e o empobrecimento dos recursos naturais encontram-se ainda longe de ser controlados, verificando-se um aumento na sensibilização humana para os perigos latentes neste domínio e uma maior exigência para uma ação mais firme a nível de proteção ambiental, quer a nível Nacional como a nível Europeu (Comissão da Europeia, 2000).

Por consequência, o conjunto de medidas ao dispor dos cidadãos para desenvolver a política do ambiente foi bastante alargado e reforçado.

Ainda assim, para um grande leque de cidadãos europeus, alguns temas mantêm-se, nos dias de hoje, objeto de uma preocupação especial, tal como a produção crescente e alarmante de resíduos (Comissão da Europeia, 2000).

Efetivamente, como consequência da atividade humana, os resíduos, que assumem tantas formas, composição variada, propriedades físicas e químicas distintas ou até mesmo um comportamento heterogéneo num determinado ambiente, têm sido um problema de difícil resolução, até nos países mais desenvolvidos.

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), entre 2011 e 2013 registou-se, em média, um decréscimo de 6% na produção de resíduos urbanos em Portugal Continental. Contudo, a partir do ano de 2014 registou-se um aumento da produção dos mesmos e, em 2015, foram produzidas 4,765 milhares de toneladas de resíduos urbanos, mais 1% do que em 2014, invertendo-se a tendência de decréscimo constatada em anos anteriores (Agência Portuguesa do Ambiente).

Com a consciência de que se nada for feito para inverter esta tendência, será cada vez mais difícil controlar o perigo para a saúde humana e para o meio ambiente associado aos resíduos produzidos.

Para tal, definiram-se orientações estratégicas para a gestão dos resíduos em Portugal, consagradas em planos específicos, desenvolvidos para fontes concretas.

Identificam-se, por exemplo, os Planos Estratégicos para os Resíduos Urbanos (PERSU), para os Resíduos Hospitalares (PERH) e para os Resíduos Industriais (PESGRI).

De forma a garantir o desenvolvimento sustentável no setor dos resíduos, promoveu-se uma gestão estratégica integrada e abrangente, bem formalizada e capaz de garantir a eficácia da política nacional de resíduos. Surgiram diplomas de base, que estabeleceram o regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos, e regulamentaram as orientações fundamentais de âmbito nacional da política de resíduos na figura do Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR), no qual se alicerçam os planos de gestão específicos (Agência Portuguesa do Ambiente).

Desde a implementação do PERSU, verificou-se que muito foi feito na área dos resíduos, principalmente no que se refere à construção de infraestruturas ambientalmente corretas e à implementação de sistemas de recolha seletiva. Porém, a nível nacional, verificou-se uma certa demora no que toca à sensibilização por estas matérias, levando a que Portugal ainda não tenha alcançado as metas propostas e/ou legislação comunitária já transportada para o direito nacional, nomeadamente no caso dos fluxos específicos de resíduos.

Deste modo, ao longo das últimas décadas, o esforço tem sido no sentido de tomar medidas adequadas para reduzir a eliminação deste tipo de fluxos como resíduos urbanos não triados e para alcançar um elevado nível de recolha seletiva, nomeadamente de pilhas e baterias, de óleos minerais, de embalagens e de resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE).

No que se refere aos REEE, um estudo de *Yu et al., (2010)* revelou que, até 2030, serão produzidas grandes quantidades de resíduos de equipamentos informáticos (mais propriamente computadores), prevendo-se a produção de 400 a 700 milhões de unidades nos países em desenvolvimento e de 200 a 300 milhões de unidades nos países desenvolvidos. Segundo o autor, a maior produção nos países em desenvolvimento deve-se ao facto da maior parte dos equipamentos serem produzidos nos países desenvolvidos e posteriormente exportados para esses países.

Estes números, que apresentam uma tendência de aumento, são influenciados por diversos fatores que se encontram relacionados, tais como o crescimento das indústrias de tecnologia, o declínio no tempo médio de vida útil dos equipamentos elétricos e eletrónicos, a mudança do comportamento dos clientes que compram os equipamentos, o facto do mercado se encontrar ainda longe de saturado e a consciência das inovações tecnológicas durante as últimas décadas (Ardi, et al., 2015). Dado que o mercado continua em expansão e os ciclos de inovação são cada vez mais curtos, a substituição dos

equipamentos elétricos e eletrónicos é mais acelerada, o que torna o EEE uma fonte de resíduos em rápido crescimento, levando assim a uma alteração dos hábitos das populações (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho).

Atendendo aos problemas associados aos REEE e ao seu potencial de valorização, pretendeu-se, com o presente trabalho, analisar e avaliar o modo como a *Ecomais* efetua a sua gestão, por forma a estudar novos procedimentos de valorização que esta possa adotar, principalmente ao nível dos materiais que os constituem.

A empresa *Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A.*, com uma atividade relevante na recolha, processamento e valorização de REEE, foi usada como caso de estudo.

O trabalho realizado na empresa incluiu diferentes etapas, nomeadamente:

- Identificar e interpretar a legislação aplicável em matéria de resíduos, tendo em conta a gestão global de resíduos e a gestão do fluxo específico de REEE;
- Orientar e monitorizar a receção de resíduos na *Ecomais* e o seu posterior transporte para outras Entidades (incluindo preenchimento de guias de acompanhamento de resíduos (Modelo A) e de guias de Resíduos de Construção e Demolição (RCD));
- Identificar e quantificar os resíduos rececionados pela *Ecomais*, bem como os processos de tratamento e valorização que lhes são aplicados;
- Identificar as Entidades Gestoras que se encontram associadas à *Ecomais* e caracterizar o seu modo de atuação;
- Identificar alternativas de valorização para os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos, e respetivos constituintes;
- Identificar propostas de melhoria para a atividade da *Ecomais*.

O presente relatório encontra-se dividido em 4 capítulos.

No presente capítulo fez-se o enquadramento da matéria de estudo, definindo-se os objetivos principais do trabalho. No seguinte, será abordado o enquadramento legal em matéria de resíduos, a caracterização e composição dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos, os métodos legais aplicáveis ao nível da sua recolha, tratamento, reciclagem e valorização e algumas das vias alternativas para a valorização dos REEE e seus constituintes.

No terceiro capítulo será apresentado o caso de estudo, a *Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A.*, incluindo a caracterização da atividade da empresa, a tipologia de

resíduos que esta receciona/recolhe e trata e os procedimentos que utiliza ao nível do tratamento e valorização de REEE. No final deste, apresentam-se propostas de melhorias no que se refere aos procedimentos da *Ecomais* na gestão de REEE.

Neste mesmo capítulo será também apresentada a metodologia, que descreve as diferentes etapas da realização deste trabalho.

No último capítulo serão apresentadas as principais conclusões.

2. RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE)

O Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de Maio, aprova o regime jurídico da gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) e estabelece medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, com os objetivos de prevenir ou reduzir os impactos adversos decorrentes da produção e gestão desses resíduos, diminuir os impactos globais da utilização dos recursos, melhorar a eficiência dessa utilização e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

De acordo com o presente Decreto-Lei, Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) são *“os equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1 000 V para corrente alternada e 1 500 V para corrente contínua”*.

Quando o detentor deste tipo de equipamentos pretende desfazer-se destes, estes passam a designar-se de resíduos, mais propriamente Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (ou REEE). REEE são então *“quaisquer EEE que constituam resíduos, na aceção da definição de resíduo, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do produto no momento em que este é descartado”*.

O Decreto-Lei n.º 67/2014 define ainda REEE provenientes de utilizadores particulares, como sendo os que provêm do setor doméstico, bem como de fontes comerciais, industriais, institucionais e outras que, pela sua natureza e quantidade, sejam semelhantes aos REEE provenientes do setor doméstico.

O presente capítulo identifica e classifica os EEE e caracteriza os REEE, de acordo com a legislação em vigor. Do mesmo modo será apresentada a composição deste fluxo de resíduos.

2.1 Enquadramento Legal em matéria de resíduos

A Legislação Portuguesa em matéria de resíduos sólidos tem sido alterada ao longo dos últimos anos, como reflexo da sua desatualização face às exigências da União Europeia. Neste subcapítulo será feita uma breve análise da Legislação Europeia e da Política Geral Nacional, aplicáveis em matéria de resíduos, com relevância para os REEE.

i. Legislação Europeia

Em termos de Legislação Europeia aplicável em matéria de resíduos, e como exemplo, foram elaborados os seguintes diplomas legais (Eco-Partner – Consultoria e Projectos Ambientais, S.A.):

- Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, que estabelece a política de gestão de resíduos na União Europeia;
- Decisão da Comissão n.º 2014/955/UE, de 18 de Dezembro, que altera a Decisão da Comissão n.º 2000/532/CE, de 3 de Maio, referida no artigo 7º da Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, publicando a Lista Europeia de Resíduos (LER) e definindo as operações de valorização e eliminação de resíduos;
- Despacho n.º 21295/2009, de 22 de Setembro, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, que aprova a estratégia para os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), para o horizonte temporal de 2009-2020.

ii. Legislação e Política Geral Nacional

A nível nacional, foram identificados diplomas legais importantes e decisivos para uma boa gestão global dos resíduos. Em constante atualização, alguns dos principais diplomas legais são (Eco-Partner – Consultoria e Projectos Ambientais, S.A.):

- Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, que para além de estabelecer o regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos e ser aplicável às operações de GR destinadas a prevenir ou reduzir a produção de resíduos, o seu carácter nocivo e os impactes adversos decorrentes da sua produção e gestão, bem como a diminuição dos impactes associados à utilização dos recursos naturais, também estabelece definições importantes como resíduos, armazenagem, reutilização, tratamento, eliminação, gestão de resíduos, operador, valorização, prevenção, reciclagem, entre outros, e, estabelece os princípios gerais da gestão de resíduos, sendo estes:
 - Princípio da auto-suficiência e da proximidade;
 - Princípio da responsabilidade pela gestão;
 - Princípio da proteção da saúde humana e do ambiente;
 - Princípio da hierarquia dos resíduos;
 - Princípio da responsabilidade do cidadão;
 - Princípio da regulação da gestão de resíduos;
 - Princípio da equivalência;
 - Princípio da responsabilidade alargada do produtor.

A responsabilidade do produtor pela gestão dos seus resíduos pode ser assumida individualmente ou transferida para um sistema integrado, nos termos da lei em vigor, ou ainda através da celebração de acordos voluntários entre o produtor do produto e a ANR (Autoridade Nacional de Resíduos) (Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho).

- Despacho n.º 25297/2002, de 27 de Novembro, que define a proibição da deposição e descarga de resíduos de toda a espécie em terrenos agrícolas, florestais e cursos de água ou noutros locais não submetidos a uma atividade agrícola;
- Despacho n.º 454/2006, de 9 de Janeiro, que aprova o Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE);
- Portaria n.º 1023/2006, de 20 de Setembro, que define os elementos que devem acompanhar o pedido de licenciamento das operações de armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos;
- Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio, que fixa as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos dentro do território nacional e publica em anexo o

modelo das guias de acompanhamento de resíduos (Modelo 1428 da Imprensa Nacional) e de resíduos hospitalares perigosos;

- Portaria n.º 320/2007, de 23 de Março, que alterando a Portaria n.º 1408/2006, de 18 de Dezembro, aprova o regulamento de funcionamento do Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos (SIRER);
- Portaria n.º 222/2011, de 2 de Junho, que alterando a Portaria n.º 72/2010, de 4 de Fevereiro e esta, por sua vez, revogando a Portaria n.º 1407/2006, de 18 de Dezembro, estabelece as regras respeitantes à liquidação, pagamento e repercussão da taxa de gestão de resíduos.

iii. Legislação e Política para fluxos específicos de resíduos (REEE)

As tipologias de resíduos que são encarados como fluxos específicos estão sujeitas a uma gestão particular.

Com isto, existe legislação específica e Sociedades Gestoras para os REEE, licenciadas pela Autoridade Nacional de Resíduos, a funcionar na Agência Portuguesa do Ambiente:

- Decreto-Lei n.º 71/2016, de 4 de Novembro, que procedendo à primeira alteração do Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de Maio, aprova o regime jurídico da gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE), estabelecendo medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, com os objetivos de prevenir ou reduzir os impactes adversos decorrentes da produção e gestão desses resíduos, diminuir os impactes globais da utilização dos recursos, melhorar a eficiência dessa utilização e contribuir para o desenvolvimento sustentável. O Decreto-Lei n.º 67/2014 transpôs para o direito nacional a Diretiva n.º 2012/19/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Julho, reformulando a Diretiva n.º 2002/96/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro, e revogando o anterior Decreto-Lei n.º 230/2004, de 10 de Dezembro;
- Decreto-Lei n.º 79/2013, de 11 de Junho, que estabelece as regras relativas à restrição da utilização de determinadas substâncias perigosas em Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (EEE), com o objetivo de contribuir para a proteção da

saúde humana e do ambiente, incluindo uma valorização e eliminação, ecologicamente corretas, dos REEE. Este Decreto-Lei transpôs para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2011/65/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Junho, alterada pelas Diretivas Delegadas n.º 2012/50/UE e n.º 2012/51/UE, ambas da Comissão, de 10 de Outubro de 2012.

Posto isto, verifica-se que a legislação aplicável aos REEE se encontra firmemente baseada no princípio da responsabilidade do produtor, ou seja, o produtor é o responsável pelo financiamento e organização de uma rede de sistemas de recolha, tratamento, valorização ou eliminação, em boas condições ambientais, dos seus próprios produtos enquanto resíduos.

Independentemente do sistema de gestão de REEE que o produtor opte, este é obrigado a proceder ao registo dos seus REEE, tendo sido criada uma entidade para o efeito, a Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (ANREEE), de forma a tornar possível o acompanhamento e fiscalização do cumprimento das suas responsabilidades.

No âmbito do sistema coletivo para gestão dos REEE, foram licenciadas duas entidades gestoras em Portugal, a *Amb3E- Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos* e a *ERP Portugal - Associação Gestora de REEE*.

2.2 Classificação de EEE e caracterização e composição de REEE

Relativamente aos Equipamentos Elétricos e Eletrónicos que, quando descartados dão origem a REEE, a Diretiva n.º 2012/19/UE estabelece dez categorias legais de classificação, de acordo com a Tabela 1 (Amb3e - Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos).

Segundo o artigo 2º do Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de Maio, alguns equipamentos elétricos e eletrónicos não são incluídos no âmbito da gestão dos REEE, nomeadamente:

- Equipamentos necessários à defesa e segurança do Estado, designadamente armas, munições e material de guerra destinados a fins especificamente militares;

- Equipamentos concebidos e instalados especificamente como componentes de outros tipos de equipamento excluídos ou não abrangidos pelo âmbito de aplicação do presente Decreto-Lei e que só podem desempenhar a sua função quando integrados nesses outros equipamentos;
- Lâmpadas de incandescência;
- Equipamentos concebidos para serem enviados para o espaço;
- Ferramentas industriais fixas de grandes dimensões;
- Instalações fixas de grandes dimensões, com exceção dos equipamentos que não sejam concebidos e instalados especificamente como parte de tais instalações;
- Meios de transporte de pessoas ou de mercadorias, excluindo veículos elétricos de duas rodas que não se encontrem homologados;
- Máquinas móveis não rodoviárias destinadas exclusivamente a utilização profissional;
- Equipamentos concebidos especificamente para fins de investigação e desenvolvimento e disponibilizados exclusivamente num contexto interempresas;
- Dispositivos médicos e dispositivos médicos de diagnóstico in vitro ou acessórios, caso se preveja que esses dispositivos venham a ser infecciosos antes do fim de vida;
- Dispositivos médicos implantáveis ativos.

Assumindo o procedimento habitual, os REEE produzidos são encaminhados para os centros de receção da rede eletricidade, como por exemplo a *Ecomais*, onde é efetuada uma triagem que permite a sua separação em seis fluxos operacionais, nomeadamente (Amb3e - Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos):

- Fluxo A – Grandes equipamentos/eletrodomésticos;
- Fluxo B – Equipamentos de frio;
- Fluxo C – Pequenos eletrodomésticos;
- Fluxo D1 – Lâmpadas fluorescentes tubulares;
- Fluxo D2 – Lâmpadas fluorescentes de geometrias diversas;
- Fluxo E – Monitores.

A Figura 1 apresenta o processo de encaminhamento dos REEE, desde a sua deposição em unidades de pontos de eletrão até às Unidades de Tratamento e Valorização (UTV) da *Amb3e*.

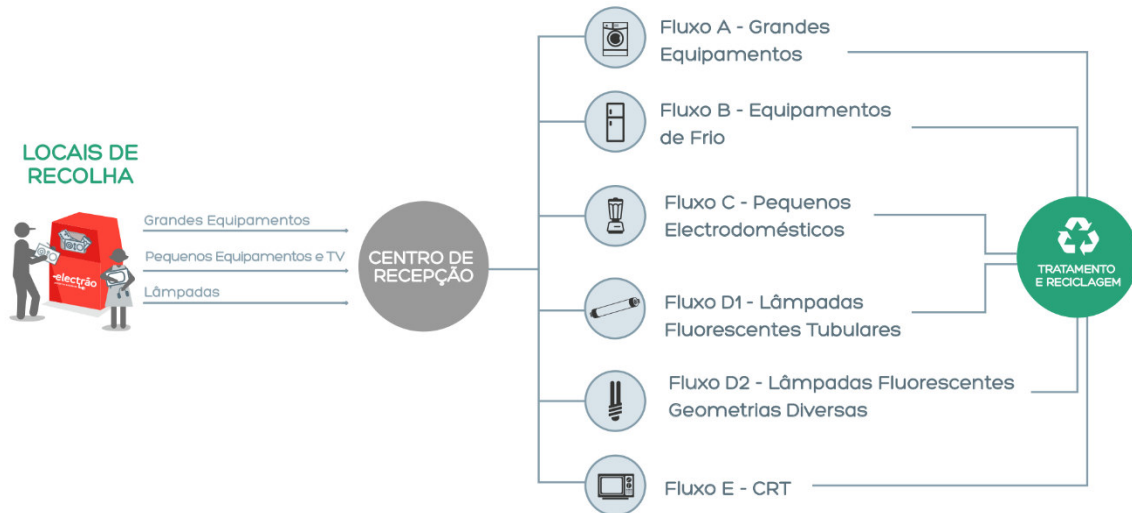


Figura 1 - Processo de encaminhamento dos REEE.

Nas UTV da *Amb3e* são realizadas operações, que promovem o tratamento e a reciclagem dos REEE, através da remoção de componentes perigosos e da recuperação de materiais.

A composição dos REEE varia consoante o tipo de produtos e, por vezes, dentro da mesma categoria de produtos existem diferenças na composição do material constituinte. É o caso dos telemóveis, que podem ter uma capa exterior de metal ou plástico, mas interiormente têm de possuir partes semelhantes muito importantes, tais como a bateria recarregável, o ecrã e a Unidade Central de Processamento (CPU) (Tanskanen, 2013).

Os REEE são constituídos por uma larga gama de materiais, sendo estes (Crowe, et al., 2003):

- Plásticos (utilizados como embalagem, em revestimentos, em cabos e em placas de circuito);
- Metais ferrosos (ferro e aço, utilizados em revestimentos e quadros);
- Metais não-ferrosos (sobretudo cobre (usado em cabos elétricos) e alumínio);
- Dispositivos eletrónicos (como PCI (Placas de Circuito Impresso));
- Vidro;
- Outros (papel, madeira, borracha, cerâmica, entre outros).

Tabela 1 - Categorias legais de classificação dos EEE, e exemplos (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho).

Categorias	Designação	Tipo de equipamentos incluídos
Categoria 1	Grandes eletrodomésticos	<ul style="list-style-type: none"> a) Grandes aparelhos de arrefecimento; b) Frigoríficos; c) Congeladores; d) Outros grandes aparelhos utilizados na refrigeração, conservação e armazenamento de alimentos; e) Máquinas de lavar roupa; f) Máquinas de lavar loiça; g) Fogões; h) Fornos elétricos; i) Placas de fogão elétricas; j) Micro-ondas; k) Outros grandes aparelhos utilizados para cozinhar ou transformar os alimentos; l) Aparelhos de aquecimento elétricos; m) Radiadores elétricos; n) Outros aparelhos de grandes dimensões para aquecimento de casas, de camas, de mobiliário para sentar; o) Ventoinhas elétricas; p) Aparelhos de ar condicionado; q) Outros equipamentos de ventilação, ventilação de exaustão e condicionamento.
Categoria 2	Pequenos Eletrodomésticos	<ul style="list-style-type: none"> a) Aspiradores; b) Aparelhos de limpeza de alcatifas; c) Outros aparelhos de limpeza; d) Aparelhos utilizados na costura, tricô, tecelagem e outras formas de transformar os têxteis; e) Ferros de engomar e outros aparelhos para engomar, calandrar e tratar o vestuário; f) Torradeiras; g) Fritadeiras; h) Moinhos, máquinas de café e aparelhos para abrir ou fechar recipientes ou embalagens; i) Facas elétricas; j) Aparelhos para cortar o cabelo, secadores de cabelo, escovas de dentes elétricas, máquinas de barbear, aparelhos de massagem e outros aparelhos para o cuidado do corpo k) Relógios de sala, relógios de pulso e aparelhos para medir, indicar ou registar o tempo; l) Balanças.

<p>Categoria 3</p>	<p>Equipamentos Informáticos e de Telecomunicações</p>	<ul style="list-style-type: none"> a) Processamento centralizado de dados; b) Macrocomputadores (mainframes); c) Minicomputadores; d) Unidades de impressão; e) Equipamentos informáticos pessoais; f) Computadores pessoais (CPU, rato, ecrã e teclado incluídos); g) Computadores portáteis «laptop» (CPU, rato, ecrã e teclado incluídos); h) Computadores portáteis «notebook»; i) Computadores portáteis «notepad»; j) Impressoras; k) Copiadoras; l) Máquinas de escrever elétricas e eletrónicas; m) Calculadoras de bolso e de secretária; n) Outros produtos ou equipamentos para recolher, armazenar, tratar, apresentar ou comunicar informações por via eletrónica; o) Sistemas e terminais de utilizador; p) Telecopiadoras (fax); q) Telex; r) Telefones; s) Postos telefónicos públicos; t) Telefones sem fios; u) Telefones celulares; v) Atendedores automáticos; w) Outros produtos ou equipamentos para transmitir som, imagens ou outras informações por telecomunicação.
---------------------------	--	--

Categoria 4	Equipamentos de Consumo e Painéis Fotovoltaicos	<ul style="list-style-type: none"> a) Aparelhos de rádio; b) Aparelhos de televisão; c) Câmaras de vídeo; d) Gravadores de vídeo; e) Gravadores de alta-fidelidade; f) Amplificadores áudio; g) Instrumentos musicais; h) Outros produtos ou equipamentos para gravar ou reproduzir o som ou a imagem, incluindo sinais ou outras tecnologias de distribuição do som e da imagem por outra via que não a telecomunicação; i) Painéis fotovoltaicos.
Categoria 5	Equipamentos de Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> a) Luminárias para lâmpadas fluorescentes (com exceção dos aparelhos de iluminação domésticos); b) Lâmpadas fluorescentes clássicas; c) Lâmpadas fluorescentes compactas; d) Lâmpadas de descarga de alta intensidade, incluindo lâmpadas de sódio sob pressão e lâmpadas de haletos metálicos; e) Lâmpadas de sódio de baixa pressão; f) Outras luminárias ou equipamento destinado a difundir ou controlar a luz (com exceção das lâmpadas de incandescência).
Categoria 6	Ferramentas Elétricas e Eletrónicas (com exceção de ferramentas industriais fixas de grandes dimensões)	<ul style="list-style-type: none"> a) Berbequins; b) Serras; c) Máquinas de costura; d) Equipamento para tornear, fresar, lixar, triturar, serrar, cortar, tosar, brocar, fazer furos, puncionar, dobrar, encurvar, ou para processos similares de tratamento de madeira, metal e outros materiais; e) Ferramentas para rebitar, pregar ou aparafusar ou remover rebites, pregos ou parafusos, ou para usos semelhantes; f) Ferramentas para soldar ou usos semelhantes; g) Equipamento para pulverizar, espalhar, dispersar ou para tratamento com substâncias líquidas ou gasosas por outros meios; h) Ferramentas para cortar relva ou para outras atividades de jardinagem.

Categoria 7	Brinquedos e Equipamento de Desporto e Lazer	<ul style="list-style-type: none"> a) Conjuntos de comboios elétricos ou de pistas de carros de corrida; b) Consolas de jogos de vídeo portáteis; c) Jogos de vídeo; d) Computadores para ciclismo, mergulho, corrida, remo, e outras atividades desportivas; e) Equipamento desportivo com componentes elétricos ou eletrónicos; f) Caça-níqueis (<i>slot machines</i>).
Categoria 8	Aparelhos Médicos (com exceção de todos os produtos implantados e infetados)	<ul style="list-style-type: none"> a) Equipamentos de radioterapia; b) Equipamentos de cardiologia; c) Equipamentos de diálise; d) Ventiladores pulmonares; e) Equipamentos de medicina nuclear; f) Equipamentos de laboratório para diagnóstico in vitro; g) Analisadores; h) Congeladores; i) Testes de fertilização; j) Outros aparelhos para detetar, evitar, controlar, tratar, aliviar doenças, lesões ou deficiências.
Categoria 9	Instrumentos de Monitorização e Controlo	<ul style="list-style-type: none"> a) Detetores de fumo; b) Reguladores de aquecimento; c) Termóstatos; d) Aparelhos de medição, pesagem ou regulação para uso doméstico ou como equipamento laboratorial; e) Outros instrumentos de controlo e comando utilizados em instalações industriais (por exemplo, em painéis de comando).
Categoria 10	Distribuidores Automáticos	<ul style="list-style-type: none"> a) Distribuidores automáticos de bebidas quentes; b) Distribuidores automáticos de garrafas ou latas quentes ou frias; c) Distribuidores automáticos de produtos sólidos; d) Distribuidores automáticos de dinheiro; e) Todos os aparelhos que forneçam automaticamente todo o tipo de produtos.

Segundo *Tanskanen (2013)*, os materiais constituintes dos REEE mais abundantes são os metais ferrosos (ferro e aço), que representam cerca de metade do peso total deste fluxo de resíduos; seguindo-se os plásticos, que representam cerca de 21% do peso; os metais não ferrosos (incluindo metais preciosos), que representam cerca de 13% do peso, e por fim o vidro, com cerca de 5%. De notar que estes valores dependem da quantidade de amostra do equipamento.

Em geral, as características dos REEE dificultam a estimativa dos materiais incluídos neste fluxo de resíduos, originando dificuldades na sua gestão, nomeadamente para os formuladores de políticas e empresas de gestão de resíduos (*Widmer, et al., 2005*). Para ultrapassar essa limitação, os REEE devem ser separados de acordo com os fluxos legais em vigor. Esta separação também é útil para a gestão de substâncias perigosas na reciclagem e tratamento de REEE, devido ao facto das características dos materiais tóxicos serem diferentes, tendo em conta os diferentes tipos de REEE (*Widmer, et al., 2005*).

A Figura 2 mostra os componentes e materiais do fluxo REEE que foram alvo de reciclagem pelo sistema de reciclagem suíço *SWICO/S.EN.S*, no período de 1995-2004. Para além de evidenciar a estimativa esperada no que se refere à abundância dos materiais de REEE, os dados mostram a existência de substâncias que apresentam perigosidade para o meio ambiente e para a saúde humana. Como exemplo destas substâncias, temos os equipamentos de frio, que contêm clorofluorcarbonetos usados nos circuitos de refrigeração e nas espumas de isolamento; e as baterias, que contêm quantidades significativas de metais pesados, como mercúrio, chumbo, zinco, cádmio, níquel e cobalto (*Pérez-Belis, et al., 2013*).

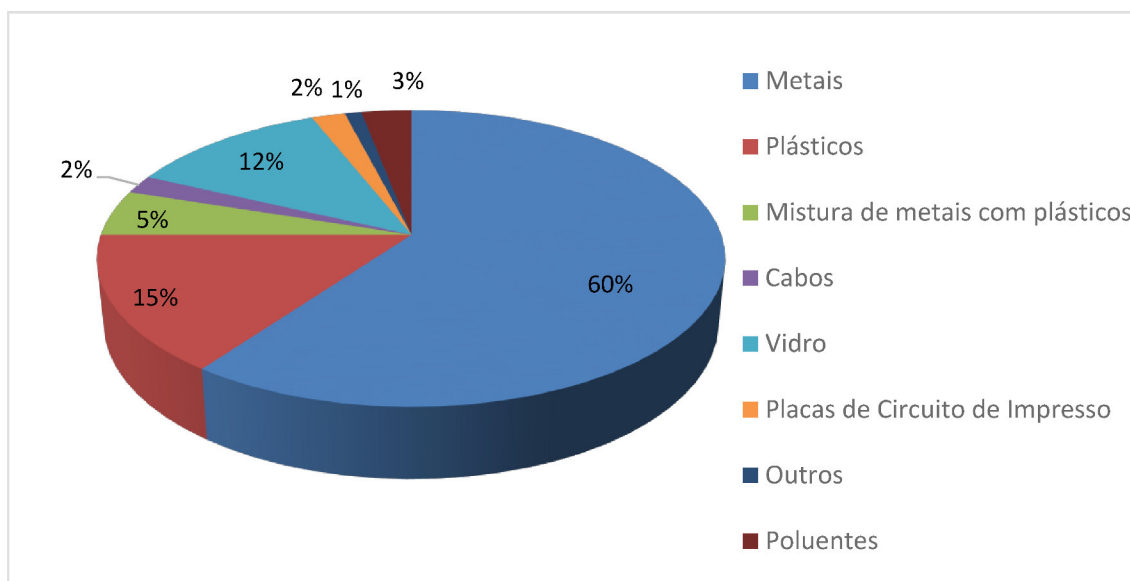


Figura 2 - Componentes e materiais dos REEE reciclados pelo sistema suíço SWICO/S.EN.S.

(adaptado de (Widmer, et al., 2005)).

De acordo com a *Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho*, embora a *Diretiva 2002/95/CE* tenha contribuído para reduzir significativamente as substâncias perigosas contidas nos novos EEE, algumas dessas substâncias continuarão presentes nos REEE por muitos anos, como o mercúrio, o cádmio, o chumbo, o crómio, o hexavalente, os policlorobifenilos (PCB) e as substâncias que destroem o ozono. Tendo em conta o teor de componentes perigosos nos EEE, existe uma grande preocupação durante a fase de gestão destes resíduos e na realização de uma reciclagem eficiente.

A reciclagem eficiente dos REEE apresenta vantagens ao nível do ambiente, da saúde humana e dos recursos existentes no nosso planeta (Amb3e - Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos). O tratamento e a reciclagem dos REEE permite minimizar o impacto no ambiente, na medida em que a correta remoção das substâncias perigosas e a recuperação dos materiais evita efeitos negativos, como a poluição de solos, de recursos hídricos e do ar. Note-se, por exemplo, que o cádmio presente nas baterias dos telemóveis é suficiente para poluir 600 mil litros de água e a emissão dos CFC (clorofluorcarbonetos) presentes nos equipamentos de refrigeração para a atmosfera conduz a efeitos nocivos e irreversíveis na camada do ozono, refletindo-se no aquecimento global e nas alterações climáticas.

Do mesmo modo, a reciclagem destes materiais reduz a exposição do Homem às substâncias perigosas, evitando consequências negativas para a saúde humana. Neste caso, apresentam-se os exemplos do mercúrio, elemento nocivo e bioacumulável, que

provoca efeitos prejudiciais ao nível do sistema digestivo e rins e problemas neurológicos dos indivíduos expostos, e do cádmio, que é altamente carcinogénico, afetando os rins, pulmões, fígado e ossos.

Por último, a reciclagem destes resíduos permite ainda recuperar materiais que poderão ser posteriormente reutilizados na produção de novos produtos, entre eles, metais (como o alumínio) e vidro, que podem ser reciclados vezes sem conta. Este procedimento permite reduzir o consumo de matérias-primas e, conseqüentemente, a utilização dos recursos naturais, em alguns casos já finitos e em grande escassez.

2.3 Recolha, Tratamento, Reciclagem e Valorização de REEE

Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos são um dos maiores fluxos específicos de resíduos a nível mundial. Por conseguinte, para um ambiente sustentável e para uma recuperação económica de material valioso para reutilização, a reciclagem eficiente deste tipo de resíduos tornou-se indispensável e deve ser considerada como um grande desafio para a sociedade de hoje em dia (Tanskanen, 2013).

Perante esta situação, a Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho, surgiu com o objetivo de *“contribuir para uma produção e um consumo sustentáveis mediante, prioritariamente, da prevenção de REEE e, adicionalmente, através da reutilização, reciclagem e outras formas de valorização desses resíduos, de modo a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar e a contribuir para a utilização eficiente dos recursos e a recuperação de matérias-primas secundárias valiosas”*. Para tal, deverão ser previstos requisitos de conceção ecológica dos EEE que facilitem a reutilização, o desmantelamento e a valorização dos REEE, tendo em conta as medidas de execução da Diretiva 2009/125/CE, de 21 de Outubro (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho).

Por forma a atingir o nível desejado de proteção da saúde humana e do meio ambiente, a recolha seletiva é uma condição prévia para garantir um tratamento e reciclagem específicos dos REEE.

De modo a que os consumidores contribuam ativamente para o sucesso da recolha e sejam incentivados a entregar os seus REEE, devem existir instalações adequadas para

a entrega dos mesmos, incluindo pontos de recolha públicos, onde os particulares possam entregar esses resíduos, pelo menos, sem encargos. Os distribuidores também desempenham um papel importante para o sucesso do processo de recolha (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho).

Perante a presente Diretiva, os Estados-Membros viram-se obrigados a criar sistemas de recolha de REEE, tendo-lhes sido exigido que atingissem um elevado nível de recolha de REEE, em especial de equipamentos de refrigeração e congelação que contenham substâncias que empobrecem a camada de ozono e gases fluorados com efeito de estufa, devido ao seu elevado impacto ambiental e às obrigações constantes nos Regulamentos (CE) n.º 842/2006 (CE) n.º 1005/2009.

Avaliações de impacto efetuadas pela Comissão Europeia, em 2008, comprovaram que mais de 50% dos EEE colocados no mercado já eram recolhidos seletivamente, embora mais de metade fossem possivelmente tratados de uma maneira inadequada e sujeitos a exportações ilegais, levando à perda de matérias-primas secundárias valiosas, à degradação do ambiente e ao fornecimento de dados incorretos. Assim, foi necessário fixar objetivos de recolha ambiciosos e impor medidas para garantir que os REEE recolhidos eram tratados em boas condições ambientais e corretamente declarados.

Relativamente ao tratamento deste fluxo de resíduos, é indispensável especificidade, de modo a evitar a dispersão de poluentes no material reciclado ou no fluxo em geral. *“Os estabelecimentos ou empresas que efetuem operações de recolha, reciclagem ou tratamento, deverão cumprir normas mínimas para prevenir impactes ambientais negativos associados ao tratamento de REEE”* (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho). Para tal, deverão ser utilizadas as melhores técnicas disponíveis de tratamento, valorização e reciclagem, de modo a que assegurem a proteção da saúde humana e uma elevada proteção do ambiente.

Os Estados-Membros devem incentivar a cooperação entre os produtores e operadores de estabelecimentos de reciclagem, bem como a adoção de medidas de promoção da conceção e produção de EEE, tendo em vista a facilidade na reutilização, no desmantelamento e na valorização de REEE, incluindo seus componentes e materiais. Devem ainda tomar medidas adequadas para reduzir a eliminação de REEE sob a forma de resíduos urbanos não triados, assegurando o correto tratamento dos resíduos recolhidos e atingindo um elevado nível de recolha seletiva, especialmente no que diz

respeito aos equipamentos de regulação de temperatura, às lâmpadas fluorescentes que contêm mercúrio, aos painéis fotovoltaicos e aos pequenos equipamentos referidos nas categorias 5 e 6 do *Anexo III* da Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho.

De acordo com a presente Diretiva, os Estados-Membros devem assegurar que o volume de REEE recolhidos evolui gradualmente entre os anos 2016 e 2019 e que, a partir de 2019, a taxa mínima de recolha a atingir anualmente é de 65% do peso médio dos EEE colocados no mercado nos três anos anteriores no Estado-Membro em causa ou, alternativamente, de 85% dos REEE gerados no território desse Estado.

O tratamento considerado adequado aos REEE deve incluir, no mínimo, a remoção de todos os fluídos e um tratamento seletivo, de acordo com o disposto no *Anexo VII* da presente Diretiva. Antes do tratamento, os centros de receção devem manusear e armazenar os resíduos recebidos com cuidado, para evitar danos e/ou fugas que podem resultar na emissão de substâncias perigosas para o ar ou para o solo, dando especial atenção a equipamentos de transferência de calor (exemplo: frigoríficos e congeladores), equipamentos com CRT (Tubos de Raios Catódicos), lâmpadas e equipamentos que contenham lâmpadas (exemplo: camas de solário), detetores de fumo e equipamentos que contêm amianto ou fibras cerâmicas (exemplo: fogões e aquecedores) (Weee Forum, 2013).

Analisando o *Anexo VII* da Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho, verifica-se que existe a obrigatoriedade de retirar de todos os REEE recolhidos seletivamente as seguintes substâncias, misturas e componentes (de forma manual, mecânica, química ou metalúrgica):

- Condensadores com policlorobifenilos (PCB);
- Componentes contendo mercúrio (como interruptores ou lâmpadas de retroiluminação);
- Pilhas e baterias;
- Placas de circuito impresso de telemóveis em geral e de outros aparelhos (caso a superfície das placas seja superior a 10 cm²);
- Cartuchos de toner, líquido e pastoso, bem como de toner de cor;
- Plásticos contendo retardadores de chama bromados;
- Resíduos de amianto e componentes contendo amianto;

- Tubos de raios catódicos (CRT);
- Clorofluorcarbonetos (CFC), hidroclorofluorcarbonetos (HCFC), hidrofluorcarbonetos (HFC), hidrocarbonetos (HC);
- Lâmpadas de descarga de gás;
- Ecrãs de cristais líquidos;
- Cabos elétricos;
- Componentes contendo fibras cerâmicas refratárias;
- Componentes contendo substâncias radioativas;
- Condensadores eletrolíticos que contenham substâncias que causam preocupação.

“Todas estas substâncias, misturas e componentes devem ser valorizadas ou eliminadas nos termos da Diretiva 2008/98/CE” (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho). Do mesmo modo, existem componentes dos REEE que devem ser tratados de um modo seletivo e específico, nomeadamente:

- Tubos de raios catódicos: Deve-se retirar o revestimento fluorescente;
- Gases que empobrecem a camada de ozono: Têm de ser devidamente extraídos e devidamente tratados. Estes gases encontram-se na espuma e nos circuitos de refrigeração;
- Lâmpadas de descarga de gás: Deve-se retirar o mercúrio constituinte.

Os centros de receção devem dispor das condições necessárias relativamente a locais de armazenamento (incluindo armazenamento temporário) e de tratamento, de acordo com a presente Diretiva, como por exemplo, áreas cobertas protegidas das condições meteorológicas para armazenar as substâncias e componentes mencionados anteriormente (Weee Forum, 2013).

As diretrizes relativas ao tratamento de alguns fluxos de REEE, definidas no *Anexo VII* da Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho e resumidas no documento normativo *WEEELABEX*, com o objetivo de auxiliar os operadores de tratamento a assegurarem a sua descontaminação, são a seguir descritas. De notar que os equipamentos considerados se tratam dos fluxos de REEE geridos pela *Ecomais*.

O processo de tratamento de REEE inicia-se com a remoção das substâncias, misturas e componentes referidos, contudo, existem componentes que após removidos são

identificados como um fluxo ou como uma parte de um fluxo nos passos seguintes do processo de tratamento, nomeadamente (Weee Forum, 2013):

- Módulos de ecrã plano com uma superfície superior a 100 cm², em qualquer aparelho eletrónico;
- Tubos de raios catódicos;
- Cabos elétricos externos.

Caso os materiais perigosos não sejam reciclados ou valorizados, devem ser incinerados ou eliminados em aterros autorizados para os receber.

De seguida serão apresentados requisitos específicos para o tratamento de equipamentos com CRT, equipamentos com ecrã plano, lâmpadas e equipamentos de transferência de calor (equipamentos domésticos de arrefecimento e refrigeração que contêm CFC, HCFC ou HFC e equipamentos de arrefecimento e refrigeração que contêm hidrocarbonetos (HC)), conforme o estipulado pela presente diretiva e resumido pelo documento normativo *WEEELABEX*.

Equipamentos com CRT

Durante o armazenamento, estes equipamentos deverão ser colocados em pilhas estáveis para evitar danos. A sua transferência, carga e descarga devem ser efetuadas de modo a que não ocorram quebras, não sendo permitido a carga/descarga dos contentores através da basculação descontrolada.

Antes do tratamento, os equipamentos não podem ser desmantelados, prensados ou compactados. O seu tratamento inicia-se com um processo de descontaminação, seguindo-se um processo de limpeza e por fim um processo de reciclagem e valorização. Durante as operações de descontaminação, os CRT e os vidros de CRT são separados do resto dos equipamentos com CRT, para evitar contaminações; e durante o processo de limpeza, os revestimentos fluorescentes são removidos do vidro do CRT, sendo considerados como resíduos perigosos.

Neste momento, dá-se início à fase de reciclagem e valorização do vidro de CRT, podendo incorporar-se no processo apenas vidro que esteja devidamente limpo. Sempre que possível, o vidro de cone e as misturas de vidro de CRT devem ser reciclados ou valorizados em produtos ou processos nos quais o conteúdo de chumbo presente

uma função técnica, de modo a evitar a sua dispersão noutros produtos e no meio ambiente.

Em último recurso, dá-se a eliminação destes componentes através da deposição controlada em aterro (Weee Forum, 2013).

Equipamentos com ecrã plano

As atividades de recolha, manuseamento e transporte deverão realizar-se de maneira a não comprometer a integridade dos ecrãs; e o armazenamento deve ser realizado sob coberturas impermeáveis. Tal como os equipamentos com CRT, estes não podem ser fragmentados nem compactados antes do tratamento.

Na fase de tratamento, os líquidos, substâncias, preparados e componentes são retirados, dando-se especial atenção ao mercúrio presente, aos revestimentos fluorescentes e ao óxido de índio-estanho, no caso dos ecrãs de cristais líquidos (Weee Forum, 2013).

Lâmpadas

A recolha, manuseamento e armazenamento de lâmpadas deve ser efetuado de modo a evitar danos no próprio material e na saúde/segurança dos funcionários.

O armazenamento das lâmpadas que contêm mercúrio deve ser feito em condições que impeçam qualquer libertação desta substância para o meio ambiente.

Durante o tratamento, e atendendo à constituição dos equipamentos, existem frações de materiais que devem ser separadas para poderem ser valorizadas, como o vidro, mercúrio, componentes metálicos e terminais e plásticos. O vidro pode ser valorizado em indústrias de vidro, indústrias de lâmpadas ou indústrias de cimento/construção civil, por exemplo; o mercúrio pode ser valorizado em indústrias de cloro/soda cáustica ou indústria de lâmpadas; os componentes metálicos e terminais em indústrias de metal; e, por último, os plásticos em indústrias de plásticos (Weee Forum, 2013).

Equipamentos de Transferência de Calor - Equipamentos domésticos de arrefecimento e refrigeração contendo CFC, HCFC ou HFC

Os cuidados a ter na recolha e transporte deste tipo de resíduos são idênticos aos descritos anteriormente.

Todas as fases de gestão requerem a adoção de medidas de precaução devido à inflamabilidade dos hidrocarbonetos; e a triagem dos equipamentos deve ser realizada numa instalação de tratamento, tendo em conta o seu conteúdo em CFC, HCFC, HFC, HC ou NH₃.

Todos os equipamentos de arrefecimento e refrigeração, e os seus componentes, que não estejam claramente identificados como contendo HC, seja relativamente ao gás refrigerante ou ao agente de expansão (espuma PUR - Poliuretano), deverão ser tratados como sendo do tipo CFC, HCFC e HFC.

De acordo com o *WEEELABEX*, o tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração obsoletos é um processo que se realiza normalmente em duas fases (Tabela 2).

Tabela 2 - Processo de tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração obsoletos, de acordo com o *WEEELABEX*.

<p>Fase 1</p>	<p>CFC, HCFC, HFC e gases não identificados, óleo e compressor</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todos os líquidos que contribuam para a contaminação das frações separadas durante, ou após o processo de tratamento, deverão ser removidos; 2. Todos os gases refrigerantes deverão ser separados do óleo; 3. A quantidade de CFC, HCFC e HFC separada dos circuitos de refrigeração deverá ser igual ou superior a 90% da quantidade prevista destas substâncias; 4. O óleo de compressor com um conteúdo total de halogéneos inferior a 0,2% (presença halogéneos devido ao refrigerante ser de CFC, HCFC ou HFC) poderá ser utilizado como material para reciclagem ou em incineradores normais, sempre e quando a normativa nacional o permita; 5. O óleo de compressor com um conteúdo em halogéneos superior a 0,2% do total deverá ser tratado unicamente por processos térmicos para a destruição segura dos CFC, HFC e HCFC; 6. Os compressores não podem ser reutilizados.
<p>Fase 2</p>	<p>CFC, HCFC, HFC e gases não identificados, PUR</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. O tratamento de equipamentos na fase 2 deverá ser realizado apenas sobre equipamentos tratados na fase 1 (designados “carcaças”); 2. A quantidade de CFC, HCFC e HFC separada da espuma de PUR deverá ser igual ou superior a 90% da quantidade prevista destas substâncias; 3. Após o tratamento, as frações de PUR não deverão conter mais de 0,2% de CFC, HCFC e HFC; 4. Deve ser garantido que os resíduos de PUR (contidos nos metais e nas frações separadas de plástico para seu uso como matéria prima secundária) são reduzidos ao mínimo para evitar perdas de CFC, HCFC e HFC. Deste modo, os resíduos de poliuretano contidos nas frações de metais ferrosos e não ferrosos, têm que ser mantidos abaixo de 0,3%; os resíduos de PUR contidos na fração de plástico devem manter-se abaixo de 0,5%.

A reciclagem e valorização destes equipamentos, seus componentes, materiais e substâncias, deve cumprir os requisitos da Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho, que revoga a Diretiva 2002/96/CE, de 27 de Janeiro de 2003, esperando-se que atinjam, pelo menos, uma taxa de reciclagem de 75% e uma taxa de valorização de 80% em peso, por equipamento (Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho).

Qualquer instalação que proceda ao tratamento destes equipamentos deverá possuir uma certificação a nível da qualidade, ISO 9001, e a nível ambiental, ISO 14001, ou um sistema auditado de gestão de qualidade equivalente, que inclua também os processos de tratamento e de controlo interno (Weee Forum, 2013).

De acordo com o *WEEELABEX*, os equipamentos de arrefecimento e refrigeração dividem-se em diferentes categorias, de acordo com o seu tamanho:

- Categoria 1 – Frigoríficos domésticos (até 180 l – em geral, com uma única porta);
- Categoria 2 – Frigoríficos e congeladores combinados (até 350 l - em geral, com duas portas);
- Categoria 3 – Arcas congeladoras (vertical ou horizontal, com menos de 500 l).

Equipamentos de Transferência de Calor - Equipamentos de arrefecimento e refrigeração que contêm hidrocarbonetos (HC)

A grande diferença entre o HC e o CFC, HCFC e HFC é que o HC não apresenta potencial de destruição da camada de ozono e apresenta apenas um reduzido potencial de aquecimento global. Por consequência, os novos equipamentos de arrefecimento e refrigeração, designados equipamentos HC, são cada vez mais habituais nas instalações de recolha de REEE e nos processos de tratamento.

Os cuidados a ter na recolha, armazenamento, transporte e manuseamento deste tipo de resíduos são idênticos aos descritos anteriormente.

Ao nível do tratamento, os equipamentos que contêm HC podem ser tratados de diversas formas, surgindo a preferência de encontrar a tecnologia mais adequada de modo a minimizar o risco de explosão, mas também de conseguir os melhores resultados de separação para o mercado secundário de matérias-primas (Weee Forum, 2013).

De acordo com *WEELABEX*, o tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração que contêm HC é um processo que se realiza normalmente em duas fases (Tabela 3).

Tabela 3 - Processo de tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração que contêm HC, de acordo com o *WEELABEX*.

Fase 1	Remoção de todos os líquidos/fluídos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todos os líquidos que contribuam para a contaminação das frações separadas durante, ou após o processo de tratamento, deverão ser removidos; 2. Todos os gases HC refrigerantes deverão ser separados do óleo; 3. As emissões de HC deverão cumprir a legislação nacional; 4. Todas as instalações deverão estar equipadas e operar com medidas de proteção contra possíveis incêndios e explosões.
Fase 2	Tratamento adicional de carcaças de HC	<ol style="list-style-type: none"> 1. É fundamental para o tratamento de carcaças de HC que se estabeleçam as medidas necessárias de segurança e bem-estar dos funcionários; 2. O tratamento de equipamentos na fase 2 será realizado apenas com os equipamentos tratados na fase 1 (designados “carcaças”) aos quais se extraiu os gases refrigerantes e o óleo; 3. As emissões de HC deverão respeitar a legislação nacional; 4. No caso em que não se capturem os HC da espuma de isolamento, estes deverão ser libertados de forma controlada, respeitando os normativos de saúde e segurança.

As exigências a considerar pelos centros de tratamento destes equipamentos, relativamente à garantia de qualidade, são idênticas às descritas no caso dos resíduos anteriores.

No subcapítulo seguinte, serão abordadas algumas das vias alternativas para a valorização dos REEE e seus constituintes.

2.4 Estudo de vias alternativas para a valorização dos REEE

Os REEE são constituídos essencialmente por materiais poliméricos e metálicos, valiosos e reutilizáveis. Estes materiais incluem metais pesados e outros componentes, como retardadores de chama bromados, que os tornam perigosos e, ao serem descartados no solo, podem causar riscos significativos para o meio ambiente e para a saúde humana.

Por consequência, a gestão dos REEE de forma correta é essencial, tanto para evitar esses riscos, como para maximizar o aproveitamento dos materiais valorizáveis (Kaya, 2016).

A sua constituição complexa e elevado potencial de valorização, associados ao facto de se tratar do fluxo com maior crescimento na atualidade, torna o estudo de vias alternativas para a valorização de REEE numa matéria emergente.

Adotar novos modelos de valorização de REEE, que permitam uma gestão mais sustentada, confere uma circularidade à economia, que se reflete na minimização do consumo dos recursos naturais, no desenvolvimento de oportunidades de negócio e de otimização de custos, e ainda na criação de emprego.

Algumas das técnicas mais promissoras, aplicadas na reciclagem e valorização dos metais e plásticos constituintes dos REEE são identificadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Técnicas de valorização dos materiais constituintes dos REEE.

Materiais	Técnicas de valorização
Metais	Pirometalurgia
	Hidrometalurgia
	Biometalurgia
	Eletrometalurgia
Plásticos	Pirólise
	EFS
	Gaseificação

2.4.1 Técnicas de valorização dos metais

Atualmente, a reciclagem de metais encontra-se associada às áreas do processamento físico e da metalurgia (Kaya, 2016), sendo objeto de esforços no sentido de procurar alternativas que a tornem mais eficiente, não só do ponto de vista ambiental, como também energético. Esta otimização resulta, na maior parte das vezes, na utilização de processos hidrometalúrgicos centrados no tratamento químico (Kaya, 2016). No entanto, o processamento industrial pode ocorrer mediante outras vias,

nomeadamente pirometalúrgica, biometalúrgica e eletrometalúrgica, no sentido de se conseguir obter uma maior recuperação de todos os metais.

De um modo geral, o processo de reciclagem dos metais que constituem os REEE engloba as seguintes etapas:

- Desmontagem e triagem;
- Processamento físico;
- Processamento metalúrgico.

Na desmontagem e triagem, os REEE são desmontados e os seus componentes são triados, manual ou mecanicamente. De seguida, verifica-se o seu estado e os que estiverem em boas condições operacionais são reutilizados, podendo voltar a ser usados noutros equipamentos. Com este procedimento, prolonga-se o tempo de vida útil dos componentes, o que constitui uma opção prioritária, já que permite a sua introdução em mercados secundários.

Os componentes não reutilizados são reencaminhados para o processamento físico, que tem como objetivo a sua fragmentação, com ou sem materiais constituintes, a redução de tamanho e a libertação dos diferentes materiais.

Na fase de separação dos materiais são utilizadas operações baseadas nas suas propriedades magnéticas, nomeadamente a separação magnética, que separa os metais ferrosos dos restantes materiais; e nas suas propriedades eletromagnéticas, como a separação por correntes de *Foucault*, que permite remover os elementos condutores não-ferrosos de uma mistura contendo elementos condutores e não-condutores, tornando possível a separação dos metais, como o cobre e o alumínio.

A otimização desta operação é importante, pois refletir-se-á na redução dos solventes/reagentes a utilizar em todos os processos seguintes, bem como na redução do número de operações unitárias, o que permite efetuar uma reciclagem com menores custos ambientais e económicos.

Após processamento físico, dá-se a última etapa da reciclagem dos metais: o processamento metalúrgico, que pode envolver várias técnicas (Awasthi, et al., 2017).

Pirometalurgia

A pirometalurgia, aplicada correntemente na metalurgia do cobre e do chumbo, baseia-se nas reações dos componentes metálicos a altas temperaturas. No processo, as impurezas são escorificadas e a massa metálica é fundida e posteriormente purificada, permitindo a recuperação de metais valiosos.

A obtenção de metais puros é conseguida por operações de refinação e afinção. Ao longo do processo, produzem-se fases secundárias ricas em metais menos abundantes (por exemplo, metais preciosos), que são encaminhadas para refinadores específicos.

A pirometalurgia encontra-se normalmente associada a duas grandes desvantagens, nomeadamente, ao elevado consumo energético, devido à temperatura a que o processo ocorre; e à elevada emissão de gases poluentes, como por exemplo dioxinas e furanos (Kaya, 2016).

No que se refere às emissões, torna-se necessária a aplicação de medidas de controlo ambiental adequadas à minimização deste problema, tais como a aplicação de filtros nos fornos do processo.

O consumo de combustível primário pode ser reduzido através da utilização da fração plástica dos REEE como fonte de energia para os fornos. De acordo com *Gerbase et al., (2012)*, o calor libertado com a queima de resíduos plásticos livres de contaminantes é similar ao calor libertado com a queima de óleo combustível (1 kg de plástico liberta energia equivalente à queima de 1 kg de óleo combustível).

Assim, no âmbito do processo pirometalúrgico para recuperação de metais, podem ocorrer processos de incineração, pirólise, entre outros, para valorização energética de resíduos com elevado poder calorífico, nomeadamente os plásticos.

A incineração é a forma mais comum de eliminar os materiais poliméricos e outros materiais orgânicos presentes nos concentrados de metais. Este processo consiste na combustão controlada dos resíduos, que, dependendo das suas características, promove uma redução até 90% do seu volume e até 70% do seu peso.

Além disso, gera energia sob a forma de calor, que pode ser utilizada para produzir energia elétrica. Como produtos finais contam-se ainda águas residuais, gases (dióxido de carbono, água, óxidos de azoto, dioxinas, furanos, entre outros), cinzas volantes e escórias.

Para recuperar/separar os metais após a incineração pode ser aplicado um processo de eletrólise, o que implica a solubilização da fração metálica obtida. Este processo é o mais utilizado na produção de metais de elevada pureza diretamente de soluções aquosas.

Durante a eletrólise dá-se a separação dos elementos químicos de um composto diluído ou fundido por meio de um campo elétrico (corrente contínua). Resumindo, primeiramente procede-se à dissociação do composto em iões e, posteriormente, com a passagem de uma corrente contínua através desses iões dão-se reações de oxidação-redução não-espontâneas que promovem a separação dos iões nos eléctrodos e a formação de novos elementos químicos e/ou compostos, isto é, os catiões (por exemplo, iões metálicos) depositam-se no cátodo e os aniões (por exemplo, iões halogenados) depositam-se no ânodo.

As reações ocorridas durante o processo permitem a recuperação de metais como cobre, zinco, níquel, ouro, entre outros.

Apesar da vantagem de utilização da incineração ao nível da valorização energética dos plásticos contidos na sucata eletrónica (ainda não totalmente otimizada), o método acarreta alguns problemas, nomeadamente:

- Os polímeros e outros materiais isolantes são uma fonte de poluição atmosférica devido à libertação de dioxinas e furanos;
- Os componentes cerâmicos e vidros existentes nos resíduos de material eletrónico contribuem para o aumento da quantidade de escória no forno, aumentando assim a perda de metais nobres e de metais de base;
- Os metais podem não ser recuperados devido à volatilização dos seus cloretos;
- Elevados custos operacionais e de investimento;
- A necessidade de aterros para deposição de resíduos perigosos finais;
- O processo de eletrólise, usado para recuperar as frações metálicas valorizáveis após a incineração, gera águas residuais, associadas à solubilização dos metais.

Hidrometalurgia

As aplicações tradicionais da hidrometalurgia incluem a produção de ouro, cobre, óxido de alumínio, entre outros. No entanto, também pode ser aplicada aos metais contidos

nos REEE e respectivos componentes, como por exemplo PCI (Placas de Circuito Impresso), bem como aos metais presentes nas pilhas e baterias.

O processo consiste no tratamento químico, em fase aquosa, dos metais que são extraídos na fase do processamento físico. Esta técnica exige que o processamento físico prévio tenha maior exigência, de modo a que os metais sejam totalmente libertados e fiquem mais facilmente acessíveis ao reagente lixiviante.

Na sequência das reações de dissolução dos metais em soluções lixiviantes, ocorre a separação/purificação em fase aquosa, mediante etapas como a filtração, a destilação e a precipitação dos metais dissolvidos. No final, os metais puros são geralmente obtidos por eletrólise.

Uma descrição mais detalhada do processo de hidrometalurgia inclui:

1. Preparação dos resíduos metálicos – A operação consiste no ajuste das propriedades físico-químicas (como a granulometria, composição, natureza química e porosidade) para a etapa seguinte;
2. Lixiviação – Nesta fase, procede-se à dissolução seletiva dos minerais que contêm o metal ou metais de interesse, através do contacto do sólido (minério ou concentrado) com uma fase aquosa ácida ou alcalina (agente lixiviante), tendo como objetivo o aumento do seu teor ou pureza;
3. Separação sólido/líquido – Consiste na separação da fase aquosa ou licor que contem o metal ou metais de interesse. A eficiência desta etapa é determinante na minimização das perdas de metal no material rejeitado e do consumo de água no processo. As características dos sólidos rejeitados são determinantes nos custos de deposição dos rejeitados e no potencial risco de impactes ambientais;
4. Tratamento do licor obtido na lixiviação – Purificação e concentração da solução que contem o metal dissolvido até um nível adequado para a etapa seguinte. Este tratamento envolve processos como precipitação, adsorção e extração com solventes;
5. Recuperação do metal – Ocorre através de processos de precipitação/cristalização (na forma de sais), processos de eletrólise (na forma metálica) ou ainda, por extração com solventes. No caso da extração devem ser usados solventes seletivos e o metal pode ser recuperado por eletrólise ou precipitação.

Esta técnica apresenta grandes vantagens, como baixo custo de operação, baixo consumo de energia e etapas de processamento relativamente simples. Porém, gera efluentes que têm de ser posteriormente tratados, apresenta baixa seletividade de alguns reagentes e o mecanismo de lixiviação depende de fatores, tais como, temperatura, concentração, pH e potencial de oxidação-redução, requerendo otimização (Awasthi, et al., 2017).

Apesar do processo hidrometalúrgico necessitar de um maior número de operações unitárias, comparativamente ao processo pirometalúrgico, apresenta-se como mais promissor no tratamento e recuperação de metais, devido aos seguintes fatores (Awasthi, et al., 2017):

- Realiza-se a baixas temperaturas (normalmente inferiores a 100°C), reduzindo os custos energéticos e as emissões gasosas para o ambiente;
- Apresenta maior versatilidade e conseqüentemente maior facilidade na adaptação a variações de composição da matéria-prima;
- Permite o tratamento em simultâneo com outros resíduos metálicos;
- Garante uma maior valorização dos metais existentes, com possibilidade de produção de metais de elevado valor comercial;
- Proporciona uma maior versatilidade aos produtos finais, isto é, consoante as indicações e oportunidades do mercado, é possível, após a separação dos metais, escolher a melhor forma de os recuperar (como metais, sais, entre outros), sem que resultem grandes alterações nos processos.

Biometalurgia

A utilização de agentes microbianos na remoção de metais dos REEE designa-se biometalurgia.

Apesar da biometalurgia se encontrar bastante desenvolvida no que diz respeito ao processamento de minérios, a sua aplicação na reciclagem de resíduos ainda se encontra pouco estudada e documentada na literatura, havendo ainda muito por explorar (Kaya, 2016). Ainda assim, assume-se que poderá vir a ser considerada uma alternativa económica e ecologicamente viável aos métodos de reciclagem tradicionais.

O processamento biometalúrgico utiliza as interações entre microrganismos (geralmente bactérias) e minerais para recuperar metais valiosos, podendo ocorrer por biolixiviação ou biossorção. A sua principal aplicação tem sido a biolixiviação de sulfuretos metálicos, assegurando a recuperação, por exemplo, de cobre, ouro e cobalto.

O processo apresenta como principal vantagem o facto de ser simples, barato, energeticamente eficiente e fácil de operar. Contudo, é dependente do período de tempo que os microrganismos levam a extrair os metais, que é geralmente longo (Kaya, 2016).

A etapa inicial essencial a qualquer processo biometalúrgico é o pré-tratamento, sendo a desmontagem manual o método mais apropriado para separar os diferentes componentes, nomeadamente, baterias, PCI, entre outros; e materiais, nomeadamente, os metais (por exemplo, ferro, alumínio, cobre) e os plásticos (Awasthi, et al., 2017).

A biolixiviação está associada à ação dos microrganismos sobre o material sólido, resultando a formação de substâncias (por exemplo ácido) capazes de solubilizar os metais de interesse.

De acordo com *Zhang et al., (2016)*, uma análise à escala laboratorial permitiu verificar que a biolixiviação é tecnicamente viável através da utilização de reações assistidas por bactérias para extrair metais básicos como cobre, níquel, zinco, crómio e metais preciosos dos REEE, como ouro e prata. Assim, existe um grupo acidófilo de bactérias que desempenha um papel importante na biolixiviação de metais pesados, tais como, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* e *Sulfolobus sp.*

A biossorção consiste na interação físico-química passiva entre os grupos superficiais carregados existentes nos microrganismos (por exemplo algas, bactérias, fungos) e as partículas presentes em solução líquida.

A preparação de biossorventes é efetuada a partir de diferentes microrganismos (bactérias, fungos, algas, actinomicetos e leveduras) que, neste caso, tanto podem estar vivos como mortos. Estes organismos devem apresentar as seguintes características: ser de baixo custo e reutilizáveis; apresentar um tamanho, forma e força mecânica apropriados para incorporação em biorreatores sob condições de fluxo contínuo;

permitir uma captura do metal eficiente e rápida; assegurar uma separação do bioissorvente da solução rápida, eficiente e barata; e possuir elevada seletividade.

O processo é considerado muito complexo devido à adsorção física ou química que ocorre nas paredes da célula. Os mecanismos envolvidos no processo de bioissorção diferem quantitativa e qualitativamente de acordo com as espécies utilizadas, a origem da biomassa e o seu processamento. Estes mecanismos envolvem:

- Complexação, que consiste na formação de um complexo a partir da associação de duas espécies;
- Coordenação, associada à ligação de um átomo central de um complexo com outros átomos, por ligação covalente;
- Quelação, que consiste na ligação covalente dos íons metálicos a estruturas de compostos orgânicos;
- Troca iónica, associada à formação de espécies moleculares através da permuta de íons;
- Adsorção, em que ocorre a adesão de moléculas do fluído (o adsorvido) a uma superfície sólida (o adsorvente);
- Precipitação inorgânica, que resulta de uma alteração no meio aquoso de modo a promover a precipitação do material a extrair.

A bioissorção é considerada um processo alternativo ou suplementar na recuperação de metais, devido ao preço reduzido do bioissorvente e à possível seletividade e recuperação da espécie metálica de interesse.

Eletrometalurgia

A eletrometalurgia tem sido bastante utilizada na recuperação e refinação de metais dos REEE. O princípio básico desta técnica consiste na obtenção de metais através de eletrólise, sendo usada uma fonte externa de energia para reduzir os metais em solução. O eletrólito utilizado pode ser uma solução aquosa ou uma mistura de sais fundidos. O princípio de funcionamento envolve reações de oxidação-redução não espontâneas, em que os metais de interesse presentes nos materiais são dissolvidos sob forma de íons metálicos, e posteriormente eletrodepositados no cátodo, na forma pura (Zhang, et al., 2016).

Existem dois métodos que podem ser aplicados aos metais: eletro-refinação e a eletro-extração.

O processo de eletro-refinação é utilizado, normalmente, com metais fundidos, previamente obtidos por métodos pirometalúrgicos. Neste caso, o ânodo é constituído pelo metal fundido, que ainda contém certas impurezas. Durante a eletrólise, o metal que constitui o ânodo é eletrodepositado no cátodo, sem as impurezas.

Os metais remanescentes no ânodo podem ser dissolvidos no eletrólito ou formar lamas, que se acumulam no fundo da célula eletrolítica. Posteriormente, os metais são recolhidos e enviados para unidades de recuperação de metais.

A eletro-extração consiste na eletrólise (com ânodo insolúvel, inerte) de uma solução aquosa de um sal metálico (sulfato, cloreto, entre outros), obtida por extração com solvente ou lixiviação do minério ou concentrado. Neste caso, a solução do íon metálico é submetida a uma corrente elétrica, ocorrendo eletrodeposição do metal no cátodo; o lixiviado obtido (que contém metais dissolvidos) é geralmente integrado em tratamentos hidrometalúrgicos. Neste processo, podem ser obtidos metais como cobre, zinco, alumínio, metais preciosos, entre outros.

Verifica-se que a eletrometalurgia é frequentemente usada em associação à pirometalurgia e à hidrometalurgia. Esta ligação permite uma extração e recuperação mais eficientes dos metais de interesse.

As principais vantagens do processo eletrometalúrgico estão relacionadas com a possibilidade de obtenção de metais com elevado grau de pureza e a boa seletividade dos processos. Contudo, a necessidade de um pré-processamento do resíduo, geralmente lento, a geração de efluentes líquidos, o elevado consumo energético e a formação de lamas são aspetos negativos a apontar (Zhang, et al., 2016).

2.4.2 Técnicas de valorização dos plásticos

Os plásticos, o segundo maior constituinte dos REEE, são encontrados sob a forma de resinas termoplásticas, principalmente ABS (Acrilonitrila butadieno estireno), HIPS (Poliestireno de alto impacto) e PVC (Policloreto de Vinilo). Destes, o PVC é o que existe em maior volume.

Um dos grandes problemas associados aos plásticos é o facto destes conterem metais pesados, retardadores de chama bromados (BFR) e outras substâncias tóxicas e perigosas, que podem desencadear poluições ambientais graves, o que dificulta a definição de tecnologias alternativas (Wang, et al., 2014).

Perante esta situação, têm sido desenvolvidos diversos estudos no sentido de encontrar as melhores alternativas à reciclagem e valorização dos plásticos de REEE, de modo a diminuir os efeitos negativos para a saúde humana e para o meio ambiente.

Na reciclagem e valorização deste tipo de resíduos têm sido bastante utilizados métodos como a pirólise, a extração com fluído supercrítico (EFS) e a gaseificação. A utilização da incineração não é recomendada, devido às substâncias poluentes presentes nos plásticos dos REEE, nomeadamente nos do tipo de PVC, cuja queima dá origem à formação de subprodutos tóxicos para atmosfera, como dioxinas e furanos (Gerbase, et al., 2012).

Pirólise

A aplicação da pirólise para processar os plásticos dos REEE resulta na degradação térmica dos resíduos na ausência de oxigénio e permite a produção de um resíduo sólido carbonáceo frágil, a partir do qual, os metais e a fibra de vidro podem ser facilmente recuperados. Deste modo, tem havido um esforço a nível da investigação no sentido de tornar a pirólise uma alternativa à reciclagem e valorização de REEE (Kaya, 2016).

Comparada com a incineração, a pirólise é um processo mais vantajoso, na medida em que permite a reciclagem de plásticos e outras frações não metálicas que não podem ser eficientemente recicladas por outros meios; é um processo que admite um elevado grau de contaminantes presentes nos resíduos plásticos; possui uma grande flexibilidade em relação às condições de operação e; é ambientalmente mais correta, na medida em que não gera a libertação de substâncias nocivas para a atmosfera, levando à diminuição da emissão de poluentes (Santella, et al., 2016).

Para além destas vantagens, existe ainda o facto do espectro de aplicações dos produtos obtidos na pirólise ser bastante mais alargado que o de qualquer outra solução, tornando-se possível uma valorização bastante mais diversificada dos resíduos.

De acordo com *Santella et al., (2016)*, a reciclagem de resíduos plásticos por pirólise permite a recuperação de produtos de valor acrescentado, através da produção de matéria-prima petroquímica com valor energético ou frações de combustível sintético. Deste processo também resultam gases, que podem ser utilizados para fornecer energia térmica ao reator, para a produção de combustíveis, ou ainda para produção de energia. A composição e quantidade relativa dos produtos resultantes varia em função do tipo de polímero (ou mistura polimérica), tipo de reator e condições de reação.

Segundo o autor, o processo é atrativo devido à sua simplicidade, pelo que, nos últimos anos, a pirólise de materiais poliméricos tem crescido como estratégia de recuperação de recursos. Identifica-se ainda um elevado potencial de crescimento na aplicação desta técnica nos próximos anos, desde que possam ser desenvolvidos processos economicamente viáveis.

A pirólise ocorre no interior de um reator, podendo funcionar com ou sem presença de um catalisador (que tem como objetivo aumentar a eficiência do processo), designando-se por pirólise catalítica ou térmica, respetivamente. Os equipamentos utilizados impedem a libertação de substâncias nocivas para a atmosfera e diminuem a geração de poluentes, como o metano e dióxido de carbono (principais agentes do efeito de estufa).

As etapas principais do processo são:

1. Secagem – Nesta fase, é fornecido calor externo ao reator; as elevadas temperaturas proporcionam a alteração das propriedades moleculares da matéria depositada;
2. Pirólise – Onde ocorrem reações químicas como a fusão, volatilização e oxidação;
3. Arrefecimento – Ocorre o abaixamento de temperatura no reator, sendo recolhidas cinzas, resíduos e outros subprodutos, como o óleo de pirólise.

Sob o ponto de vista energético, a pirólise é uma das técnicas mais eficientes e ecologicamente corretas, pois a decomposição química causada pelas altas temperaturas na ausência de oxigénio produz mais energia do que consome.

Como problemas associados à pirólise de resíduos plásticos, enumeram-se os seguintes:

- A pirólise de plásticos é mais lenta que a pirólise de outros hidrocarbonetos, devido à deficiente transferência de calor dos plásticos;

- O resíduo carbonáceo produzido pelos plásticos tende a aderir às paredes do reator;
- Alguns plásticos, quando aquecidos, produzem um material bastante viscoso, que é difícil de extrair.

Extração com fluido supercrítico (EFS)

A utilização de EFS como meio para reações químicas orgânicas tornou-se uma área de investigação promissora nos últimos anos. Devido à baixa constante dielétrica, baixa viscosidade, elevado coeficiente de transporte de massa e alta difusividade, o fluido supercrítico foi introduzido como uma tecnologia ecológica para a valorização de plásticos dos REEE (Wang, et al., 2014).

Na presença do fluido supercrítico, a maioria dos retardadores de chama bromados (BFR) dos plásticos são facilmente degradados, pelo que têm sido desenvolvidos vários estudos no âmbito da valorização dos plásticos de REEE pelo método de EFS.

Neste processo, os resíduos plásticos são colocados na presença de um solvente (acetona, metanol, isopropanol ou água). O tratamento decorre em reator selado, a elevadas temperaturas e na ausência de oxigénio. No final, o reator é arrefecido rapidamente até à temperatura ambiente, com auxílio de um ventilador elétrico. Posteriormente, remove-se a fase gasosa; abre-se o reator e separam-se as fases que constituem a mistura sólida-líquida. O objetivo é obter um óleo isento de bromo, acompanhado de gás e resíduos sólidos. O óleo é identificado como uma mistura de compostos aromáticos que contêm oxigénio, como derivados de benzeno e fenóis, que podem ser separados para recuperação de fenóis e outros produtos químicos ou utilizados como combustível.

O tipo de solvente e a temperatura de operação são fatores que influenciam bastante a degradação do plástico. De acordo com *Wang et al., (2011)*, a eficiência de degradação do plástico, utilizando acetona como fluido supercrítico (a 300°C), é significativamente maior do que a obtida quando se usa metanol, isopropanol ou água. No caso dos solventes com menor eficiência de degradação, a temperatura torna-se um parâmetro importante, pois influencia positivamente a taxa de decomposição do plástico (a 400°C, todos os solventes apresentaram maior eficiência de degradação).

Segundo os resultados de *Wang et al., (2011)*, o solvente também afeta os produtos obtidos: quando o processo decorreu a 400°C, as quantidades de resíduo sólido, gás e óleo gerados na presença de água foram de 24%, 30,9% e 38%, respetivamente; na presença de metanol foram de 37,3%, 15,9% e 40%; e na presença de isopropanol foram de 28,7%, 43% e 60%.

Assim, se a finalidade é produzir óleo, o isopropanol revela-se um solvente apropriado, pois é o que está associado à produção com maior rendimento. Para além disto, este solvente apresenta uma pressão muito inferior à do metanol e da água, que permite uma maior capacidade de solvatação para atacar o polímero de forma mais eficiente.

Gaseificação

A gaseificação consiste na oxidação parcial de hidrocarbonetos a temperaturas que podem atingir os 1600°C e pressão até 150 bar. Tem como objetivo a produção de um gás de síntese (CO, H₂), rico em hidrogénio, com elevada quantidade de componentes reativos e elevada pureza (*Wang, et al., 2014*). Este gás pode ser uma matéria-prima valiosa na produção de metanol, ou pode ser utilizado para gerar calor ou eletricidade, devido ao seu carácter combustível.

O processo apresenta ainda as vantagens de permitir a decomposição dos retardadores de chama bromados existentes nos plásticos dos REEE, por ação das elevadas temperaturas de operação; e de controlar a formação de dioxinas e furanos bromados no seguimento das reações de oxidação. Segundo *Wang et al., (2014)*, a taxa de decomposição das dioxinas e furanos é de, pelo menos, 99,99%; e quase todo o bromo inicialmente existente nos resíduos é expelido do forno no estado gasoso.

Tal como a extração com fluído supercrítico, a gaseificação está associada a um impacte ambiental potencialmente menor do que o do processo de pirólise, devido à elevada eficiência de debromação (remoção do bromo de um composto). Porém, estas técnicas apresentam maior consumo de energia que a pirólise, levando a entender que serão sempre necessárias avaliações ambientais de qualquer processo de reciclagem e/ou valorização de plásticos de REEE, de modo a avaliar os benefícios e problemas associados a cada um e a otimizar continuamente cada método.

Reutilização de plásticos em processos de moldagem por compressão

Os plásticos retirados dos REEE podem, em alternativa, seguir a via da reutilização. *Mills et al., (2016)* investigaram a possibilidade de reutilizar diretamente os plásticos dos REEE em processos de moldagem por compressão.

Este processo consiste em aquecer uma resina termoendurecida sob pressão elevada, dentro de uma cavidade de molde fechada, até que a resina cure, mediante uma reação química que promove a ligação de moléculas pequenas e formação de cadeias poliméricas de elevado peso molecular. Sob pressão, a resina fica liquefeita e flui, assumindo a forma da cavidade do molde; depois de curada, endurece e assume a forma desejada. Uma vez suficientemente arrefecido e resistente, o produto é removido do molde, finalizando o processo, embora a reação de cura ainda continue até que se atinja a temperatura ambiente. A otimização do processo deve ter em conta o tipo de resíduos plásticos (como são recebidos e se estão misturados ou não); a necessidade de pré-aquecimento; e os parâmetros de operação, tais como, a pressão, a temperatura e o tempo.

Embora a moldagem por compressão seja principalmente usada em resinas termoendurecíveis, existem termoplásticos constituintes dos plásticos dos REEE que são facilmente moldados por este método, como por exemplo o ABS (Acrilonitrila butadieno estireno). De acordo com *Mills et al., (2016)*, *Arnold, Alston e Holder* promoveram a moldagem por compressão de grânulos compostos por ABS a 210°C durante quatro minutos. Esta compressão permitiu a moldagem dos grânulos em barras planas com boa resistência à flexão (acima dos 80%).

A moldagem por compressão torna-se adequada para muitos produtos industriais, comerciais e de consumo, desde botões de pequenos aparelhos até grandes painéis de carroçaria de automóveis, permitindo a reutilização de um grande número de plásticos. Deste processo surgem geralmente produtos como embalagens, produtos de iluminação e eletricidade, transporte e eletrodomésticos (*Mills, et al., 2016*).

A simplicidade da operação e do equipamento de moldagem tornam este processo útil para a reutilização dos plásticos de REEE, principalmente em países menos desenvolvidos. Além disso, o equipamento é geralmente mais barato que outros equipamentos de processamento de plásticos.

Os maiores obstáculos à reutilização de resíduos plásticos continuam a ser a heterogeneidade de polímeros e de concentrações de retardadores de chama.

De modo a permitir uma maior reutilização dos plásticos, é necessário dispor de métodos que permitam identificar rapidamente a classe (ou tipo) de polímeros presentes nos resíduos. Além disso, é essencial desenvolver técnicas de menor custo e/ou portáteis, que possam prever o desempenho da moldagem por compressão (Mills, et al., 2016).

2.4.3 Caso particular: Placas de Circuito Impresso

As Placas de Circuito Impresso (PCI) encontram-se praticamente em todos os equipamentos eletrónicos e na maioria dos equipamentos eléctricos. Quando se encontram em fim de vida, constituem um dos componentes dos REEE com maior implicação a nível ambiental (devido à toxicidade de alguns dos elementos que as compõem) e económico (por terem na sua constituição grande parte dos metais raros e valiosos que existem nos REEE). A sua gestão requer, assim, uma atenção especial no âmbito do fluxo dos REEE, processando-se geralmente de acordo com o esquema apresentado na Figura 3.

Os processos atualmente usados na reciclagem das PCI incluem métodos físicos, químicos e térmicos, associados às áreas da metalurgia (pirometalurgia, hidrometalurgia e eletrometalurgia) e do processamento físico (Kaya, 2016). Com vista à máxima recuperação de metais e plásticos, estas técnicas têm vindo a ser alvo de adaptação para melhoria do desempenho.

Na desmontagem e triagem retiram-se as PCI dos REEE, normalmente de forma manual. De seguida, verifica-se o seu estado, isto é, se estas estiverem em boas condições operacionais são reutilizadas, podendo voltar a ser usadas noutro equipamento. Caso contrário, podem ser reparadas, se aplicável, de modo a ficarem em boas condições operacionais.

As PCI que se encontrem num estado irrecuperável podem ser integradas diretamente no processamento físico ou seguir uma linha de desmontagem, onde são retirados os seus componentes (por exemplo, pilhas, *chips* e resistências).

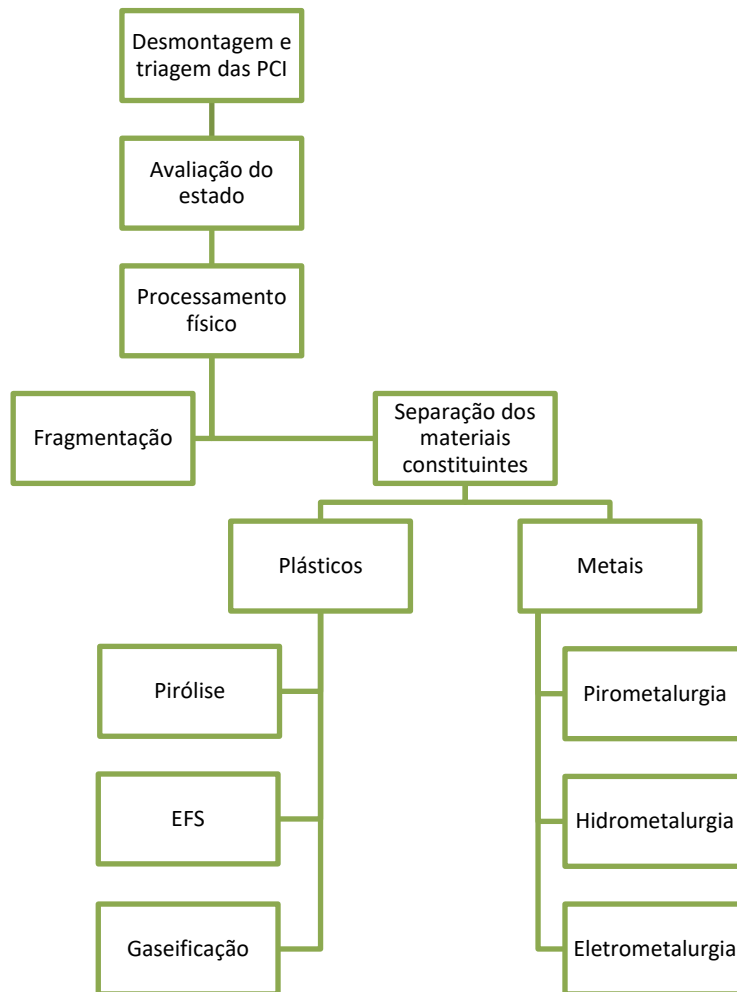


Figura 3 - Diagrama genérico da reciclagem de Placas de Circuito Impresso.

A desmontagem dos componentes inseridos nas PCI possibilita a separação dos materiais presentes nos componentes, permitindo a sua integração em processos de tratamento apropriados, tendo em vista a sua valorização. Os componentes metálicos serão valorizados, por exemplo, em refinarias de metais; e os restantes componentes, constituídos por fibra de vidro e plástico, por exemplo, serão valorizados por outras vias, uma vez que os processos metalúrgicos não se encontram adaptados à sua recuperação (Kaya, 2016).

As PCI que são reencaminhadas diretamente para o processamento físico são sujeitas à fragmentação e posterior separação dos materiais constituintes.

A fragmentação das PCI tem como objetivo a redução de tamanho e a libertação de partículas de diferentes materiais. Esta operação utiliza vários mecanismos, tais como pressão, impacto, abrasão ou corte, que permitem reduzir o tamanho da sucata de PCI pelo movimento de “martelos” ou “lâminas”, dentro de um compartimento fechado.

Segue-se a separação dos materiais constituintes, destacando-se os plásticos e os metais. Na sua separação, utilizam-se operações baseadas em propriedades magnéticas, nomeadamente a separação dos metais ferrosos (ferromagnéticos) dos restantes materiais; e posteriormente a separação dos metais não ferrosos (cobre, alumínio), com base em separadores por correntes de *Foucault*. Nestas operações, os materiais poliméricos passam sem alterações significativas (Kaya, 2016).

A separação eletrostática é uma alternativa. Neste caso, os materiais plásticos são objeto de atuação (carga por indução ou por contacto), tendo os metais um papel passivo. Outros processos de separação físicos alternativos são os baseados nas diferenças de densidade entre plásticos e metais, nomeadamente a elutriação e a separação gravítica com meios densos.

Depois do processamento físico, procede-se à valorização dos metais e dos plásticos.

A valorização dos metais pode ocorrer por processos metalúrgicos, nomeadamente pirometalúrgico, hidrometalúrgico ou eletrometalúrgico. Idealmente, é desejável que a carga do processo metalúrgico tenha o maior teor metálico possível, isto é, a mínima existência de materiais plásticos, embora não haja impedimento para processar os resíduos de PCI sem separação física prévia.

Os plásticos seguirão outras vias de valorização, tais como pirólise, EFS e gaseificação; e a fibra de vidro poderá ser reciclada, voltando a ser utilizada parcialmente como material de preenchimento, substituindo o material virgem nas PCI.

No âmbito das etapas de valorização material, verifica-se que têm existido numerosos esforços no sentido de garantir que as tecnologias de reciclagem de metais e plásticos dos REEE alcancem uma melhor relação custo-eficácia, promoção ambiental e sustentabilidade.

De acordo com *Zhang et al., (2016)*, existem dois grandes fatores que devem ser garantidos na inovação das tecnologias de reciclagem, nomeadamente: as tecnologias futuras devem estar preparadas para enfrentar a comercialização e atender às perspectivas das pequenas e médias empresas, em termos de investimento e/ou equipamento; e devem possuir elevada eficiência de separação, taxa de recuperação e maior sustentabilidade.

4. CONCLUSÕES

O fluxo específico dos REEE é o que apresenta maior crescimento ao longo dos últimos anos. A sua elevada produção tende a surgir da diminuição do tempo médio de vida útil dos equipamentos elétricos e eletrónicos e da inovação tecnológica contínua, entre outros fatores.

No trabalho desenvolvido, pretendeu-se analisar a atividade de gestão de resíduos na *Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A*, de modo a avaliar e a propor medidas de melhoria nos procedimentos adotados na gestão dos seus resíduos, mais propriamente os REEE.

Após análise, concluiu-se que a empresa oferece uma atividade organizada e de qualidade satisfatória aos seus clientes, conseguindo responder às suas necessidades e expectativas. A empresa encontra-se licenciada para receber e tratar uma grande variedade de resíduos (desde resíduos de embalagens a resíduos de construção e demolição), sendo a maior parte valorizáveis.

Comparando o SIRAPA dos anos 2015 e 2016, verificou-se uma diminuição na quantidade total de resíduos rececionados, bem como na quantidade total de resíduos sujeitos a posterior transporte para outras Entidades. Contrariamente, no caso dos REEE, verificou-se um aumento de receção, sendo este superior no caso dos pequenos e grandes eletrodomésticos e inferior no caso dos equipamentos de frio.

De acordo com as atividades desenvolvidas pela *Ecomais*, não existem propostas de melhoria de grande relevância a serem consideradas, uma vez que esta cumpre os requisitos necessários a uma boa gestão da sua atividade e da sua relação com os clientes.

Com isto, propõe-se:

- No transporte de resíduos – Um aumento no cuidado a ter durante a carga/descarga de resíduos e na sua separação prévia aquando o transporte;
- No armazenamento de resíduos – A construção de coberturas impermeáveis sobre as tulas de armazenamento dos resíduos que se encontram no exterior, de modo a evitar o aumento do teor de humidade, lixiviados, contaminações ambientais, entre outros fatores;

- Na triagem e tratamento de resíduos – A disponibilização permanente de um medidor de cloro e de um medidor de humidade, por forma a verificar os respetivos teores dos materiais, antes da sua introdução na produção de CDR, verificando se estes se encontram dentro dos limites admissíveis para a produção de um CDR com as características pretendidas.

Tendo em conta o princípio de valorização dos resíduos, propõe-se que a *Ecomais* realize um estudo de viabilidade económica, de modo a avaliar a possibilidade de alargar a sua atividade, integrando novos procedimentos na valorização dos REEE e seus constituintes, mais propriamente metais e plásticos.

Como a *Ecomais* tem registado um aumento na receção de REEE (mais propriamente pequenos e grandes eletrodomésticos) e apresenta potencial para processar os seus constituintes internamente, propõe-se que estude a possibilidade de aplicar vias alternativas para o seu processamento, atingindo uma gestão interna mais sustentada.

No caso da valorização dos metais, poderão ser consideradas a pirometalurgia, hidrometalurgia e eletrometalurgia, técnicas eficientes e promissoras, bastante utilizadas na atualidade. Na valorização dos plásticos, incluem-se técnicas como a pirólise, extração com fluido supercrítico e a gaseificação.

As técnicas referidas apresentam diferentes vantagens e desvantagens, económicas, energéticas e ambientais. Como estão associadas a princípios básicos diferentes, exigem avaliações ambientais cuidadas, de modo a avaliar os seus benefícios e problemas e a otimizar continuamente cada processo.

Propõe-se ainda um aumento da sensibilização e formação por parte dos colaboradores da *Ecomais*, de modo a melhorar continuamente as suas atividades.

Efetivamente, uma boa gestão global de resíduos, entre eles os REEE, traz grandes vantagens, tanto a nível ambiental, como de recursos e de saúde humana. Assim, é essencial preservar os recursos do planeta e introduzir materiais reciclados em novos processos de produção, de modo a poupar matérias-primas escassas, bem como minimizar os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente.

Bibliografia

Agência Portuguesa do Ambiente. Agência Portuguesa do Ambiente. [Online] [Citação: 15 de Fevereiro de 2017.] <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108>.

—. Agência Portuguesa do Ambiente. [Online] [Citação: 12 de Janeiro de 2017.] <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>.

Amb3e - Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos. Eletrão - A rede da Amb3e. *Amb3e*. [Online] [Citação: 22 de Fevereiro de 2017.] <http://www.amb3e.pt/aderir/categorias/>.

Ardi, Romadhani e Leisten, Rainer. 2015. Waste Management. *Assessing the role of informal sector in WEEE management systems: A System Dynamics approach*. 24 de Novembro de 2015, Vol. 57, pp. 3–16.

Awasthi, Abhishek Kumar e Li, Jinhui. 2017. Resources, Conservation & Recycling. *An overview of the potential of eco-friendly hybrid strategy for metal recycling from WEEE*. 11 de Julho de 2017, pp. 228–239.

Comissão da Europeia. 2000. *A União Europeia e a Gestão de Resíduos*. 2000.

Crowe, Matthew, et al. 2003. Waste from electrical and electronic equipment (WEEE). [ed.] Dimitrios Tsotsos. *quantities, dangerous substances and treatment methods*. Janeiro de 2003.

Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de Maio. Diário da República, 1.ª Série. pp. 2670-2691.

Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. pp. 3251-3300.

Despacho n.º 21295/2009, de 26 de Agosto. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do desenvolvimento regional e da Economia e da Inovação. 2.ª série, pp. 38523-38538.

Diretiva 2012/19/UE, de 4 de Julho. Jornal Oficial da União Europeia. *Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de Julho de 2012*.

Ecomais, S.A. Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A. *Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A.* [Online] Artmadesign. [Citação: 16 de Novembro de 2016.] <http://www.ecomais.pt/>.

Eco-Partner – Consultoria e Projectos Ambientais, S.A. Eco-Partner. [Online] [Citação: 17 de Fevereiro de 2017.] <http://www.eco-partner.pt/legislacao-residuos/>.

Gerbase, Annelise Engel e de Oliveira, Camila Reis. 2012. *Reciclagem do lixo de informática: Uma oportunidade para a Química.* 23 de Janeiro de 2012, Vol. Vol. 35, pp. 1486-1492.

Kaya, Muammer. 2016. Waste Management. *Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes.* 4 de Agosto de 2016, pp. 1-27.

Mills, William e Tatara, Robert A. 2016. ResearchGate. *Potential for Reuse of E-Plastics through Processing by Compression Molding.* 10 de Maio de 2016, pp. 1-17.

Oliveira, Paula Cristina Filipe de. 2012. *Valorização de Placas de Circuito Impresso por hidrometalurgia.* Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Lisboa : s.n., 2012. Tese de doutoramento.

Pérez-Belis, V., Bovea, M. D. e Gómez, A. 2013. Resources, Conservation and Recycling. *Waste electric and electronic toys: Management practices and characterisation.* 1 de Maio de 2013, pp. 1-12.

Renascimento - Gestão e Reciclagem de Resíduos, Lda. *Renascimento - Gestão e Reciclagem de Resíduos, Lda.* [Online] [Citação: 5 de Maio de 2017.] <http://www.renascimento.pt/pt/?id=2231&mid=246>.

Santella, Chiara, et al. 2016. Waste Management. *Thermal and catalytic pyrolysis of a mixture of plastics from small waste electrical and electronic equipment (WEEE).* 4 de Maio de 2016.

Tanskanen, Pia. 2013. SciVerse ScienceDirect. *Management and recycling of electronic waste.* 2013, Vol. 61, pp. 1001-1011.

Tchobanoglous, George, Theisen, Hilary e Vigil, Samuel. 1993. McQRAW-HILL series in water resources and Environmental Engineering. [ed.] McGraw-Hill International Editions. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues.* Janeiro de 1993.

Wang, Ruixue e Xu, Zhenming. 2014. Waste Management. *Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review.* 5 de Março de 2014.

Wang, Yanmin e Zhang, Fu-Shen. 2011. Journal of Hazardous Materials. *Degradation of brominated flame retardant in computer housing plastic by supercritical fluids.* 19 de Dezembro de 2011, pp. 156-163.

Weee Forum. 2013. *WEEELABEX - Tratamento.* Gestão de Resíduos. 2013. Documento normativo.

Widmer, Rolf, et al. 2005. Environmental Impact Assessment Review. *Global perspectives on e-waste.* 26 de Abril de 2005, pp. 436-458.

Williams, Paul T. 2010. Waste and Biomass Valorization. *Valorization of Printed Circuit Boards from Waste Electrical and Electronic Equipment by Pyrolysis.* Março de 2010, pp. 107-120.

Yu, Jinglei, et al. 2010. Environ. Sci. Technol. *Forecasting global generation of obsolete personal computers.* 15 de Fevereiro de 2010, pp. 3232–3237.

Zhang, Lingen e Xu, Zhenming. 2016. Accepted Manuscript. *A Review of Current Progress of Recycling Technologies for Metals from Waste Electrical and Electronic Equipment.* 4 de Abril de 2016.