

Agradecimentos

Este trabalho de investigação não seria exequível se não tivesse a orientação e o apoio de algumas pessoas a quem expresso o meu sincero agradecimento.

À Professora Doutora Luísa Paula Gonçalves Oliveira Valente da Cruz Lopes pela sua disponibilidade, observações, orientações e sobretudo pela sua atenção e boa disposição ao longo do trabalho.

À empresa *UTV*, pela disponibilidade concedida para a execução do estágio prático e por todo o apoio técnico e informativo.

À Eng.^a Patrícia, pela sua colaboração e prontidão mesmo quando havia pouco tempo disponível.

Ao Carlos, um agradecimento muito especial, por todo o auxílio ao longo do trabalho e acima de tudo por me ajudar a ultrapassar as adversidades e tornar esta meta alcançável.

Palavras-chave

REEE; fluxos operacionais; fracções; desmantelamento manual; tecnologias de tratamento.

Resumo

A produção de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos têm vindo a aumentar ao longo dos anos, com tendência para sofrer um crescimento exponencial nas próximas décadas. Estes apresentam na sua constituição, elementos valiosos e substâncias perigosas, pelo que, é fundamental seguirem formas correctas de tratamento e eliminação de modo a diminuir os impactes ambientais e recuperar todos os materiais relevantes. O principal objectivo deste estudo consistiu em caracterizar os processos utilizados na reciclagem e tratamento dos diferentes Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE). Para tal, realizou-se um estágio numa Unidade de Tratamento e Valorização (UTV) de REEE, na qual, se estudou o processamento de 4 fluxos: fluxo B - Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração, Fluxo C - Pequenos Equipamentos; fluxo D -Lâmpadas Fluorescentes e fluxo E - Monitores e Televisores.

O estudo efectuado mostrou que o processamento de equipamentos eléctricos e electrónicos em fim de vida se baseia em dois objectivos principais, na remoção de componentes perigosos e na recuperação de materiais valiosos ou reutilizáveis, sendo realizado, essencialmente, através de duas operações, o desmantelamento manual e o uso de tecnologias mecanizadas. O desmantelamento manual é aplicado em todos os fluxos com excepção do fluxo D e permite a recuperação total dos elementos presentes nos REEE sem perigo de contaminação, por sua vez, as tecnologias mecanizadas são usadas nos fluxos E, D e B e o seu uso permite optimização da produtividade.

Da análise do processamento efectuado aos 4 fluxos de REEE estudados resultou uma elevada diversidade e complexidade de materiais, nomeadamente, motores, cabos eléctricos, plásticos, alumínio, cobre e ferro. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que os componentes mais abundantes nos diferentes fluxos são: o plástico (26,74% e 22% no fluxo B e E, respectivamente), o ferro (36,45% no fluxo C) e o vidro (92,4% e 62,2% para o fluxo D1 e D2, respectivamente).

keywords

WEEE; operational flows; fractions; manual dismantling, treatment technologies.

Abstract

The waste production of electrical and electronic equipment has been increasing over the years, with a tendency to suffer an exponential growth in the next decades. These have in its constitution, valuable elements and dangerous substances, so it is essential to follow correct forms of treatment and disposal in order to decrease environmental impacts and recovering all relevant materials. The main purpose of this study consisted in characterizing the processes used in recycling and treatment of different Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE). To this end, there was a stage in Treatment and Recovery Unit (UTV) of WEEE, in which was studied the processing of four flows: flow B - Cooling and Refrigeration Equipments, flow C - Small Equipments; flow D - Fluorescent Bulbs and flow E - Monitors and TVs.

The study demonstrated that the processing of electrical and electronic equipment on end of life is based on two main objectives, the removal of harmful components and the recovery of valuable or reusable materials, being carried out mainly through two operations, the manual dismantling and the use of mechanized technologies. The manual dismantling is applied to all flows except flow D and allows complete recovery of the existing elements in WEEE without danger of contamination, in turn, the technologies are used in E, D and B mechanized flows and its use allows optimization of productivity.

From the analysis of processing carried out at 4 WEEE streams studied resulted in a high diversity and complexity of materials, including, motors, electrical cables, plastics, aluminum, copper and iron. The results obtained in this work allow us to conclude that the most abundant components in the different streams are: plastic (26.74% and 22% in the flow B and E, respectively), iron (36.45% in the flow C) and glass (92.4% and 62.2% for the flow D1 and D2, respectively).

Siglas e Abreviaturas

Amb3E	Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
ANREEE	Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
Cat.	Categoria
Cd VI	Cádmio hexavalente
CE	Comunidade Europeia
CFC	Clorofluorcarbono
Cr VI	Crómio hexavalente
Crómio VI	Crómio hexavalente
CRT	Tubo de Raio catódico
CRT's	Tubos de Raio Catódico
DL	Decreto-Lei
EEA	European Environment Agency
EEE	Equipamento Eléctrico e Electrónico
EERA	European Electronics Recyclers Association
EM	Estados Membros
ERP	European Recycling Responsibility
EU	União Europeia
EWRN	European WEEE Registers Network
H2SO4	Ácido Sulfúrico
HCFC	Hidroclorofluorcarbono
HCl	Ácido Clorídrico
HFC	Hidrofluorcarbono
Hg	Mercúrio
HNO3	Ácido Nítrico
IT	Informática e Telecomunicações
KI/KOH	Iodeto de potássio/hidróxido sódio
LCD	Liquid Crystal Display

LCD's	Liquid Crystal Display
Lda	Limitada
LER	Lista Europeia de Resíduos
NaOH	Hidroxido de Sódio
ODS	Ozonedepleting substances
Pb	Chumbo
PBB	Polibromobifenilo
PBDE	Eter de difenilo polibromado
PC	Personal Computer
PCB	Bifenilos policlorados
Ppm	Partes por milhão
PVC	Policloreto de Vinilo
REEE	Residuos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
RIB	Resíduos Industriais Banais
RoHS	Restriction of Hazourds Substances
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
TBBA	Tetrabromobisphenol A
TV	Televisão
UNEP	United Nations Environment Programme
UNU	United Nations University
USA	Estados Unidos da América
UTV	Unidade de Tratamento e Valorização
WEEE Forum	European Association of Electrical and Eectronic Waste Systems Take Bacck

Índice

Introdução.....	1
Capítulo I. Revisão Bibliográfica	5
1. Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (EEE) e Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE).....	5
1.1. Definição de REEE e EEE.....	5
1.2. Produção e Recolha de EEE e REEE	7
1.3. Composição dos REEE.....	9
1.4. Substâncias Perigosas.....	10
1.5. Enquadramento Comunitário	11
1.5.1. Legislação Comunitária	12
1.5.2. Revisão da Directiva	14
1.5.3. Gestão de REEE em Portugal	16
2. Processamento de REEE.....	18
2.1. Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração	19
2.2. Pequenos Equipamentos	21
2.3. Lâmpadas Fluorescentes.....	23
2.4. Monitores e Televisores	25
Capítulo II. Métodos e Técnicas de Processamento de REEE	29
1. Matéria de Estudo.....	29
2. Metodologia Utilizada	30
2.1. Fluxo B - Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração.....	31
2.1.1. Tecnologia de Processamento.....	31
2.1.2. Processamento.....	31
2.2. Fluxo C – Pequenos Equipamentos.....	33
2.2.1. Processamento.....	33
2.3. Fluxo D – Lâmpadas Fluorescentes	37

2.3.1. Tecnologia de Processamento.....	37
2.3.2. Processamento.....	39
2.4. Fluxo E – Monitores e Televisões.....	42
2.4.1. Processamento.....	42
Capítulo III. Resultados e Discussão	47
3. Fluxo B - Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração.....	47
4. Fluxo C – Pequenos Equipamentos	48
5. Fluxo D – Lâmpadas Fluorescentes.....	50
6. Fluxo E – Monitores e Televisões.....	52
Capítulo IV. Conclusões Gerais.....	55
Bibliografia.....	59

Índice de Figuras

Figura 1 – Composição relativa ao fluxo de REEE (adaptado de Widmer <i>et al.</i> , 2005 p. 445)..	9
Figura 2 – Equipamentos do fluxo C.	33
Figura 3 – Desmantelamento de uma torradeira.	35
Figura 4 – Fracções obtidas no processamento do fluxo C.	35
Figura 5 – Lâmpadas do fluxo: (a) D2; e (b) D1.	37
Figura 6 – Tecnologia de tratamento de lâmpadas.	38
Figura 7 – Carregador de aço inoxidável.	39
Figura 8 – Saída do vidro para o local de armazenamento.	40
Figura 9 – Filtro de carvão activado e filtros de mangas.	40
Figura 10 – Materiais resultantes do tratamento de lâmpadas: (a) ferro, (b) casquilho, (c) vidro descontaminado.	41
Figura 11 – Desmantelamento de monitores: (a) interior do monitor; (b) retirada do CRT; e (c) componente em cobre já separado.	43
Figura 12 – Fracções resultantes da etapa de desmantelamento.	43
Figura 13 – Tubo de raio catódico. Constituído por: (1) Canhão de electrões;	44
Figura 14 – Tecnologia de tratamento de tubos de raios catódicos.	44
Figura 15 – Tratamento de CRT: (a) CRT no interior da máquina; (b) retirada do ferro do interior do CRT após a separação dos vidros; (c) camada luminescente no vidro frontal; e (d) vidro frontal com camada luminescente removida.	45
Figura 16 – Fracções obtidas da reciclagem do fluxo B e respectivas quantidades.	47
Figura 17 – Comparação da composição do fluxo D1 com o fluxo D2.	51
Figura 18 – Diferentes fracções obtidas e respectivos valores quantitativos obtido do processamento do fluxo E.	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Cronograma de trabalho.....	3
Tabela 2 – Quantidade recolhida de REEE por categoria em 2010 (adaptado de ANREEE, 2011 p.10).....	8
Tabela 3 – Principais substâncias perigosas presentes em REEE e efeitos na saúde (adaptado de EWASTE, 2010).....	11
Tabela 4 – Objectivos de gestão de REEE deliberados pela Directiva 20002/96/CE.....	14
Tabela 5 – Tecnologias utilizadas para o tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração.....	20
Tabela 6 – Tecnologias de tratamento de pequenos electrodomésticos (adaptado de ADEME, 2008).....	23
Tabela 7 – Tecnologias de tratamento de lâmpadas fluorescentes.....	24
Tabela 8 – Tecnologias de tratamento de Tubos de raios Catódicos (adaptado de ADEME, 2008).....	26
Tabela 9 – Fracções obtidas da reciclagem do fluxo C e respectivas quantidades e operações no destino final.....	48
Tabela 10 – Fracções obtidas da reciclagem de lâmpadas fluorescentes tubulares (fluxo D1) e respectivas quantidades operações no destino final.....	50
Tabela 11 – Fracções obtidas da reciclagem de lâmpadas fluorescentes de geometria diversa (fluxo D2) e respectivas quantidades operações no destino final.....	50

Introdução

Os equipamentos eléctricos e electrónicos (EEE), nas últimas décadas tornaram-se bens essenciais na vida das pessoas. Hoje em dia dificilmente se conseguiria viver sem este tipo de equipamento, quer em países industrializados quer em países em desenvolvimento, isto porque, são raros os sectores onde tais equipamentos não sejam utilizados. Estes podem ser encontrados, em sectores como a saúde, a educação, a segurança, a comunicação e no sector doméstico (UNEP, 2009). A inovação tecnológica e a expansão do mercado conduziu a um aumento no consumo e substituição de EEE e consequentemente os REEE, tornaram-se no fluxo de resíduos com crescimento significativo. Em 2005, estimou-se que a quantidade de REEE produzidas foi de cerca de 9 milhões de toneladas, prevendo-se uma estimativa significativamente superior para 2020 de 12,3 milhões de toneladas (UNU, 2007).

Os REEE são constituídos por uma elevada diversidade e complexidade de materiais, na qual se encontram elementos valiosos e substâncias perigosas e por estas razões é fundamental seguirem formas correctas de tratamento e eliminação, de modo a salvaguardar a saúde, a segurança das pessoas, e a dispersão destas substâncias para o ambiente, bem como, recuperar todos os materiais relevantes.

Este trabalho surge no âmbito da primeira edição do Mestrado em Tecnologias Ambientais, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu e tem como objectivo caracterizar as diferentes formas de processamento de REEE, neste caso, o processamento de 4 fluxos: equipamentos de arrefecimento e refrigeração; pequenos equipamentos; lâmpadas fluorescentes e monitores e televisores. Com o presente estudo pretende-se ainda, aprofundar os conhecimentos em matéria de REEE, sobretudo no que diz respeito à produção, ao sistema de gestão e regulamentação nacional e comunitária. A informação reunida resultou de um estágio realizado numa empresa de tratamento e valorização de resíduos de equipamento eléctrico e electrónico, designada por UTV.

Apresentação da UTV

A UTV foi criada em 13 de Dezembro de 2009 e tem como objectivo, exercer a sua actividade na gestão global de resíduos, recolha, triagem, reciclagem e reutilização de

produtos eléctricos e electrónicos, bem como o desenvolvimento de sistemas e infra-estruturas na área do ambiente. Numa das suas unidades são reciclados equipamentos eléctricos e electrónicos com a excepção dos equipamentos contendo clorofluorcarbono (CFC's), hidroclorofluorcarbono (HCFC) e hidrofluorcarbono (HFC), os quais são armazenados temporariamente e encaminhados para outras instalações, onde decorre o seu tratamento. Processa-se ainda, o tratamento de lâmpadas fluorescentes e o armazenamento temporário de resíduos de plástico, papel, cartão e acumuladores de chumbo.

A UTV possui o seu Sistema Integrado de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança certificado pelos referenciais NP EN ISO 9001, EN ISO 14001 e OHSAS 18001/NP. Actualmente conta com vários colaboradores e parceiros que continuamente recebem formação na área da saúde, higiene e segurança no trabalho e na área da qualidade e ambiente, sobretudo ao nível de gestão de resíduos, de forma a garantir a eficácia e eficiência dos serviços.

Planeamento e Cronograma

Este trabalho decorreu entre os meses de Novembro de 2010 e Maio de 2011, passando por cinco fases distintas.

Fase I – Pesquisa Bibliográfica

A fase inicial do trabalho foi acompanhada por uma intensa pesquisa bibliográfica, desde trabalhos de investigação, artigos científicos, legislação comunitária a informação cedida por empresas operadoras nesta área. Decorreu, sobretudo durante os dois primeiros meses, contudo, ao longo do trabalho foram feitas pequenas pesquisas para eliminar algumas lacunas existentes de conhecimentos.

Fase II – Definição da Metodologia

Desenvolvimento de contactos com a entidade envolvente e realização de algumas visitas para conhecer o local em causa, bem como estabelecer uma metodologia de estudo que permitisse adquirir o conhecimento suficiente para a concretização dos objectivos.

Fase III – Realização das campanhas de caracterização

Concretização dos procedimentos definidos na metodologia estabelecida inicialmente

em cooperação com a empresa. Neste caso procedeu-se ao estudo das tecnologias para os 4 fluxos de REEE.

Fase IV – Análise dos Resultados

Análise e tratamento dos resultados, com vista a caracterizar as respectivas tecnologias.

Fase V – Redacção do relatório de estágio

Redacção do relatório, em função dos resultados obtidos e pesquisas bibliográficas efectuadas.

Na Tabela 1 encontra-se o cronograma das diferentes fases mencionadas anteriormente:

Tabela 1 – Cronograma de trabalho.

Fases	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.
I – Pesquisa Bibliográfica							
II – Definição da Metodologia							
III – Realização das campanhas de Caracterização							
IV – Análise dos Resultados							
V – Redacção do Relatório							

O presente relatório encontra-se dividido em quatro capítulos:

O Capítulo I consiste na revisão bibliográfica, na qual é efectuada uma caracterização de EEE e REEE, fazendo uma abordagem à sua produção, recolha e composição. Neste capítulo também se faz referência às medidas impostas a nível Europeu e ao sistema de gestão de REEE em Portugal, bem como, às formas de processamento dos diferentes REEE.

No Capítulo II procede-se à descrição pormenorizada dos métodos e técnicas de processamento, para o tratamento de resíduos eléctricos e electrónicos, utilizadas na Unidade de Tratamento e Valorização de REEE, onde foi efectuado o estágio.

No Capítulo III são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

Por fim, no Capítulo IV, são apresentadas as conclusões finais deste trabalho.

Capítulo I. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo apresentar-se-á uma revisão bibliográfica, na qual, é efectuada uma caracterização de EEE e REEE, fazendo uma abordagem à sua produção, recolha e composição. Igualmente se efectuará uma breve abordagem às medidas impostas a nível Europeu e ao sistema de gestão de REEE em Portugal. No subcapítulo seguinte são expostas as formas de processamento das diferentes REEE.

1. Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (EEE) e Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE).

O consumo de EEE tem vindo aumentar a nível mundial de forma progressiva e consequentemente, esta evolução, resulta num aumento de REEE, aos quais estão associados diversos problemas ambientais se estes não seguirem formas de tratamento adequadas (Cui *et al.*, 2003).

1.1 Definição de REEE e EEE

Difícilmente se encontra uma definição padrão para REEE pois, a maioria dos países constrói as suas próprias enunciações e interpretações. No entanto, os países membros da União Europeia (UE) e restantes países da Europa tendem a adaptar uma das definições mais amplamente aceite de REEE, a qual é baseada na Directiva de REEE 2002/96/CE (UNEP, 2007a). Segundo a Directiva Europeia de REEE, artigo 3, alínea b) os REEE “ *...são os equipamentos eléctricos e electrónicos que constituem resíduos, nos termos da alínea a) do artigo 1º da Directiva 75/442/CEE, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte do produto no momento em que este é descartado...*”; e Equipamentos Eléctricos e Electrónicos são entendidos como, “*...os equipamentos cujo adequado funcionamento depende de correntes eléctricas ou campos electromagnéticos, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, pertencentes às*

categorias definidas no anexo I A e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1 000 V para corrente alterna e 1 500 V para corrente contínua...” (Directiva n.º 2002/96/CE, p.27).

Em Portugal a definição adoptada de REEE e EEE, vai de encontro á estabelecida pela Directiva da UE, em que, “*REEE são todos os resíduos, na acepção da alínea u) do artigo 3º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, incluindo todos os componentes, subconjuntos e consumíveis que fazem parte integrante de equipamentos eléctricos e electrónicos (EEE), no momento em que estes são rejeitados*”. Para EEE, mantém a mesma definição da Directiva da UE, agrupando-os em dez categorias com base na sua funcionalidade, sendo (Directiva n.º 2002/96/CE):

- Categoria 1 - Grandes Electrodomésticos;
- Categoria 2 - Pequenos Electrodomésticos;
- Categoria 3 - Equipamentos Informáticos e de Telecomunicações;
- Categoria 4 - Equipamentos de consumo;
- Categoria 5 - Equipamentos de Iluminação;
- Categoria 6 - Ferramentas Eléctricas e Electrónicas;
- Categoria 7 - Brinquedos e Equipamentos de Desporto e Lazer;
- Categoria 8 - Aparelhos Médicos;
- Categoria 9 - Instrumentos de Monitorização e Controlo;
- Categoria 10 - Distribuidores Automáticos.

De acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER), os REEE encontram-se classificados com o código 16 02 correspondente a resíduos de equipamento eléctrico e electrónico. Caso se tratem de RSU e equiparados, os REEE devem ser classificados no capítulo 20 01, referente a fracções recolhidas selectivamente, nomeadamente com um dos seguintes códigos (LER, 2004):

- 20 01 21* Lâmpadas fluorescentes e outros resíduos contendo mercúrio;
- 20 01 23* Equipamento fora de uso contendo clorofluorcarbonetos;
- 20 01 35* Equipamento eléctrico e electrónico fora de uso não abrangido em 20 01 21 ou 20 01 23 contendo componentes perigosos;
- 20 01 36 Equipamento eléctrico e electrónico fora de uso não abrangido em 20 01 21, 20 01 23 ou 20 01 35.

(*) resíduos perigosos.

1.2 Produção e Recolha de EEE e REEE

O aumento da produção de EEE está sobretudo associado a factores de desenvolvimento em consequência do crescimento da população nos Estados Membros (UNU, 2007), acoplado com o rápido crescimento económico e o avanço tecnológico (Cui *et al.*, 2003). Este aumento de EEE tem vindo a evidenciar-se nas últimas décadas. Em 1998, na Europa ocidental, foram produzidos 6 milhões de toneladas de REEE, antevendo-se um acréscimo entre 3-5% por ano. Em 2004, cerca de 315 milhões de equipamentos atingiram o seu fim de vida, contribuindo para um aumento de REEE nesse ano (Cui *et al.*, 2003). Em 2005, mais de 10 milhões de toneladas de EEE foram colocados no mercado, o equivalente a uma média de 19 kg/hab (Zonneveld, 2007). Em 2008, de acordo com a informação obtida pelos 33 membros que constituíam a *European Association of Electrical and Electronic Waste Systems Take Back* (WEEE Forum) foram colocados no mercado, em termos médios, 14,8 kg por habitante (WEEE Forum, 2010a). Em 2009, esta associação constatou que o número de equipamentos produzidos foi semelhante a 2008, no entanto, a aquisição de equipamentos esteve ligada à compra de EEE mais leves, levando a uma diminuição, em termos de peso, de cerca de 200.000 toneladas de EEE colocados no mercado (WEEE Forum, 2010b). Esta evolução do consumo de EEE origina consequentemente, um crescimento muito acentuado da produção de REEE. Para 2020 prevê-se, que o total de REEE possa chegar a 12,3 milhões de toneladas (UNU, 2007), ou ultrapassar este valor, atingindo valores entre 15 a 20 milhões de toneladas (Zonneveld, 2007).

Relativamente á recolha dos respectivos EEE em fim de vida, têm-se notado ao longo dos anos uma melhoria nos níveis de recolha. Em 2005, obteve-se para a percentagem de recolha de equipamentos grandes 40% e para os equipamentos de média dimensão 25% (UNU, 2007). De 2007 para 2008, segundo os dados fornecidos pelos 34 membros de WEEE Forum, houve um aumento dos REEE recolhidos, passando de 1,17 milhões de toneladas em 2007 para cerca de 1,5 milhões de toneladas em 2008, o equivalente em termos médios a 4,03 kg/hab. Em 2009, 35 membros associados recolheram aproximadamente 2 milhões de toneladas, manifestando-se este crescimento para todas as categorias de equipamentos (WEEE Forum, 2010b).

Em Portugal, tal como, o que acontece a nível Europeu, verifica-se também um crescimento progressivo a nível do mercado de EEE. Em 2008, colocaram-se no mercado, em termos de quantidades unitárias de EEE, 72 milhões e em 2009 introduziram-se cerca de 73 milhões. Este último corresponde a um peso de cerca de 169 mil toneladas, o que significa que cada português, em 2009 adquiriu em média, sete equipamentos novos, correspondente a 16,9 Kg (ANREEE, 2009). Em 2010 o número de equipamentos colocados no mercado foi de 77592,249 unidades o que se traduz num aumento de 6,1% comparativamente a 2009, no entanto, em termos de peso global dos EEE colocados no mercado, registou-se um decréscimo de 2,18% relativamente ao valor de 2009, o que se justifica pelo facto de se construírem EEE mais leves (ANREEE, 2011).

Em relação aos valores de recolha, em 2009, segundo dados da ANREEE (ANREEE, 2009), foram recolhidas 45179 toneladas de REEE, o equivalente a 4,5 Kg por habitante. A categoria com maior valor de recolha foi a dos grandes electrodomésticos atingindo mais de 22 mil toneladas, seguindo-se a categoria 3 com 12674 toneladas. Em 2010 foram recolhidas 46672,57 toneladas de REEE o equivalente a 4,6 Kg /habitante (. Tabela 2), sendo, novamente, a categoria dos grandes electrodomésticos com maior de valor de recolha (28771,62 ton) e a categoria 7 com o valor mais inferior (106,90 ton) (ANREEE, 2011). Em ambos os anos, os valores de recolha permitiram cumprir a meta imposta pela Directiva de REEE de 4Kg/hab.

Tabela 2 – Quantidade recolhida de REEE por categoria em 2010 (adaptado de ANREEE, 2011 p.10).

Recolha de REE por categoria 2010	Quantidade Recolhida (ton)
Cat 1. Grandes Electrodomésticos	28 771,62
Cat 2. Pequenos Electrodomésticos	4 056,53
Cat 3. Equipamentos Informáticos e Telecomunicações	7 272,65
Cat 4. Equipamentos de Consumo	4 443,61
Cat 5. Equipamentos de Iluminação	593,27
Cat 6. Ferramentas Eléctricas e Electrónicas	388,95
Cat 7. Brinquedos Desporto e Lazer	106,9
Cat 8. Equipamentos Médicos	292,58
Cat 9. Instrumentos de Monitorização e Controlo	347,03
Cat 10. Distribuidores Automáticos	401,43
TOTAL	46 672,57

1.3 Composição dos REEE

Sendo a diversidade de materiais encontrada nos REEE muito elevada, torna-se difícil definir uma composição global para este tipo de resíduo. Porém, de um modo geral, os REEE são constituídos por metais ferrosos, não ferrosos, plástico, vidro, madeira, placas electrónicas, betão, cabos eléctricos e borrachas, onde os elementos mais abundantes são os metais ferrosos e não ferrosos, o plástico e o vidro. Em termos de percentagem pode-se dizer que o ferro e o aço representam cerca de 50% do peso de REEE, os plásticos são o segundo maior componente com 21% e os metais não ferrosos, como o cobre, alumínio, prata e inox, correspondem a 13% (UNEP, 2007a). Na figura 1, apresenta-se uma estimativa da composição do fluxo de REEE, na qual se verifica que os principais componentes são os metais, o plástico e o vidro.

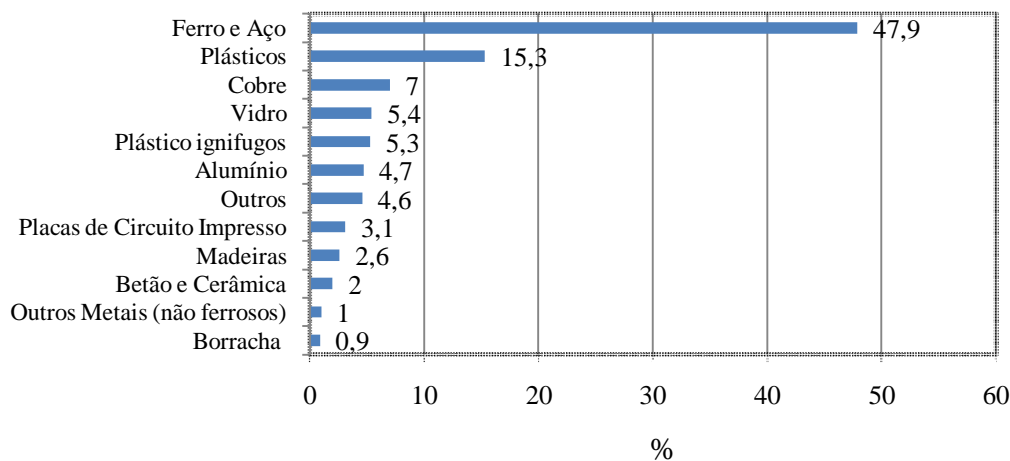


Figura 1 – Composição relativa ao fluxo de REEE (adaptado de Widmer *et al.*, 2005 p. 445).

Todavia a composição do fluxo de REEE, não pode ser considerada definitiva pois ao longo do tempo, na produção de EEE, são introduzidos novos materiais e outros são eliminados. É o caso, por exemplo, dos ecrãs de tubos de raio catódico que tem vindo a ser progressivamente substituídos pelos ecrãs plasma e LCD, e a introdução de sistemas eléctricos em veículos e máquinas (EEA, 2003).

1.4 Substâncias Perigosas

Um dos graves problemas associados ao fluxo de REEE é o teor em substâncias perigosas que fazem parte da sua constituição, pelo que é fundamental, seguirem formas correctas de tratamento e eliminação, de modo a salvaguardar a saúde e a segurança das pessoas, e a dispersão destas substâncias para o ambiente. Como substâncias perigosas podem-se destacar os metais pesados como, o chumbo, o cádmio, o mercúrio e o crómio, as substâncias halogenadas como, os CFC e os HCFC, os plásticos, as placas de circuito, que contém retardadores de chama bromados (quando incinerados podem originar dioxinas e furanos), o arsénio, o amianto, e o níquel (Ogilvie, 2004).

De forma a minimizar os efeitos nocivos e tornar o conteúdo dos produtos electrónicos menos problemáticos, a Directiva da UE, restringiu, desde de 1 de Julho de 2006, o uso de substâncias perigosas na produção de EEE, nomeadamente, chumbo, mercúrio, cádmio, crómio (VI), e os retardantes de chama bromados, PBB e PBDE (Directiva n.º 2002/95/CE). No entanto, estas substâncias ainda se encontram em largas quantidades no mercado, pelo facto dos equipamentos mais antigos, ainda não terem atingido o seu fim de vida. Noutros casos, surgem novos problemas pelo facto de se substituírem produtos antigos por outros diferentes, por exemplo, recentemente os ecrãs de CRT (tubos de raios catódicos), foram substituídos por LCD, eliminando-se o chumbo, mas surgindo o mercúrio como substância perigosa (Nordbrand, 2009). Na tabela 3 apresenta-se uma listagem dos componentes que suscitam maior preocupação em termos de perigosidade e os efeitos nocivos na saúde.

Tabela 3 – Principais substâncias perigosas presentes em REEE e efeitos na saúde (adaptado de EWASTE, 2010).

Substâncias	Presença em REEE	Efeitos na Saúde
PCB	Condensadores, Transformadores	Cancro nos animais, incluindo efeitos sobre os sistemas imunológico, reprodutivo, nervoso e endócrino.
Retardadores de chama (TBBA e PBB)	Encontram-se nos plásticos (componentes termoplásticos, cabos de isolamento) o TBBA é utilizado nas placas de circuito impresso e nas estruturas.	Graves distúrbios hormonais
CFC	Unidades de refrigeração, espumas isolantes	Destruição da camada do ozono. Resulta num aumento de incidência de cancro de pele em seres Humanos e danos genéticos em muitos organismos.
PVC	Cabos de Isolamento	Problemas Respiratórios
Arsénio	Pequenas quantidades sob a forma de arseneto de gálio dentro de díodos emissores de luz	Doenças de pele, cancro do pulmão, diminuição dos impulsos nervosos.
Cádmio	Camada fluorescente (ecrãs CRT), tintas de impressora, toners, máquinas fotocopiadoras (tambor de impressora)	Problemas renais, fraqueza, febre, cefaleias, mialgias. A longo prazo pode provocar cancro do pulmão e doenças ósseas.
Crómio VI	Cassetes de vídeo, disquetes	Toxicidade celular, irritações nos olhos e pele e na membrana das mucosas.
Chumbo	Ecrãs de CRT, placas de circuito impresso	Vómitos, diarreia, convulsões, coma e até morte. Problemas renais, sanguíneas e cerebrais.
Mercúrio	Lâmpadas Fluorescentes e Baterias.	A biocumulação causa danos cerebrais e no fígado
Níquel	Baterias, baterias recarregáveis, canhão de electrões no CRT	
Selénio	Fotocopiadoras antigas	Perda de cabelo, alterações neurológicas.
Substâncias Radioactivas	Equipamento médico, detectores de incêndio, elemento de detecção activa em detectores de fumaça	

1.5 Enquadramento Comunitário

Em virtude dos problemas ambientais envolvidos na gestão dos REEE devido em grande parte, ao teor de substâncias perigosas presentes na sua constituição, bem como, ao facto de mais de 90% dos REEE serem depositados em aterros, incinerados ou

valorizados sem qualquer pré-tratamento, foram elaboradas medidas específicas à escala europeia (CE, 2000). Seguidamente faz-se referência às medidas impostas em matéria de REEE a nível Europeu bem como ao Sistema de Gestão de REEE Portugal.

1.5.1 Legislação Comunitária

Com a finalidade de se estabelecerem medidas que tenham em conta a minimização dos impactos resultantes do ciclo de vida dos REEE e contribuir para a harmonização das obrigações europeias em matéria de gestão de resíduos, em Junho de 2000, foram publicadas as Propostas de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, relativas aos REEE e à utilização de determinadas substâncias perigosas em EEE (CE, 2000). No seguimento destas propostas, a 13 de Fevereiro de 2003, foram publicadas no Diário Oficial da UE as seguintes Directivas:

- Directiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, relativa aos REEE, alterada pela Directiva 2003/108/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Dezembro de 2003, também conhecida por Directiva REEE;
- Directiva 2002/95/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, relativa a restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em EEE, também designada por Directiva RoHS (*Restriction of the use of certain Hazardous Substances in EEE*).

A Directiva de REEE, têm por base, melhorar o *design* do produto para elevar as taxas de reutilização, de reciclagem e de valorização, contribuindo desta maneira para a diminuição da deposição em aterro ou incineração. Pretende igualmente, promover a criação e o financiamento, por parte dos produtores, de sistemas de recuperação e tratamento de REEE, bem como, proporcionar o estabelecimento de instalações para o sistema de recolha de REEE proveniente de particulares (Directiva 2002/96/CE). Desta forma as exigências impostas pela Directiva focalizam-se sobretudo na responsabilidade do produtor de EEE, nas operações de recolha e tratamento de REEE.

Tendo em conta o princípio da responsabilidade do produtor, os produtores de EEE de cada estado membro (EM), são responsáveis pela gestão e financiamento das operações

a que estão sujeitos os produtos que colocam no mercado. Esta obrigação é aplicada a todo o ciclo de vida do produto, desde a fase de selecção de matérias-primas, passando pela produção e comercialização, até à utilização e fim de vida do produto (APA, 2011a). Os produtores podem cumprir esta imposição do financiamento das operações de gestão através um sistema colectivo ou a título individual e, neste caso, fornecendo garantias do respectivo financiamento, através de um seguro de reciclagem ou de uma conta bloqueada. Além disso, são também obrigados desde 13 de Agosto de 2005, a assinalarem os equipamentos com a marcação do contentor de lixo barrado com uma cruz, para facilitar a distinção de REEE de outros resíduos urbanos (Directiva 2002/96/CE).

A recolha de REEE é considerada pela Directiva como uma operação essencial no sistema de gestão para depois se conseguir efectuar um tratamento ou reciclagem adequada destes resíduos. Para tal, impõe a criação de sistemas que permitam aos detentores finais e aos distribuidores a entrega dos REEE, bem como, a recepção gratuita destes resíduos provenientes de particulares. No caso dos consumidores não particulares, são os produtores, os responsáveis em assegurar a recolha dos respectivos resíduos. As disposições da Directiva determinam que todos os EM devem assegurar uma recolha correspondente a uma taxa mínima de 4Kg/hab.ano. Em relação ao tratamento, a Directiva impõe o uso de tecnologias mais eficientes para operações de valorização, reutilização e reciclagem de REEE em instalações certificadas por sistemas de gestão ambiental (Directiva 2002/96/CE). Os objectivos mínimos estabelecidos para as operações de gestão relativos a cada categoria de equipamento, estão demonstrados na tabela 4.

A Directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances), veio contribuir para a protecção da saúde humana e para uma valorização e eliminação ambientalmente correctas de REEE. Esta decretou que todos os EEE inseridos no mercado, desde 1 de Julho de 2006, devem sofrer restrições no uso de determinadas substâncias perigosas tais como: chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio hexavalente (Cd VI), polibromobifenilo (PBB) e éter difenilo polibromado (PBDE), (Directiva 2002/95/CE). Com o cumprimento destas imposições, prevê-se a eliminação para o ambiente de 20% de Hg, 56% de Cd, 59% de Pb e 71% de Cr (VI) o que traduz uma diminuição de

emissões por parte de resíduos eliminados e numa redução do potencial de toxicidade humana e da ecotoxicidade para os diferentes ecossistemas ambientais (Bogaert *et al.*, 2007).

Tabela 4 – Objectivos de gestão de REEE deliberados pela Directiva 20002/96/CE.

Categorias de Equipamentos	Taxa de Valorização	% de reutilização e reciclagem de componentes, materiais e substâncias em função do peso médio por aparelho.
Cat.1: Grandes electrodomésticos Cat.10: Distribuidores automáticos	Maior ou igual a 80%	Maior ou igual a 75%
Cat.3: Equipamentos Informáticos e de telecomunicações Cat.4: Equipamentos de Consumo	Maior ou igual a 75%	Maior ou igual a 65%
Cat.2: Pequenos electrodomésticos Cat.5: Equipamentos de Iluminação Cat.6: Ferramentas eléctricas e electrónicas. Cat.7: Brinquedos e equipamentos de desporto e lazer Cat.9: Instrumentos de monitorização e controlo	Maior ou igual a 70%	Maior ou igual a 50% (80% para lâmpadas de descarga de gás)

1.5.2 Revisão da Directiva

A maioria dos EM, nos primeiros anos de implementação da Directiva, revelou várias dificuldades a nível técnico, jurídico e administrativo, o que resultou em encargos financeiros extras para agentes do mercado e para a administração pública. Além disso, verificou-se que alguns aspectos não tinham aplicabilidade prática e outros não estavam a ser cumpridos, pelo que, continuam a existir danos ambientais provenientes da gestão dos REEE (CE, 2008).

Constatou-se também que o âmbito de aplicação, por vezes é pouco claro, havendo dificuldade em enquadrar os equipamentos nas respectivas categorias, e por isso, criam-se discrepâncias a nível europeu. Em relação aos valores de recolha também não estão a ser bem sucedidos, visto que, actualmente a taxa de 4kg/hab.ano, não tem em conta a dimensão populacional de cada EM, levando a que alguns países tenham mais

facilidades em atingir e ultrapassar a respectiva meta. Para além disso, menos de 33% dos resíduos seguem um tratamento de acordo com as obrigações impostas pela Directiva, os restantes são encaminhados para aterro, ou exportados de forma ilegal. De forma a estabelecer melhorias na eficácia da Directiva foram realizadas várias investigações, consultas públicas e validadas diversas opções a nível político. Estas diferentes contribuições deram origem, em Dezembro de 2008, à Proposta da Revisão da Directiva de REEE cujos principais objectivos são os seguintes (CE, 2008):

- Clarificação do âmbito de aplicação e de definições – propõe a utilização de uma lista fixa de produtos, que permita agrupar os equipamentos em categorias de acordo com a sua origem, doméstica ou empresarial, de forma a clarificar as obrigações aplicáveis aos diferentes produtores;
- Meta de recolha – indica uma taxa de recolha fixa de 65% do peso dos EEE colocados no mercado nos dois anos anteriores, devendo ser atingida anualmente a partir de 2010;
- Meta de reciclagem e reutilização – sugere que os objectivos de valorização e reciclagem incluam a reutilização de aparelhos e dispositivos médicos, com meta idêntica à estabelecida para aparelhos de monitorização e controlo. Todas as taxas de valorização, reciclagem, reutilização devem aumentar 5%;
- Registo dos produtores – propõe os registos dos operadores interoperáveis, pois os produtores precisam apenas de se registar e comunicar as suas actividades nos EM.
- Registo mínimo de inspecção e monitorização a assegurar por cada EM – aponta para a intensificação da inspecção para o cumprimento da Directiva REEE, sobretudo em relação ao movimento transfronteiriço e a nível do tratamento;
- Responsabilidade do produtor, financiamento – dita um incentivo por parte dos EM aos produtores para financiar todos os custos de recolha provenientes de particulares. Propõe ainda que os produtores possam mostrar aos consumidores os custos de gestão dos resíduos dos seus produtos.

Após publicação desta proposta, têm surgido algumas sugestões de melhoria por parte de algumas entidades, designadamente, pela autoridade europeia para o registo de REEE “*European WEEE Registers Network* “(EWRN), e pela Comissão do Meio Ambiente do Parlamento Europeu. O EWRN, em Junho de 2009, no que concerne ao enquadramento dos EEE nas respectivas categorias, sugere um modelo de árvore de

decisão que permite a todos os utilizadores da comunidade europeia chegarem ao mesmo resultado. Em relação ao registo defende que este deve conter o mesmo conjunto de dados para cada entidade em cada EM, bem como, existir a possibilidade de partilhar informação fora do espaço Nacional (EWRN, 2010). A Comissão do Meio Ambiente do Parlamento Europeu, em Junho de 2010, votou em numerosas alterações á proposta da Directiva. Em traços gerais, propõe a alteração da taxa de recolha para 85% exigindo que todos os EM assegurem um crescimento de recolha entre 2012e 2016. Sugere também, que os próprios países incentivem a cooperação entre produtores e operadores de gestão, com vista a obterem melhores resultados de reutilização e reciclagem por ambas as partes. Defende ainda que, devem ser adoptadas medidas ecológicas, por exemplo de eco-design, até 1 de Janeiro de 2015 e que o produtor pode cumprir as suas obrigações a título individual, através do sistema colectivo ou a combinação dos dois métodos. Além disso considera fundamental o aumento da inspecção em todos os EM relativamente ao número de equipamentos colocados no mercado (Canneman, 2010).

1.5.3 Gestão de REEE em Portugal

Em Portugal a transposição das Directivas 2002/95/CE e 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, ocorreu em 10 de Dezembro de 2004 por um diploma único, o Decreto-Lei n.º 230/2004, de 10 de Dezembro, e posterior alteração através do Decreto-Lei n.º 174/2005, de 25 de Outubro (APA, 2011a). O actual diploma legislativo estabelece o regime jurídico de gestão de REEE, com: *“o objectivo prioritário de prevenir a sua produção e, subsequentemente, promover a reutilização, a reciclagem e outras formas de valorização, de forma a reduzir a quantidade e o carácter nocivo de resíduos a eliminar, contribuindo para melhorar o comportamento ambiental de todos os operadores envolvidos no ciclo de vida destes equipamentos”* (Decreto-Lei n.º 230/2004 p. 7051).

1.5.3.1 Sistema Nacional de Gestão de REEE

O sistema de Gestão de REEE engloba todos os intervenientes no ciclo de vida dos EEE, ou seja, produtores, distribuidores, municípios, operadores de gestão e consumidores. O processo é iniciado com o registo do produtor na entidade licenciada

para o mesmo, onde reporta os dados da sua produção. Em seguida selecciona o sistema individual ou o colectivo para o cumprimento das suas obrigações financeiras na gestão dos produtos. Se optar por um sistema colectivo, o produtor terá que efectuar o pagamento do Ecovalor, este corresponde às contrapartidas financeiras cobradas pelas entidades gestoras, com vista a suportar os custos de gestão dos resíduos colocados no mercado (APA, 2011b). Os EEE em fim de vida são posteriormente recolhidos de acordo com a estruturação da rede de recolha definida pela entidade gestora ou pelo produtor se este funcionar a título individual. Dentro desta rede, estão englobados os Sistemas Municipais, que operam como centros de recepção e os distribuidores, os quais são responsáveis por assegurar a recolha sem custos para o consumidor quando se procede á troca de um equipamento em fim de vida por um novo. Por fim, são transportados para os centros de recepção, onde são armazenados e triados, seguindo depois para as UTV, para se proceder à sua correcta reutilização, reciclagem, valorização e eliminação. Estas operações estão a cargo das entidades gestoras que receberam o Ecovalor ou dos produtores que operam a título individual (Decreto-Lei n.º 230/2004).

1.5.3.2 Entidade de Registo e Entidades Gestoras

Em Portugal, a entidade nacional de registo dos produtores de EEE é a Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (ANREEE), entidade sem fins lucrativos, licenciada em 23 de Maio de 2006 para realizar o registo de empresas que colocam EEE no mercado. A ANREEE, tem como missão assegurar, organizar e manter o registo obrigatório de produtores de REEE, controlar a quantidade de cada categoria de EEE que os produtores colocam no mercado anualmente e acompanhar a gestão de REEE através da informação recebida dos sistemas de gestão individuais ou colectivos (ANREEE, 2010).

Em Portugal existem duas entidades gestoras, a Amb3E e a ERP-Portugal, ambas licenciadas desde 27 de Abril de 2006 pelo Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional e pelo Ministério da Economia e da Inovação. A Amb3E é uma associação portuguesa, sem fins lucrativos que tem como objectivo, gerir os REEE e proporcionar a sua reutilização, reciclagem e outras formas de tratamento, assegurando desta forma uma gestão de REEE o mais correcta possível. Ao

longo do tempo o número de produtores inscritos nesta entidade gestora tem vindo a aumentar, entre o início da actividade em 2006 e o final de 2009, a Amb3E passou de 303 produtores aderentes para um total de 873. Em 2009, assegurou a recolha de mais de 34 milhões de kg de REEE, correspondente a 3,26 kg/hab.ano (Amb3E, 2009).

A ERP Portugal, é uma associação de natureza privada sem fins lucrativos, faz parte de uma plataforma pan-europeia, a *European Recycling Platform*, fundada em Dezembro de 2002 e tem como missão assegurar a implementação mais rentável dos sistemas de gestão de REEE. Esta sociedade comercial internacional encontra-se presente em diversos países europeus, nomeadamente na Alemanha, na Dinamarca, na Áustria, na Itália, na Espanha, na França, na Polónia, na Irlanda, no Reino Unido, na Finlândia e em Portugal. Apresenta uma quota no mercado entre 12% e 35% e já recolheu até ao momento mais de 1 milhão de toneladas de REEE na Europa (ERP, 2011).

Em 2009, as entidades gestoras, Amb3E e ERP Portugal, recolheram no total para reciclagem 46 672,57 toneladas de REEE, uma média de 4,6 kg /hab., um valor que permitiu ultrapassar a meta imposta na Comunidade Europeia de 4kg/habitante/ano (ANREEE, 2011). Até 2011 a Amb3E deverá recolher no mínimo 31% da quantidade total de REEE produzidas a nível nacional e a ERP terá de cumprir com a recolha de 8% (Despacho conjunto n.º 353/2006; Despacho Conjunto n.º 354/2006).

2. Processamento de REEE

Na composição dos equipamentos eléctricos e electrónicos, são encontrados diversos materiais com elevado valor económico, nomeadamente ouro, prata e o cobre, bem como alguns e metais especiais, como o telúrio, o antimónio e o selénio (Chancerel, 2009). Todavia, os REEE são também constituídos por substâncias que libertam emissões perigosas, quer directamente, quer por resultado de eliminações inadequadas (UNEP, 2009). Por estas razões, o tratamento de equipamentos eléctricos e electrónicos em fim de vida é um processo indispensável não só do ponto de vista ambiental, para a eliminação de substâncias perigosas, mas também do ponto de vista económico, para a recuperação de materiais valiosos.

Devido à diversidade e complexidade de materiais existentes na constituição de EEE e às diferentes técnicas usadas no processo de fabrico, são necessários métodos de tratamento que permitam de uma forma eficiente, recuperar e tratar todos os componentes abrangidos nas diferentes categorias. Porém, a fase inicial do processamento de REEE ocorre de forma semelhante para todas os equipamentos, englobando três etapas: o desmantelamento, a redução granulométrica e recuperação de metais ferrosos e não ferrosos (UNEP, 2007b).

O desmantelamento é realizado manualmente e consiste sobretudo em preparar o equipamento para a fase de tratamento, retirando todos os compostos perigosos e valiosos. Desta forma, são retirados todos os materiais que apresentem facilidades de remoção, nomeadamente, cabos eléctricos, borrachas, placas electrónicas, metais ferrosos e não ferrosos, baterias, condensadores (UNEP, 2007b). A segunda etapa corresponde á diminuição do tamanho dos materiais com o objectivo de proporcionar uma separação mais eficiente dos restantes elementos, sobretudo dos metais, esta é conseguida sobretudo através de processos mecânicos (UNU, 2007). Na terceira etapa ocorre a separação dos metais ferrosos, como o ferro e dos metais não ferrosos como o cobre, o alumínio e o inox. Esta separação habitualmente é concretizada através de sistemas magnéticos ou mecânicos, sendo por vezes acompanhada também por remoção manual (UNEP, 2007b). Porém existem fluxos que requerem um tratamento específico pelo facto de apresentarem substâncias perigosas na sua constituição é o caso do fluxo dos equipamentos de arrefecimento e refrigeração, do fluxo dos pequenos equipamentos, do fluxo das lâmpadas fluorescentes e do fluxo dos monitores e televisores (UNU, 2007).

Nos subcapítulos seguintes são descritos pormenorizadamente os métodos e técnicas de processamento utilizados no tratamento de resíduos eléctricos e electrónicos para estes 4 fluxos.

2.1 Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração

Os equipamentos de arrefecimento e refrigeração utilizam no líquido de refrigeração e na espuma de isolamento os HCFC's e os CFC's, substâncias que quando libertadas para o ambiente contribuem para a destruição da camada do ozono, bem como HFC que

promove o aquecimento global. A produção e o uso destas substâncias começou a ser controlada desde 1987 com a implementação do *Protocolo de Montreal* sobre as substâncias que empobrecem a camada do ozono (ODS), verificando-se uma diminuição nos últimos anos. Contudo, devido ao longo ciclo de vida que estes equipamentos apresentam, estas substâncias representam ainda uma parte significativa de REEE (Fahey, 2006).

De acordo como Regulamento (CE) n.º 2037/2000, os CFC recuperados devem ser destruídos a partir de tecnologias ambientalmente adequadas. Quanto aos HCFC, poder-se-á, até 2015, optar pela sua destruição ou reutilização, a partir de 1 de Janeiro de 2015 serão proibidos todos os hidroclorofluorocarbonos. As quantidades de CFC, HCFC e HFC, provenientes do circuito de arrefecimento devem ser removidas com eficiência superior a 90% em peso de óleo que é extraído do sistema (Decreto-Lei n.º 35/2008). Em Portugal, as operações de recuperação para reciclagem, valorização e destruição de substâncias que empobrecem a camada de ozono foram regulamentadas pelo Decreto - Lei n.º 152/2005, de 31 de Agosto, posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 35/2008 de 27 de Fevereiro.

O tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração tem como operações fundamentais, a desgasificação, na qual se extrai o líquido de arrefecimento através da perfuração do circuito de refrigeração, a remoção do compressor e do circuito de refrigeração e a destruição trituração do equipamento num ambiente controlado com azoto de forma a evitar possíveis explosões. (UNU, 2007). Simultaneamente deve ocorrer a recolha de CFC e HCFC e HFC através de sistemas de filtros regenerativos e de condensadores (Decreto-Lei n.º 35/2008). A espuma propriamente dita de acordo com o Decreto-Lei n.º 35/2008, é separada a partir da utilização de um separador de ar e encaminhada para um processo de moagem, onde o pó libertado é removido para um ciclone (Decreto-Lei n.º 35/2008). Na tabela 5, apresentam-se algumas das tecnologias utilizadas para o tratamento destes resíduos

Relativamente ao tratamento das ODS (Ozone-depleting substances), geralmente são utilizadas tecnologias de incineração e tecnologias com utilização de plasma. No entanto, nos países partes do Protocolo de Montreal, a destruição de ODS deve ser efectuada de acordo com as tecnologias aprovadas pelo Protocolo (Decreto-Lei n. 152/2005).

Tabela 5 – Tecnologias utilizadas para o tratamento de equipamentos de arrefecimento e refrigeração.

Tecnologia /Produtor	Capacidade de Tratamento	Principais Características
<i>Recyclage Ecosolutions</i> (Canada, 2010)	380 000 ton em 2 anos	Extracção das ODS por adsorção em carvão activado. Separação gravimétrica e densiométrica de metais. Tratamento térmico da espuma de isolamento
<i>Impianti Trattament Rifiuti ITR</i> (ITR, 2010) Itália	60 equipamentos por hora	Instalação criogénica para a retirada de clorofluorcarbonetos. Remoção de plásticos e metais por densiométrica. Recupera 98% de metais, 6% plástico e 95% de poliuretano.
<i>Querstrozerspaner</i> (QZ) MEWA (MEWA, 2010) Alemanha	60 a 100 equipamentos por hora	Podem ser tratados equipamentos com CFC, HCFC e de pentano simultaneamente. A mesma tecnologia pode ser utilizada para tratamento de pequenos electrodomésticos
VA3S Refrigerator devices Recycling System (Adelman, 2010) Alemanha	60 equipamentos por hora	Redução de arcas congeladoras para 50 mm e frigoríficos para 30 mm. Os metais, os plásticos e a espuma são separados por sistemas magnéticos e por meio de crivos.
ELDAN recycling (ELDAN, 2010) Dinamarca	80 equipamentos por hora	Suporta equipamentos com dimensões de 2000×1200×1000 mm.

Do tratamento deste tipo de equipamento resultam, entre outros, os metais ferrosos e não ferrosos, os plásticos, o compressor, a espuma de isolamento, os CFC's, os cabos e o vidro (UNEP, 2007a).

2.2 Pequenos Equipamentos

Os pequenos equipamentos podem englobar uma ampla gama de aparelhos, desde elementos da categoria 2, como torradeiras, fritadeiras, ferros de engomar, balanças e aspiradores, a equipamentos da categoria 3, 6 e 7 como computadores, ferramentas e brinquedos respectivamente. Apesar da grande diversidade que contempla esta categoria, são equipamentos que contribuem com pouco peso para as metas de recolha, em média o peso unitário aproxima-se dos 2 a 3 Kg (ADEME, 2008).

O processamento deste tipo de equipamento, é realizado sobretudo como o objectivo de retirar elementos reutilizáveis. Segundo UNEP (UNEP, 2009), numa fase inicial,

realiza-se manualmente com recurso a ferramentas pneumáticas, possibilitando a retirada e a separação dos componentes de forma intacta, são retirados, entre outros materiais, baterias, placas electrónicas, cobre, alumínio, cabos eléctricos e plásticos. Após esta etapa, os resíduos são encaminhados para a uma fase de trituração e posteriormente para uma fase de separação mecânica, as quais são realizadas por tecnologias automatizadas, nomeadamente através de trituradores rotativos, moinhos de corte horizontal ou a trituradores verticais. Do material triturado são removidas as diferentes fracções metálicas, os metais ferrosos habitualmente são extraídos por sistemas magnéticos enquanto os não ferrosos são recolhidos por meios electromagnéticos, por exemplo através da corrente de *Eddy*. Os materiais não ferrosos são posteriormente separados entre si, por meio de várias técnicas, nomeadamente, triagem óptica, diferenças de densidade, sistemas vibratórios e corrente de *Eddy* (UNEP, 2009). O restante material, como cabos, plásticos, e pedaços de placas, podem ser ainda encaminhados para um separador preenchido com água, que em função das diferenças de densidade promove a triagem destes compostos (UNU, 2007). Geralmente todas as etapas são também acompanhadas por triagem manual, sobretudo quando existe facilidades na recolha de materiais valiosos (ADEME, 2008). Na tabela 6 são apresentadas várias tecnologias de tratamento para pequenos equipamentos assim como as respectivas sequências de processamento.

Do processamento do fluxo dos pequenos equipamentos os materiais que existem em maior quantidade são os motores e o ferro, seguindo-se posteriormente alguns metais não ferrosos como o cobre o inox e o alumínio (UNU, 2007).

Tabela 6 – Tecnologias de tratamento de pequenos electrodomésticos (adaptado de ADEME, 2008).

Tecnologia /Produtor	Triagem Manual	Trituração	Separação metais ferrosos	Triagem manual após trituração	Redução granulométrica	Separação de mistura de metais não ferrosos	Separação de plásticos	Triagem de materiais não ferrosos
ECOTRI (França)	X	X	X	X				
TRIADE (França)	X	X	X	X	X	X	X	
REMONDIS (Alemanha)	X	X	X	X	X	X	X	X
GALLOO (Bélgica)	X	X	X			X	X	X
SIMS (NL)	X	X	X		X	X	X	X
MMARK (Suíça)	X	X	X	X	X	X	X	X
MEWA (Alemanha)		X	X		X	X	X	
BHS (Alemanha)		X	X		X	X	X	

2.3 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes podem ser de vários tipos, fluorescentes tubulares, de descarga de alta intensidade, compactas e de sódio a baixa pressão. Todas elas estão incluídas na categoria 5 correspondente aos Equipamentos de Iluminação da Directiva de REEE (Decreto-Lei n.º 230/2004).

Nos últimos anos, o consumo deste equipamento tem vindo a aumentar, pois comparativamente às tradicionais lâmpadas incandescentes, apresentam maior

durabilidade e funcionam com uma quantidade de energia inferior (EPA, 2009). Estima-se que em 2011 a Kg de mercúrio (UNU, 2007). O mercúrio é o componente que permite a produção da luz, ou seja, o mercúrio quando ionizado gera luz ultravioleta, que por sua vez promove a excitação do revestimento à base de fósforo que reveste o vidro da lâmpada e simultaneamente é emitida luz visível (Ogilvie, 2004). A quantidade de mercúrio presente difere no tipo de lâmpadas, no entanto, pode variar entre 1,7 a 15 miligramas (EPA, 2009).

Por estas razões todas as lâmpadas pertencentes a esta categoria devem ser sujeitas a formas de tratamento e reciclagem adequadas, de modo a eliminar as emissões de mercúrio para o ambiente e para reaproveitar os restantes materiais que fazem parte da sua constituição, nomeadamente, o vidro, o alumínio e o ferro (EPA, 2009). Segundo UNU (UNU, 2007), um dos tratamentos consiste em extrair o mercúrio numa das extremidades da lâmpada, mantendo o resto do equipamento intacto, outro dos tratamentos, passa pela trituração completa da lâmpada onde o mercúrio é removido por aspiração, neste caso recorre-se a sistemas mecanizados para retirar os restantes constituintes. O mercúrio pode ser removido por meios de filtros de carvão activado. Deste método resulta uma eficiência de 99% na extracção do mercúrio (UNU, 2007). Na Tabela 7 apresentam-se algumas tecnologias criadas para o tratamento de lâmpadas fluorescentes.

Tabela 7 – Tecnologias de tratamento de lâmpadas fluorescentes.

Tecnologia/Produtor	Capacidade	Processo	Outras características
Modèle 2000 (RFL, 2010) Canada	60 000 Lâmpadas por dia	Fragmentação das lâmpadas com remoção do mercúrio após passagem por vários filtros.	Os restantes constituintes das lâmpadas, após tratamento ficam com 95% do valor legal.
Compact Crush e Separation (CCS) (MRT, 2010) Suíça	300 kg por hora o equivalente a 2000 lâmpadas	Fragmentação das lâmpadas com remoção do mercúrio após passagem por filtros de carvão activado.	Emissão de mercúrio máxima de 0,025 mg/m ³ .
Bethlehem Lamp Recycling (Bethlehem, 2010) EUA	Sete toneladas por dia	Libertação do mercúrio através de um sistema de vácuo a elevadas temperaturas.	99% de recuperação do mercúrio.

Do processo de tratamento de lâmpadas fluorescentes resultam como resíduos o vidro livre de contaminantes, os metais, e o mercúrio. O vidro pode ser reutilizado nas indústrias de vidro ou de cerâmica, os metais nas indústrias de sucata e o mercúrio pode ser utilizado na produção de outros compostos, nomeadamente em termómetros (UNU, 2007).

2.4 Monitores e Televisores

O fluxo de monitores e televisões requer um tratamento específico, visto que, o elemento que transmite a imagem, o tubo de raio catódico (CRT), possui na sua constituição, algumas substâncias perigosas, designadamente o chumbo e o bário. O CRT representa cerca de 60% do peso destes equipamentos e é constituído por duas partes, uma constituída por ferro, por cobre e pelo canhão de electrões e outra em vidro, formada pelo cone e pelo vidro frontal (ecrã). O ecrã pesa 2/3 do peso total do CRT e possui na sua constituição bário e cerca de 4% de chumbo, enquanto o cone representa a parcela maior, representando 1/3 do seu peso contendo cerca de 22% a 30% de chumbo (ADEME, 2008).

O tratamento deste componente consiste na extracção do revestimento de fósforo (camada luminescente) que se encontra fixado sobre o ecrã, sendo para isso necessário a remoção dos dois tipos de vidro (Kang, 2005). A respectiva remoção pode ocorrer, através da trituração do CRT ou através da separação dos vidros inteiros. No primeiro caso, o cinescópio é completamente triturado e os vidros e a camada luminescente são separados por via mecânica, técnicas de raio X, ultravioleta-visível. Neste método existe a possibilidade de ocorrer contaminação dos materiais e não há garantias que a camada luminescente seja devidamente removida (UNU, 2007). No segundo caso, a separação dos vidros é concretizada por processos semiautomáticos, os quais actuam na zona de união de ambos os vidros permitindo que o cone e o ecrã saiam inteiros. Os meio semiautomáticos utilizados são: o corte com fio quente de nícrónio, o choque térmico, o corte a laser, o corte com fio de diamante, o corte com disco de diamante e o jacto de água (UNEP, 2007b).

Após a separação dos vidros, a camada luminescente pode ser removida directamente ou por meio de soluções líquidas (UNU, 2007). Pode também ser removida, usando uma escova abrasiva para aspiração sob um sistema de vácuo, neste caso, é extraída o pó de fósforo por meio de um sistema de filtros (UNEP, 2007b). Na Tabela 8, são apresentadas várias tecnologias construídas para o tratamento de tubos de raios catódicos.

Tabela 8 – Tecnologias de tratamento de Tubos de raios Catódicos (adaptado de ADEME, 2008).

Tecnologia/ Produtor	Materiais de entrada	Técnica Empregue	Remoção da camada Luminescente	Capacidade Operacional
CRT Heaven (Reino Unido)	CRT Completo.	Corte por discos de diamante.	Remoção manual.	80 CRT/hora
Proventia (Finlândia)	CRT Completo.	Corte por laser.	Remoção manual.	Desconhecida
Agro Drisa (Alemanha)	CRT Completo.	Separação com aquecimento do fio	Remoção manual	30 CRT/hora
PATE (França)	CRT Completo ou partido.	Trituração do CRT para diminuição granulométrica e triagem óptica. Fricção dos elementos por via seca.	Fricção dos elementos por via seca.	Desconhecida
REGAIN (França)	Mistura de ambos os vidros	Lavagem com líquidos e com sistema vibratório.	Por fricção dos elementos e solução de limpeza.	Uma tonelada por hora

No processamento deste tipo de equipamento são recuperados diversos materiais, onde o vidro, correspondente ao tubo de raio catódico, é o elemento mais abundante, seguindo os metais ferrosos e não ferrosos, entre os quais se destaca o ferro como o metal mais abundante.

Os vidros recuperados, podem ser introduzidos como matéria-prima no fabrico de novos CRT's, e neste caso, é fundamental que a separação de ambos os vidros tenha sido realizada de forma eficiente, de modo a não provocarem alterações no processo de fabrico. Actualmente, devido á introdução de LCD's e ecrãs plasma, esta deixa de ser a forma de reciclagem mais viável, pois criam-se dificuldades para escoar este tipo de material (Kang, 2005). Como alternativa, podem ser encaminhados para processos de

fundição, para a descontaminação do chumbo e do cobre, permitindo posteriormente, a sua utilização na indústria de cerâmica, do vidro, ou da construção civil, na formação de tijolos e betão (EERA, 2008). Para além dos vidros são também valorizáveis os materiais que foram removidos na fase de desmantelamento, cobre, alumínio, ferro e placas electrónicas. Estas últimas permitem ainda a recuperação de materiais valiosos como ouro e a prata. (UNEP, 2007b).

Capítulo II. Métodos e Técnicas de Processamento de REEE

Neste capítulo é feita a caracterização dos processos utilizados na reciclagem e tratamento dos diferentes REEE dos materiais utilizados na Unidade de Tratamento e Valorização de REEE onde foi efectuado o estágio, este é também o principal objectivo do estudo.

3. Matéria de Estudo

Apesar da Directiva de REEE agrupar este tipo de resíduo em 10 categorias, o que se verifica na prática, na maioria dos EM, é que os resíduos são divididos tendo em conta a composição do material e não as categorias constantes na Directiva, pelo que, a tendência é agrupá-los em 5 ou 6 fluxos, sendo eles (UNU, 2007):

- A. Grandes equipamentos (categoria 1 e 10);
- B. Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração (categoria 1);
- C. Pequenos electrodomésticos (categoria 2, 3, 4, 5a, 6, 7, 8 e 9)
- D. Tubos de Raios Catódicos (categoria 3 e 4)
- E. Lâmpadas (categoria 5B)
- F. Equipamentos de tecnologia e informação (em determinados EM).

Tal como a maioria dos Estados Membros, este procedimento também se verifica a nível nacional, pelas entidades gestoras, pelo que, os resíduos são processados na UTV segundo estes critérios. Assim, são estudados 4 fluxos: o Fluxo B – Equipamentos de arrefecimento e refrigeração; o Fluxo C – Pequenos Equipamentos; o Fluxo D – Lâmpadas fluorescentes e de descarga e o Fluxo E – Monitores e Televisores. Excluiu-se o grupo A) e F), pelo facto, de sofrerem o mesmo tipo de processamento que os pequenos Equipamentos (Fluxo C) na entidade em causa.

4. Metodologia Utilizada

De forma a conhecer a actividade geral da empresa, realizou-se um acompanhamento directo de todas as actividades existentes para o processamento de REEE, desde a chegada dos resíduos ao seu processamento final. Isto decorreu durante alguns dias, no período normal de laboração, ou seja, 8 horas diárias. Posteriormente, interpretou-se o processamento dos diferentes fluxos de REEE através da observação pessoal, do diálogo com os colaboradores e de indicações dadas pela respectiva tutora. Por fim, contabilizou-se a produtividade de cada tecnologia de processamento. Para tal concretizaram-se os seguintes passos:

- Seleccionou-se de forma aleatória uma amostra de material para cada fluxo de resíduos;
- Em seguida, efectuou-se a pesagem da amostra à medida que se concretizava o processamento dos resíduos;
- Após o processamento dos respectivos resíduos, quantificaram-se e identificaram-se as fracções obtidas em cada tecnologia.

Diariamente eram registados todos os valores de entrada e de saída de cada material.

Os resíduos chegam às instalações de várias proveniências, nomeadamente, de particulares, de oficinas, de empresas, e ainda através das parcerias com as entidades gestoras de REEE ou entidades particulares. Após a chegada do material, verifica-se o estado de acondicionamento e a necessidade de realizar triagem, isto quando os equipamentos não vêm separados por fluxo. Este é devidamente pesado e encaminhado para a área de armazenamento e quando oportuno, cada resíduo segue para a sua linha de tratamento/valorização. Todos os componentes são registados numa base de dados que está em constante actualização. As fracções obtidas de todos os processamentos existentes são posteriormente encaminhadas para as empresas de reciclagem devidamente licenciadas para o efeito. No caso dos resíduos não sujeitos a qualquer tipo de valorização, estes são colocados em contentores apropriados e posteriormente eliminados.

Os métodos, técnicas de processamento e a respectiva tecnologia, quando existentes, serão apresentados nos subcapítulos seguintes.

4.1 Fluxo B - Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração

Na UTV o equipamento utilizado para a reciclagem de equipamentos de arrefecimento e refrigeração tendo sido adquirido recentemente encontra-se ainda em fase de testes, deste modo, o seu processamento será relatado de forma resumida.

4.1.1 Tecnologia de Processamento

O sistema de reciclagem de equipamentos de arrefecimento e refrigeração, em teste, está preparado para reciclar frigoríficos e arcas congeladoras de várias dimensões com uma previsão de tratamento de 200 equipamentos por dia, sendo necessários quatro operadores para o seu funcionamento. Esta é composta por várias secções, necessitando por isso de uma área alargada para a sua actividade.

- Secção 1: Recuperação de óleos e HCFC's e CFC's dos fluidos refrigerantes e remoção de componentes amovíveis. Esta secção, exterior à tecnologia, é apenas constituída por uma mesa de apoio e um sistema de separação óleo-refrigerante;
- Secção 2: Câmara de trituração em ambiente inerte. A câmara é hermeticamente fechada em atmosfera controlada com azoto;
- Secção 3: Sistema de aspiração de HCFC's e CFC's. Estas substâncias após aspiração são conduzidas para um sistema de filtros de carvão activado, que permitem a saída para o exterior de ar descontaminado;
- Secção 4: Unidade de separação de espuma de poliuretano. A espuma é removida por um sistema de aspiração sendo encaminhada para um briquetadora que promove a compactação deste composto;
- Secção 5: Separação dos diferentes materiais. Esta unidade inclui mesas vibratórias, sistemas magnéticos e densiométricos.

4.1.2 Processamento

O processamento é iniciado com a remoção de todos os componentes amovíveis, ou seja, primeiramente, é cortado o cabo eléctrico e separada a respectiva ficha e em seguida, retiram-se as gavetas, as prateleiras de vidro ou de plástico, placas,

reservatórios de plástico, esferovite, madeira e grelhas. Estes materiais são colocados em recipientes diferenciados.

Segue-se uma das operações mais importante deste processamento, a recuperação da mistura óleo-refrigerante. Os equipamentos, já limpos dos componentes amovíveis, são colocados numa mesa que antecede a passadeira transportadora para o tratamento, e de forma individual, o circuito de refrigeração de cada equipamento é perfurado através de uma pinça perfurante sob sistema de vácuo e simultaneamente é extraída a mistura de óleo-refrigerante, a qual fica armazenada num equipamento de extracção de gás a 90°C.

No equipamento de extracção de gás, a mistura, após algumas horas, é separada através do processo de decantação, o óleo sendo mais denso, desloca-se para o fundo do recipiente, sendo recolhido num bidão, e o gás libertado é aspirado para botijas. Após a remoção da mistura óleo-refrigerante, com auxílio de um alicate de corte é removido o compressor do qual lhe é retirado o óleo. Posteriormente os equipamentos são encaminhados por uma passadeira para uma câmara hermeticamente fechada. Nesta câmara os equipamentos de frio sofrem um processo de trituração através lâminas de corte, ocorrendo a moagem em partículas reduzidas. Ao se processar a respectiva trituração são libertados os CFC's que simultaneamente são aspirados por um sistema de filtros de carvão activado.

Após a trituração, a mistura de materiais, constituída por plástico, metais e poliuretano é encaminhada para um tapete transportador, onde o poliuretano é separado dos restantes materiais através de um sistema de aspiração, sendo depois encaminhada para uma briquetadora. Os componentes ferrosos e o plástico, seguem para mesas vibratórias, onde o ferro é removido por sistemas magnéticos e os restantes metais e o plástico são recolhidos por sistemas densiométricos. Todo o circuito é acompanhado por um sistema de aspiração de poeiras, não pondo em causa o ambiente exterior. Deste tratamento as fracções de materiais obtidas são: plástico de gavetas, ferro, plástico, poliuretano, alumínio, mistura de metais, motor, cabos eléctricos borrachas e freon.

A tecnologia apresentada pela UTV segue a mesma sequência de tratamento mencionada por UNU (UNU, 2007), isto é, inicialmente procede-se desgasificação, depois à trituração dos equipamentos e por fim concretiza-se a separação dos materiais.

No que diz respeito ao processo de recuperação de ODS nos equipamentos de refrigeração, a UTV cumpre o estabelecido no Decreto-Lei n.º 35/2008, efectuando a extracção do gás refrigerante (desgasificação) e a remoção das substâncias contidas nas espumas de isolamento (Decreto-Lei n.º 35/2008).

4.2 Fluxo C – Pequenos Equipamentos

A UTV em consonância com as entidades gestoras reúne várias tipologias de aparelhos eléctricos e electrónicos num único fluxo, o fluxo C (Figura 2). Estes tem em comum o facto de serem na sua maioria de pequenas dimensões. Entre outros, engloba, ferros de engomar, aspiradores, torradeiras, máquinas de café, aparelhos de rádio, ferramentas eléctricas, telefones, etc., isto é, um conjunto de equipamentos pertencentes às categorias 2,3,4,5,6,7,8, e 9 da Directiva de REEE.



Figura 2 – Equipamentos do fluxo C.

4.2.1 Processamento

Apesar da diversidade de equipamentos, é aplicado em todos eles o mesmo tipo de processamento, o desmantelamento manual. Através deste, cumpre-se o objectivo aplicado aos outros fluxos, ou seja, retirar todos os componentes possíveis de valorização e aqueles que possuem elementos perigosos na sua constituição.

A UTV, apesar de possuir um equipamento que permite efectuar a reciclagem destes aparelhos, neste caso, a tecnologia de tratamento de equipamentos de frio, opta por

efectuar a desmontagem manual. Esta opção deve-se à possibilidade de se recuperarem maiores quantidades de elementos sem contaminação e ocorrerem menos desperdícios, sobretudo, de elementos mais valiosos, além disso, para darem entrada na respectiva tecnologia seria necessário efectuar uma pré desmontagem manual para retirar os componentes perigosos, pelo que, em algumas situações o equipamento fica quase na sua totalidade desmantelado, sendo mais vantajoso continuar o processo manual do que encaminhá-los para a devida tecnologia.

O processamento do fluxo engloba essencialmente 4 passos e é realizado com recurso a aparafusadoras electrónicas, alicates de corte e universais, martelos e chaves de parafusos. Os passos concretizados são os seguintes:

- Passo 1: Consiste em cortar o cabo eléctrico e respectiva ficha com um alicate de corte, colocando os materiais em recipientes diferentes;
- Passo 2: Passa por extrair a carcaça exterior do REEE de forma a chegar ao seu interior, habitualmente é concretizado com o desapertar dos parafusos através da aparafusadora;
- Passo 3: Retiram-se todos os constituintes interiores, como os cabos, o motor, a placa electrónica, pilhas, condensadores, borrachas, transformadores, vidro e plástico;
- Passo 4: Separam-se os diferentes metais, cobre, ferro, alumínio, inox, e latão. Por vezes, este passo é também realizado nas sequências anteriores, sempre que seja mais vantajoso para chegar a outros componentes interiores.

Seguidamente é apresentado o desmantelamento de uma torradeira (Figura 3) onde estão representados os passos necessários para a retirada de todos os materiais possíveis de valorização. A torradeira é um dos equipamentos do fluxo C com maior representatividade, é um aparelho de fácil desmontagem o que permite que o seu desmantelamento demore cerca de 2 a 3 minutos. É de referir que, a placa e o ferro retirados encontram-se sensivelmente intactos.

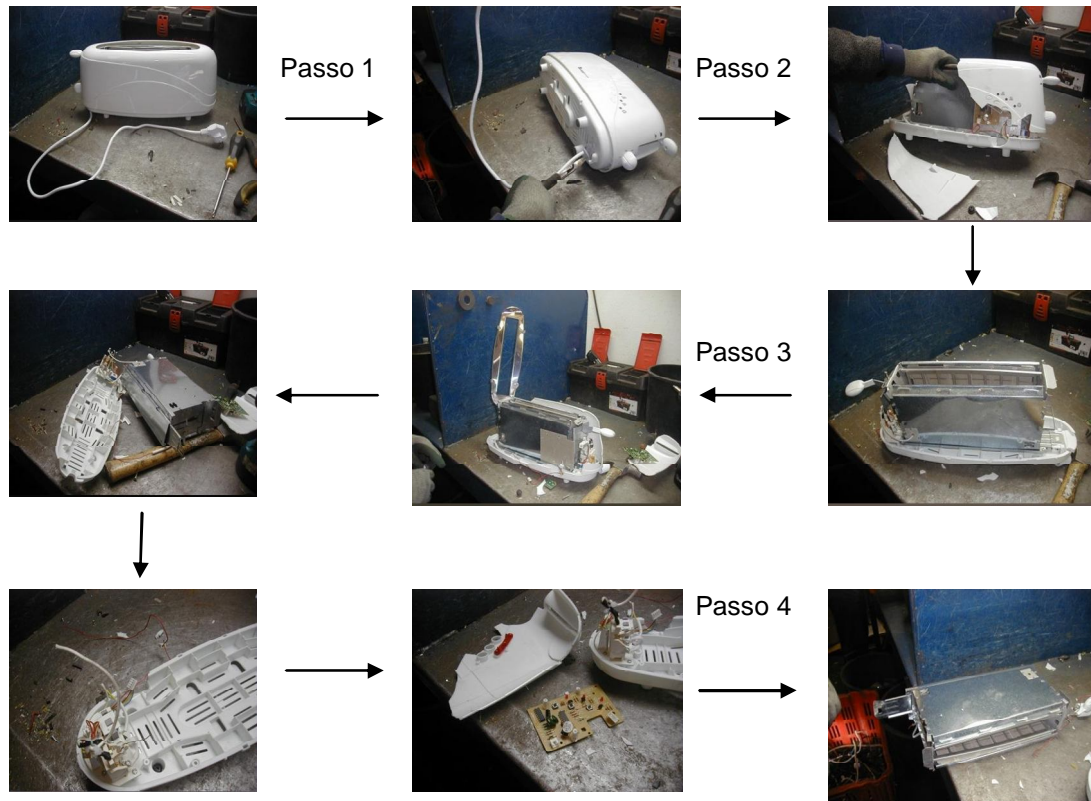


Figura 3 – Desmantelamento de uma torradeira.

Da reciclagem do fluxo C resultam várias fracções de materiais, nomeadamente, ferro, inox, alumínio, mistura de metais, pilhas, baterias, fichas, motores, borrachas, condensadores, latão, vidro, placas, plástico e Rib's. Na Figura 4 encontram-se alguns elementos representados, tais como, os motores, os cabos o alumínio e mistura de metais.



Figura 4 – Fracções obtidas no processamento do fluxo C.

Na reciclagem do fluxo C observou-se que a diversidade de materiais recuperados se deve à variedade de equipamentos que engloba este fluxo. Existem aparelhos de composição mais simples como é o caso, dos secadores de cabelos, jarros eléctricos, torradeiras, rádios, telefones e auscultadores que possuem poucos elementos na sua constituição, apenas contribuem com pequenos motores ou pequenas placas electrónicas. Noutros casos, apesar de serem constituídos com pouca variedade de componentes, estes apresentam um valor económico superior, sobretudo por possuírem, motores ricos em cobre, e neste caso destacam-se os aspiradores, os robots de cozinha, as ferramentas eléctricas e as varinhas mágicas. Outros equipamentos como os ferros de engomar, as tostadeiras, os grelhadores, as máquinas de cozer pão e as frigideiras eléctricas, contribuem com elevadas quantidades de mistura de metais, nomeadamente de alumínio, de inox e de ferro.

Do desmantelamento manual verificou-se que os operadores conseguem obter pequenos elementos sem desperdícios e sem contaminação, pelo facto de serem retirados individualmente, sendo esta técnica muito vantajosa em equipamentos de dimensões pequenas, nomeadamente, raladores, abre-latas, picadoras e moinhos de café. A sequência pelo qual são retirados depende de cada equipamento, sendo baseada na facilidade operacional de cada operador e na importância dos elementos não serem desaproveitados.

Para este fluxo de REEE, o desmantelamento manual é apontado por UNEP (UNEP, 2009) como uma operação essencial, considerando uma maneira eficiente para a recuperação económica e ambiental dos materiais presentes neste tipo de equipamento, sobretudo para a fase inicial do processamento. Além disso, para ADEME (ADEME, 2008), apesar das soluções mecanizadas existentes para a reciclagem do fluxo C, a recuperação manual não deve ser excluída, devendo estar presente na sequência do tratamento.

Contudo, devido à diversidade de equipamentos, constatou-se que o desmantelamento manual acaba por ser uma tarefa demorada, visto que, existe apenas um procedimento generalista para ser aplicado em todo o fluxo e cada equipamento tem as suas particularidades. Isto leva a que seja necessário o operador, sempre que surja um aparelho diferente, procure um novo método por meio de várias tentativas, implicando

maior consumo temporal, para atingir o mesmo objectivo. Uma das possíveis melhorias, poderá passar por unir o desmantelamento manual a tecnologias automatizadas, as quais permitam a separação dos materiais. Algumas delas são mencionadas por UNEP (UNEP 2009), tais como: sistemas de trituração, sistemas magnéticos, triagem óptica, diferenças de densidade, sistemas vibratórios e corrente de *Eddy*.

4.3 Fluxo D – Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes na UTV representam o fluxo D1 e D2 (Figura 5) sendo o fluxo D1, lâmpadas fluorescentes tubulares e D2 lâmpadas de geometria diversa. O fluxo D1 é o mais abundante, representando a maior quantidade de lâmpadas que dão entrada na UTV.



(a)



(b)

Figura 5 – Lâmpadas do fluxo: (a) D2; e (b) D1.

O objectivo deste tratamento passa por recuperar as fracções de vidro e de metal e sobretudo recolher o pó de fósforo rico em mercúrio, para encaminhar para tratamento. Seguidamente, faz-se uma caracterização da tecnologia empregue neste tipo de tratamento e posteriormente explicam-se os procedimentos inerentes à reciclagem do fluxo D.

4.3.1 Tecnologia de Processamento

A tecnologia utilizada é designada por *Sistema Maxi para reciclagem de lâmpadas* (Figura 6) sendo necessário apenas um operador para o seu funcionamento. Aplica-se a

todos os tipos e tamanhos de lâmpadas, inteiras ou pré-trituradas e tem a capacidade de tratar cerca de 38000 lâmpadas num dia de trabalho se estas sofrerem primeiramente uma pré-trituração. Permite obter vidro de pequenas dimensões descontaminado devido ao alto nível de recuperação do pó de fósforo e de mercúrio que ela possui. Esta é composta essencialmente por quatro secções:

- Secção 1: Constituída por uma caixa de controlo eléctrico, a partir do qual todo o sistema pode ser dirigido;
- Secção 2: Unidade dupla de separação, a primeira tritura as lâmpadas que recebe e procede a uma pré-separação do vidro e dos restantes componentes, a segunda completa a separação final dos componentes e produz vidro moído limpo;
- Secção 3: Dois filtros de remoção de poeiras, o qual retira partículas de pó de fósforo do vapor de mercúrio até 5 *microns*. Neste caso o pó é recolhido para um bidão de 210 litros devidamente isolado;
- Secção 4: Um filtro de carvão activado, usado para remover a poeira excepcionalmente fina, abaixo de 5 *microns* e os vapores de mercúrio, antes da libertação para a atmosfera exterior.

Todo o sistema opera sob pressão negativa, de modo a que a poeira e os vapores não escapem para a atmosfera do local de trabalho.



Figura 6 – Tecnologia de tratamento de lâmpadas.

Para além desta tecnologia, a UTV possui dois equipamentos que complementam o processamento das lâmpadas, o triturador de lâmpadas, é utilizado para reduzir o

volume fragmentando as lâmpadas fluorescentes e um processador de lâmpadas de plástico, utilizado no caso de surgirem lâmpadas revestidas em plástico.

4.3.2 Processamento

O processo tem início com a introdução das lâmpadas por parte do operador no carregador de aço inoxidável, situado na parte frontal do primeiro separador, Figura 7. As lâmpadas podem ser introduzidas inteiras ou pré trituradas e neste caso, o carregador pode receber bidões de 210 litros de lâmpadas trituradas.



Figura 7 – Carregador de aço inoxidável.

Quando o carregador se encontra cheio a porta é fechada e é elevado hidraulicamente para ser esvaziado o seu conteúdo no tambor rotativo da primeira unidade de separação. Nesta fase, as lâmpadas inteiras são quebradas e no caso daquelas que sofreram uma pré-trituração são ainda reduzidas a fragmentos mais pequenos. Em ambos os casos, o vidro é descontaminado por centrifugação e o pó de fósforo libertado é aspirado pela pressão negativa do filtro de remoção de poeiras. Continuamente, o vidro é conduzido para o segundo separador através de uma passadeira e os fragmentos de plástico e alumínio, designados por casquilho, são expelidos na extremidade oposta do separador.

No segundo separador, o vidro continua a sofrer trituração, e quando limpo acaba por sair numa das extremidades da unidade de separação. Posteriormente é encaminhado através de uma passadeira para recipientes de armazenamento, Figura 8. Durante este processo o vidro permanece sujeito a descontaminação por centrifugação. Para além do vidro, passaram também para este separador, outras partículas terminais,

nomeadamente, o alumínio e o ferro. Estes elementos são expelidos em extremidades opostas através de diferenças gravíticas e processos electrostáticos.



Figura 8 – Saída do vidro para o local de armazenamento.

Durante todo o processo, o vapor de mercúrio e o pó de fósforo em suspensão, gerado no interior da unidade, são continuamente aspirados, passando o vapor de mercúrio pelos filtros de carvão activado e o pó de fósforo passa pelos filtros de mangas (Figura 9) sendo depositado em bidões, os quais são retirados quando estiverem completos.



Figura 9 – Filtro de carvão activado e filtros de mangas.

Deste tratamento resultam como resíduos, o vidro descontaminado, os metais, os plásticos e o pó de fósforo contaminado com mercúrio, **Figura 1** figura 10. Uma das características que o vidro ganha para além da descontaminação é o facto de perder sua capacidade cortante podendo ser manuseado manualmente sem protecção com o devido cuidado.

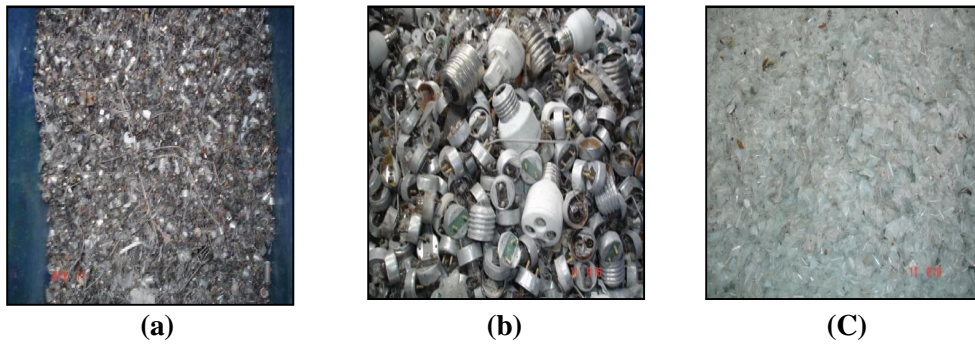


Figura 10 – Materiais resultantes do tratamento de lâmpadas: **(a)** ferro, **(b)** casquilho, **(c)** vidro descontaminado.

Durante o processamento do fluxo D observou-se que a tecnologia escolhida pela UTV é efectivamente de utilização muito simples, apenas é necessário introduzir as lâmpadas no respectivo sistema de alimentação, quer lâmpadas inteiras ou já pré trituradas e o restante processamento é realizado pela própria máquina, pelo que, é necessário apenas um operador para realizar a introdução das lâmpadas. Como as lâmpadas são processadas num circuito totalmente isolado não ocorre o risco de libertação de poeiras para o meio ambiente e para os operadores. Os materiais saem completamente separados o que permite o seu encaminhamento directo para as empresas de valorização ou eliminação, no entanto, no caso do fluxo D2, existe por vezes, uma componente em plástico unida ao metal e nestes casos é necessário proceder à sua separação. De referir ainda que, o filtro de carvão activado está esta preparado para a remoção de pó proveniente de 5 milhões de lâmpadas, o que permite, uma baixa frequência de substituição e consequentemente menores custos. Esta tecnologia permite a utilização de bidões, seja com lâmpadas pré-trituradas, seja com lâmpadas compactas, em ambos os casos há um aumento de produção, com a consequente redução de energia e de tempo por operação. Como desvantagem apenas há a referir o espaço necessário para este tipo de equipamento.

O método de fragmentação das lâmpadas utilizado é um dos métodos mencionados por UNU (UNU, 2007). É também o mais comummente em países como a Suíça (RFL, 2010) e o Canadá (MRT, 2010).

4.4 Fluxo E – Monitores e Televisões

O fluxo E engloba todos os tipos de monitores e televisores, a sua reciclagem é importante porque para além de recuperar vários materiais, permite retirar o cinescópio, que é constituído por elementos perigosos, como o chumbo e o bário. O processamento será relatado seguidamente englobando a descrição da tecnologia

4.4.1 Processamento

O processamento deste fluxo divide-se em duas etapas, a primeira, corresponde ao desmantelamento, sendo uma etapa realizada apenas manualmente e a segunda, corresponde ao tratamento de tubos de raio catódicos, na qual é utilizada tecnologia específica.

Na etapa de desmantelamento, são retirados todos os componentes valiosos e possíveis de valorização, bem como, o tubo de raio catódico ou cinescópio (CRT). É um processo realizado, sobretudo de forma manual, com recurso a ferramentas eléctricas, particularmente aparafusadoras e outras ferramentas manuais como, martelos, alicates, roquetes e chaves de parafusos. O processo de desmantelamento é aplicado quer a monitores quer a televisores e decorre cumprindo-se os seguintes passos, Figura 11:

- Passo 1: Consiste em cortar o cabo eléctrico do equipamento e posteriormente a sua ficha eléctrica, ambos os materiais são colocados em recipientes já identificados;
- Passo 2: Procede-se à extracção dos parafusos que rodeiam a carcaça de plástico, por vezes de madeira, no caso das televisões, esta operação permite a retirada da carcaça e desta forma chegar ao interior do equipamento;
- Passo 3: São retirados todos os cabos eléctricos que compõem o equipamento, a placa electrónica, bem como, um componente constituído por cobre que se encontra unido à parte superior do cinescópio. Após estes procedimentos, é então retirado o cinescópio, o qual é devidamente acondicionado em recipientes adequados para seguirem para a próxima fase de tratamento, antes, são ainda perfurados para prevenir a sua explosão;
- Passo 4: Da placa anteriormente retirada, são ainda removidos alguns metais, como o alumínio e o ferro, motores, transformadores e condensadores. O componente em

cobre é completamente esmagado, separando-se a ferrite e o plástico do elemento mais valioso, o cobre.

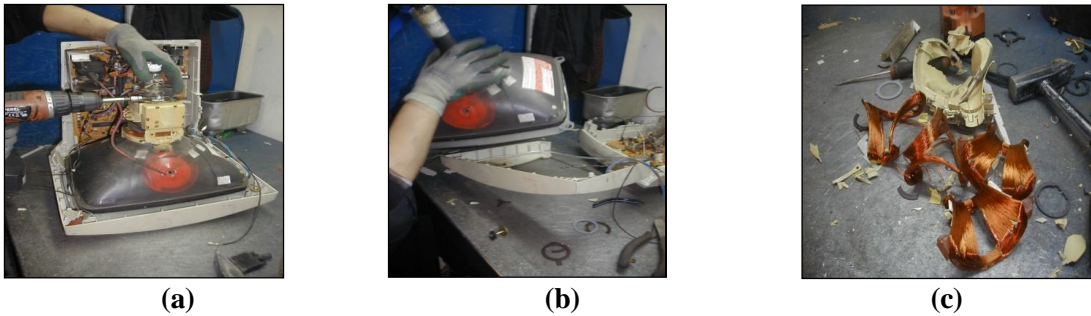


Figura 11 – Desmantelamento de monitores: **(a)** interior do monitor; **(b)** retirada do CRT; e **(c)** componente em cobre já separado.

Da etapa do desmantelamento os materiais obtidos são, os cabos, o cobre, as fichas, o alumínio, o plástico, o ferro, os motores, os transformadores e no caso dos televisores surge, por vezes, a madeira, figura 12. Todas as fracções resultantes deste processo são devidamente acondicionadas para seguirem para outras empresas de valorização, por sua vez, o cinescópico segue para a sua linha de tratamento.



Figura 12 – Fracções resultantes da etapa de desmantelamento.

A segunda etapa de valorização corresponde ao tratamento do CRT, figura 13. A qual tem como objectivo principal a separação dos dois tipos de vidros para remover a camada luminescente que se encontra no ecrã.



Figura 13 – Tubo de raio catódico. Constituído por: (1) Canhão de electrões; (2) Vidro cónico; (3) Cinta metálica; e (4) Vidro frontal (ecrã).

Este processo é iniciado com um pré -tratamento que se baseia na remoção de alguns materiais que envolvem externamente o cinescópio, tais como, borrachas, colas e o canhão de electrões. É ainda removida a cinta metálica que rodeia o tubo de raio catódico na zona de união dos dois vidros, para tal, é utilizado um disco de corte de ferro. Após esta operação, são encaminhados para um equipamento concebido para o tratamento de tubos catódicos, a tecnologia de *Cathode Ray Tubes Treatment* (CRTT), Figura 14.

A unidade de CRTT é um equipamento para tratamento de tubos de raios catódicos com separação de poeiras tóxicas do vidro, neste caso, da camada luminescente, em ambiente controlado. O sistema permite a separação do vidro cónico e o vidro frontal, com conseqüente aspiração da camada luminescente presente na superfície interior do ecrã. É constituída por uma bancada de trabalho dividida em três estações: duas destinadas à separação do vidro e uma central destinada à eliminação da rede de difusão electrónica e posterior purificação das poeiras de aspiração mediante utilização de um tubo apropriado. Todas as estações de trabalho são providas de aspiração ambiental para impedir a libertação de poeiras.



Figura 14 – Tecnologia de tratamento de tubos de raios catódicos.

Após ter decorrido o pré-tratamento o cinescópio é colocado na unidade de CRTT e sujeito aos seguintes procedimentos, Figura 15:

- O cinescópio é envolvido por um fio metálico na zona de união de ambos os vidros;
- Em seguida o respectivo fio é submetido durante alguns segundos a um aquecimento provocado electricamente. A temperatura e o tempo de aquecimento dependem da dimensão do cinescópio e da grossura dos vidros;
- Após o tempo de aquecimento ter terminado, é libertado ar frio de um sistema de ar comprimido, que promove o arrefecimento da zona aquecida. As diferenças de temperatura provocam a separação do vidro frontal do vidro cónico;
- Posteriormente, retira-se a estrutura de ferro contida no interior do tubo de raio catódico de forma a chegar à camada luminescente;
- Por fim, é aspirada a camada luminescente presente na superfície do vidro frontal. Os efluentes resultantes são encaminhados para um acumulador hermeticamente fechado, sendo posteriormente enviado para tratamento específico.

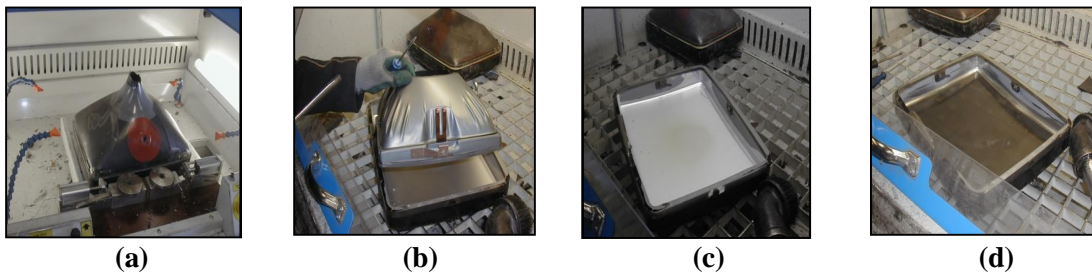


Figura 15 – Tratamento de CRT: **(a)** CRT no interior da máquina; **(b)** retirada do ferro do interior do CRT após a separação dos vidros; **(c)** camada luminescente no vidro frontal; e **(d)** vidro frontal com camada luminescente removida.

A partir deste procedimento é possível processar cerca de 150 cinescópios por dia, o que corresponde ao trabalho de um único operador. Da segunda etapa de processamento as fracções obtidas são: ferro, canhão de electrões, vidro frontal, vidro cónico e camada luminescente (poeiras tóxicas).

A utilização de duas etapas para o processamento do fluxo de monitores e TV's é considerada pela UTV a mais vantajosa, quer na recuperação de materiais quer em termos de tempo. De facto, constatou-se que na etapa do desmantelamento manual, os materiais são obtidos na sua totalidade, uma vez que, os passos estabelecidos permitem

retirar de forma correcta e prioritária cada um dos constituintes dos equipamentos, mesmo elementos de pequenas dimensões são recuperados de forma intacta, além disso, a retirada individual de cada componente e a sua separação imediata em recipientes adequados, leva a que não ocorra contaminação por parte de outras fracções resultantes. Os materiais mais valiosos são também retirados nesta etapa o que permite que não ocorram desperdícios destes compostos. Apesar de ser uma etapa sobretudo manual é concretizada de forma rápida, em que cada equipamento demora em média, 4 a 8 minutos a ser desmantelado dependendo da sua dimensão, o facto de ser aplicado um procedimento para a remoção dos diferentes componentes contribui para a economia do tempo. Este tipo de processamento é o habitualmente utilizado, não existindo referência a outras técnicas, além disso, é também apontado como um processo que apresenta grandes níveis de recuperação das diferentes fracções (UNEP, 2009).

Na segunda etapa é utilizado um método simples e rápido, o facto de serem utilizados os cinescópios inteiros leva que a ambos os vidros sejam separados sem contaminação por parte um do outro, o que permite maior qualidade no processo e facilidades para utilizações futuras. No entanto, em alguns casos, quando o CRT era de grandes dimensões e o vidro mais espesso, verificou-se que existia alguma dificuldade em quebrar a união entre os dois vidros, a qual se resolvia aumentando o tempo de aquecimento e a respectiva temperatura do fio metálico. A existência de aspiração contínua e o meio onde se processa ao tratamento estar devidamente isolado permite que não ocorra contaminação para o meio ambiente e para o operador.

Esta técnica, segundo Kang (Kang, 2005), é também a preferencial para reduzir a contaminação dos dois tipos de vidro, trazendo por isso vários benefícios, nomeadamente, a possibilidade de ambos os vidros serem usados como matérias-primas, no lugar das matérias-primas virgens por um custo igual ou inferior, além disso, como estes vidros apresentam já elevada pureza, o processo de fabrico do CRT, implica menor consumo de energia e consequentemente reduz a quantidade de emissões libertadas, possibilita ainda, que a qualidade do vidro final seja superior.

Capítulo III. Resultados e Discussão

Neste capítulo é feita a apresentação e discussão dos resultados do caso prático estudado. Entre outros, são referidos, os balanços mássicos de entradas e saídas em cada processamento.

1. Fluxo B - Equipamentos de Arrefecimento e Refrigeração

O balanço mássico do fluxo B foi efectuado durante fase de testes com base no estudo de 180 equipamentos de arrefecimento e refrigeração, o que corresponde a um tamanho de amostra necessário para um dia de laboração. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 16.

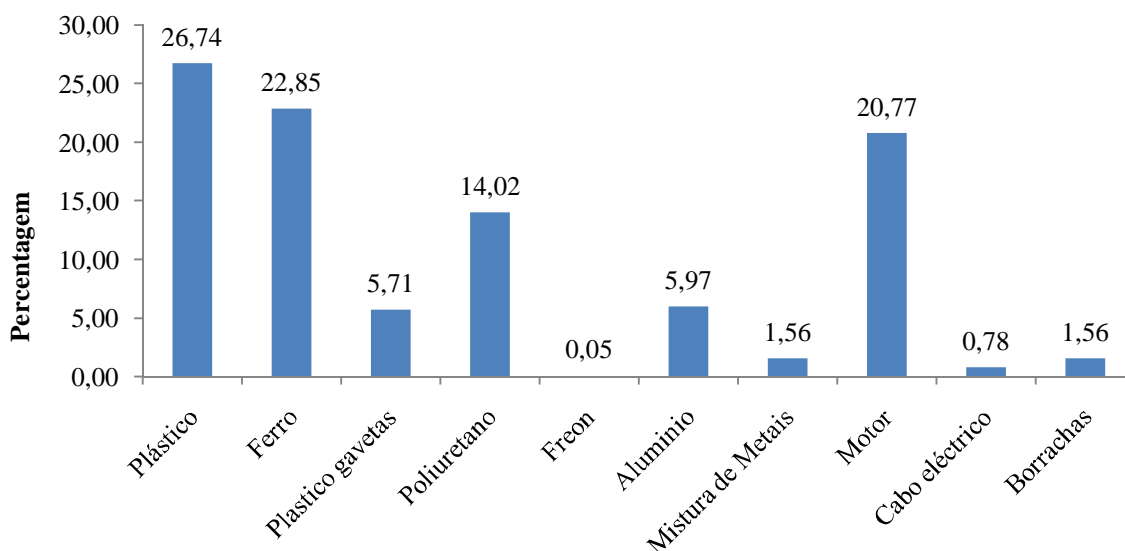


Figura 16 – Fracções obtidas da reciclagem do fluxo B e respectivas quantidades.

De acordo com os resultados obtidos durante a fase de testes do respectivo equipamento de reciclagem, observou-se que o fluxo B é composto maioritariamente por plástico e metais. Verifica-se que o plástico é o componente mais abundante, representando 26,74% do peso total deste tipo de equipamento, seguindo-se o ferro com 22,85% e o elemento menos representativo corresponde ao freon (elemento que engloba os diversos tipos de gases à base clorofluorcarbonetos). Porém, segundo UNEP (UNEP, 2007a), a

fracção mais abundante corresponde aos metais ferrosos e só depois ao plástico, o elemento menos presente na composição do fluxo são os CFCs. É no entanto importante ter em consideração que pelo facto da tecnologia de reciclagem ainda se encontrar em fase de testes, os valores obtidos na UTV não podem ser considerados definitivos.

2. Fluxo C – Pequenos Equipamentos

Para a caracterização das fracções resultantes do processamento do fluxo C estudou-se uma amostra de 6470 Kg, resultante de uma semana de trabalho. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 9 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** .

Tabela 9 – Fracções obtidas da reciclagem do fluxo C e respectivas quantidades e operações no destino final.

Designação das fracções obtidas após tratamento	Quantidade obtida em Kg	%	Operações de eliminação e valorização dos resíduos
Fichas	32	0,49	R3/R4/R5/R13
Madeira	82	1,27	R3/R4/R5/R13
Motores	987	15,26	R13
Espunjas	5,5	0,09	R3/R4/R5/R13
Borrachas	16,6	0,26	D15
Cabos	216	3,34	R3/R4/R5/R13
Placas	751	6,97	R3/R4/R5/R13
Alumínio	150	2,32	R13
Mistura de metais	425	6,57	R3/R4/R5/R13
Condensadores	24	0,37	
Processadores	22	0,34	
Plástico	1351	20,88	R3/R4/R5/R13
Baterias	47	0,73	R13
Inox	103	1,59	R13
Rib'S	58	0,90	D15
Ferro	2358	36,45	R13
Transformadores	49	0,76	R13
Latão	8	0,12	R13
Cobre	15	0,23	R13
Mistura de Cobre	69	1,07	R13

De acordo com os resultados presentes na tabela anterior, observa-se uma grande variedade de materiais, apesar de existirem elementos como as esponjas e o latão em quantidades vestígias. Verifica-se também, que o ferro é o composto que existe em maior quantidade (36,45%) seguido pelo plástico (20,88%) e logo a seguir pelos motores (15,26%). Agrupando todos os metais, isto é, alumínio, inox, latão, cobre, mistura de cobre, mistura de metais e ferro, constata-se que quase metade da composição do fluxo C corresponde a metais ferrosos e não ferrosos (48,35%). De referir que a mistura de cobre se refere a cobre limpo e a cobre contendo algumas partículas de plástico ou ferro que ainda estejam agregadas ao cobre e necessitam de ser retiradas, a mistura de metais, engloba vários metais que se encontram juntos e que dificilmente se conseguem separar. O plástico é também um componente muito abundante, o que seria de esperar, dado que, o exterior da maioria dos equipamentos é constituído por plástico. No que diz respeito aos motores e às placas electrónicas, estes componentes presentes em quase todos os aparelhos, apresentam também valores elevados, embora seja o composto que se apresente em menor quantidade quando comparado com o ferro e plástico.

Apesar dos resultados obtidos por UNU (UNU, 2007), numa amostra de pequenos equipamentos, ser bastante diferentes dos resultados obtidos neste trabalho tal não é relevante. Nesta amostra que engloba aparelhos das categorias 2, 5 e 8 verifica-se que o elemento mais representativo é o plástico (55,51%) seguindo-se os motores (18,21%) e o ferro (16,77), onde se incluem também outros elementos, tais como, o cobre, o alumínio e o inox. No entanto, não é possível concluir sobre estas diferenças, devido ao desconhecimento da representatividade da amostra impossibilitando qualquer comparação com os resultados obtidos.

De referir, que das fracções obtidas apenas, a esponja, os Rib's e as borrachas, sofrem operações de eliminação sendo possivelmente encaminhadas para aterro, as restantes irão ser valorizadas noutras empresas específicas para cada elemento.

3. Fluxo D – Lâmpadas Fluorescentes

Os resultados quantitativos do balanço mássico relativos ao tratamento de lâmpadas foram obtidos durante o período de 5 dias de laboração, a amostra é constituída por 20830 Kg de lâmpadas de fluxo D1 (Tabela 10) e 1316 Kg de lâmpadas de fluxo D2 (Tabela 11).

Tabela 10 – Fracções obtidas da reciclagem de lâmpadas fluorescentes tubulares (fluxo D1) e respectivas quantidades operações no destino final.

Fracções obtidas após tratamento	Quantidade (Kg)	%	Valorização dos resíduos
Vidro	19239	92,35	R13/R3/R4
Fósforo contendo mercúrio	600	2,88	R13
Mistura de metais	991,48	4,76	R3/R4/R5/R13

A análise dos resultados da Tabela 10 permite constatar que, após a reciclagem de lâmpadas do fluxo D1, o pó de fósforo contaminado com mercúrio representa apenas 2,88% do peso total, enquanto que o vidro descontaminado representa 92,3% do peso total da amostra. A mistura de metais (constituída essencialmente por alumínio e ferro) existe numa percentagem do peso total de 4,76%.

A amostra relativa ao fluxo D2 apresenta apenas 1316 Kg dado que estas lâmpadas aparecem com menor frequência e foi processada em cerca de duas horas. Na Tabela 11, encontram-se as fracções obtidas.

Tabela 11 – Fracções obtidas da reciclagem de lâmpadas fluorescentes de geometria diversa (fluxo D2) e respectivas quantidades operações no destino final.

Fracções obtidas após tratamento	Quantidade (Kg)	%	Valorização dos resíduos
Vidro	818	62,16	R13/R3/R4
Fósforo contendo mercúrio	28	2,13	R13
Mistura de metais	470	35,71	R3/R4/R5/R13

A análise aos resultados obtidos permite verificar que mais de metade do peso total (62,16%), continua a ser vidro, seguindo-se pelos metais (36%) e por fim o pó de fósforo contaminado com mercúrio (2,13%).

Da comparação entre os dois tipos de fluxos (D1 e D2) é possível constatar que as fracções seguem a mesma tendência em termos de proporção, isto é, o vidro continua a ser a fracção mais representativa, seguindo-se os metais e por fim o pó de fósforo rico em mercúrio. Contudo, verifica-se uma diminuição significativa da quantidade de vidro do fluxo D1 para o D2, sendo esta diferença compensada com o aumento de metais, uma vez que, estes passaram de um valor médio de 4,8% para 35,71%. Quanto à fracção de pó, ambos os fluxos apresentam valores muito próximos. A Figura 17 ilustra as diferenças encontradas.

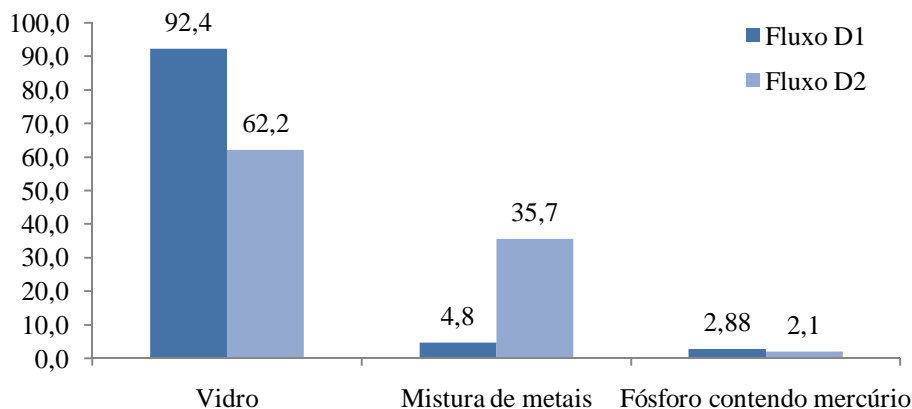


Figura 17 – Comparação da composição do fluxo D1 com o fluxo D2.

Estas diferenças são explicáveis dado que uma lâmpada compacta contém maior quantidade de componentes metálicos e menor proporção de vidro, ao passo que, as lâmpadas fluorescentes tubulares, apenas apresentam um simples terminal de metal, na maioria das vezes em alumínio. Em relação ao pó de fósforo, apesar de a diferença não ser muito significativa, constata-se que as lâmpadas do fluxo D2 são as que apresentam menor valor deste composto, o que está de acordo com o referenciado por EPA (EPA, 2009).

Corroborando com o estudo efectuado, segundo UNU (UNU, 2007) o vidro é o elemento mais abundante, seguido pela mistura de metais e por fim o pó de fósforo contaminado com mercúrio.

As fracções resultantes deste tipo de tratamento são encaminhadas, todas elas para operações de valorização, o que significa que são reaproveitadas na sua totalidade. Os metais ferrosos como o ferro e não ferrosos, como o alumínio e o latão, são conduzidos para empresas de recuperação de metais. O pó de fósforo rico em mercúrio é devidamente acondicionados e encaminhado para empresas que se especializam na recuperação e reciclagem do mercúrio. Quanto ao vidro, encontra-se em fase de estudo o seu aproveitamento para as indústrias de cerâmica e do vidro.

4. Fluxo E – Monitores e Televisões

O fluxo E engloba todos os tipos de monitores e televisores, a sua reciclagem é importante porque para além de recuperar vários materiais, permite retirar o cinescópio, que é constituído por elementos perigosos, nomeadamente o chumbo. Para obter o balanço mássico do fluxo E, definiu-se uma unidade de amostragem com um total 35850 Kg, ou seja, um tamanho de amostra que completasse uma semana de laboração. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura 18.

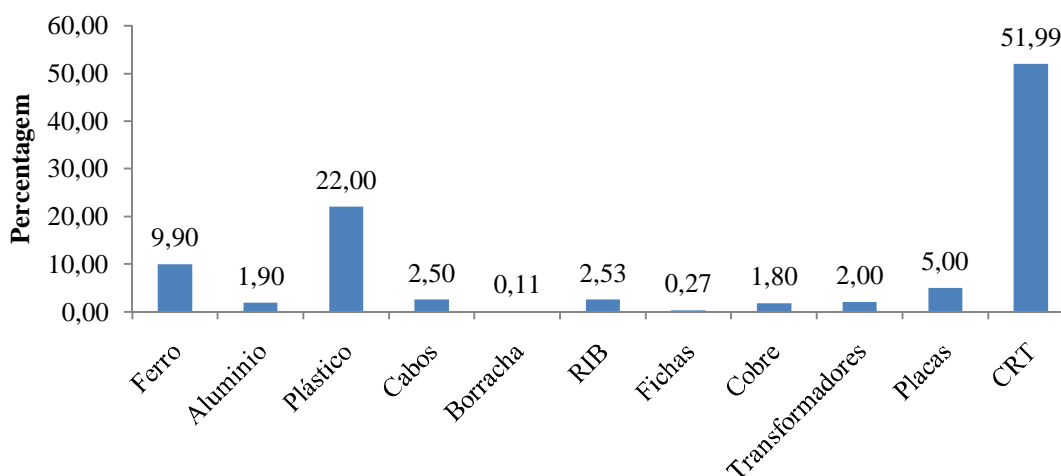


Figura 18 – Diferentes fracções obtidas e respectivos valores quantitativos obtido do processamento do fluxo E.

Dos resultados obtidos, verifica-se que, a fracção mais representativa na composição do fluxo E corresponde ao CRT (52%) seguido pelo plástico (22,0%) e pelo ferro (9,90%).

Comparativamente às composições encontradas em estudos de referência, relativamente ao fluxo E, constata-se que as fracções mais representativas, são também, as do CRT, do ferro e do plástico. Os valores obtidos são semelhantes aos referenciados UNEP (UNEP, 2007a) em que o CRT apresenta um valor de 53%, o plástico de 26% e o ferro de 12%, mas um pouco diferentes dos obtidos por Kang (KANG, 2005), a percentagem de CRT e de plástico foi de 47,6% e 14,7%, respectivamente. Em relação às restantes fracções são pouco detalhadas nos estudos referidos, no entanto encontra-se um valor para as placas electrónicas (5,0%) muito próximo do obtido por Kang (KANG, 2005), 5,6%.

Relativamente ao CRT, verificou-se que o maior componente em peso é o vidro frontal com uma percentagem de 66% e o vidro cónico com 21,32%. A seguir à componente em vidro a fracção com valores de percentagem mais elevados é o ferro (11,24%) e por último o canhão de electrões (0,72%). Relativamente à camada luminescente, não foi possível contabilizar a sua proporção, uma vez que vai directamente para um depósito hermeticamente fechado o qual só é retirado quando existe a necessidade de encaminhar o resíduo para tratamento adequado. No entanto, em função dos resultados obtidos para os restantes constituintes pode-se dizer que será um componente com uma proporção muito pequena no peso total do Cinescópio.

Quanto a estes resultados, a principal observação a reter, é que o vidro frontal é o elemento mais abundante da composição do cinescópio, o que corrobora com o referido por ADEME (ADEME, 2008), em que menciona que o vidro frontal ocupa 2/3 do peso total do CRT. Todas as fracções obtidas neste tipo de tratamento do fluxo E, com excepção da borracha e dos Rib's, encontram-se em condições para sofrerem novas operações de valorização.

Capítulo IV. Conclusões Gerais

O estudo sobre as técnicas de processamento de REEE permitiu verificar que este tema é pouco estudado verificando-se assim alguma carência de bibliografia sobre o assunto. No entanto, este trabalho permitiu retirar algumas conclusões gerais acerca destas técnicas de processamento:

1. O processamento dos EEE em fim de vida baseia-se sobretudo em dois princípios fundamentais: na remoção de componentes perigosos e na recuperação de materiais valiosos ou reutilizáveis. Consequentemente resulta numa diminuição dos impactos ambientais e numa minimização do recurso a matérias-primas.
2. O processamento de REEE é concretizado englobando essencialmente duas operações: o desmantelamento manual e o uso de tecnologias mecanizadas.

O desmantelamento manual permite que os materiais sejam retirados na sua totalidade e separadamente, mesmo elementos de pequenas dimensões são recuperados de forma intacta. A retirada individual de cada componente e a sua colocação imediata em recipientes adequados leva a que não ocorra contaminação por parte de outras fracções resultantes. Além disso, em alguns fluxos, nomeadamente no fluxo E e C, existem procedimentos internos que definem a forma correcta e prioritária da retirada de cada componente, o que permite que não ocorram desperdícios destes compostos. Esta operação é aplicada no fluxo E, no fluxo B e no fluxo C. No fluxo E, é utilizada para remover todos os componentes de forma a chegar ao CRT, o único elemento a ser encaminhado para uma linha de tratamento com tecnologia mecanizada. No fluxo B, o desmantelamento é usado para preparar o equipamento para a fase mecanizada, retirando todos os componentes amovíveis e o líquido de refrigeração. No fluxo C, é a única operação realizada.

As tecnologias mecanizadas são usadas no fluxo E, para a remoção da camada fluorescente do CRT, no fluxo D, para a reciclagem completa das lâmpadas fluorescentes e no fluxo B, para a reciclagem integral dos equipamentos de frio após a remoção dos constituintes amovíveis, do compressor e do circuito de refrigeração. O uso destas tecnologias permite maior rapidez no processo de reciclagem otimizando a

produtividade. São operadas de forma simples e são constituídas por sistemas de segurança que eliminam os riscos para o ambiente e para a saúde dos operadores, no entanto, são tecnologias de valor económico elevado e que necessitam de grandes áreas para a sua instalação, como é o caso da tecnologia do fluxo B e D.

3. O processamento dos quatro fluxos estudados de REEE resultou numa elevada diversidade e complexidade de materiais, nomeadamente, motores, cabos eléctricos, placas electrónicas, metais, plásticos, vidro, condensadores, baterias e processadores.

3.1. No caso dos equipamentos do fluxo E, os elementos mais abundantes são o plástico e o ferro com valores de 22% e 9,9%, respectivamente.

3.2. No caso do fluxo das lâmpadas fluorescentes, quer para o fluxo D1 (lâmpadas fluorescentes tubulares) quer para o fluxo D2 (lâmpadas de geometria diversa), tal como seria de esperar, o vidro é a fracção mais representativa (92,4% para o fluxo D1 e 62,2%, para o fluxo D2). A diferença de valores entre o fluxo D1 e D2 é devido à diferente composição das lâmpadas.

3.3. No fluxo C o ferro com 36,45% é o composto que existe em maior quantidade, sendo seguido pelo plástico com 20,88%.

3.4. No caso fluxo B destaca-se o plástico como a fracção mais representativa, atingindo 26,74% do peso total.

4. De um modo geral, na composição global dos REEE, os metais, os plásticos e o vidro são os componentes mais abundantes tal como referenciado por Widmer *et al.* (Widmer *et al.*, 2005).

5. Nos processos utilizados para a reciclagem e tratamento dos REEE, as fracções obtidas, têm na sua maioria, a possibilidade de serem encaminhadas para novos processos de reciclagem e valorização, havendo apenas alguns elementos sujeitos a processos de eliminação, nomeadamente as esponjas e os Rib's, No caso das substâncias perigosas após serem retiradas dos respectivos equipamentos são encaminhadas para tratamento específico noutras unidades de tratamento e valorização ou eliminação.

Este trabalho, além de ter permitido compreender melhor as tecnologias de processamento presentes na REEE, permitiu igualmente verificar a importante

necessidade de as uniformizar a nível Europeu sejam estas manuais ou mecanizadas.

Como tal, considera-se fundamental:

- uma investigação que englobe parâmetros de produção, taxas de reciclagem, e fracções de componentes obtidas das tecnologias existentes, para estabelecer a metodologia mais adequada a aplicar a cada fluxo e a melhor tecnologia de reciclagem ou valorização;
- devido à grande diversidade de materiais que resultam do processamento de REEE, continuam a existir dificuldades em escoar determinados elementos, pelo que é importante continuar a investigar sobre o eco-design dos EEE, nomeadamente, sobre a concepção e o tipo de matérias-primas utilizadas, de forma que todos os elementos em fim de vida sejam passíveis de reutilização ou reciclagem ou valorização.

Bibliografia

ADEME (2008); *Etat de l'art des technologies de recyclage de certains DEEE : PAM, tubes cathodiques, cartes et composants électroniques –Rapport Final*; Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie; Novembro 2008.

ADELMAN (2010); *Refrigeration devices recycling system*; obtido em Novembro de 2010 de www.adelmann.de/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=55&lang=en.

Amb3E (2009); *Relatório de Contas 2009*; Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos.

ANREEE (2009); *Portugal 2009, Dados de mercado de equipamentos Eléctricos e Electrónicos*; Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos; Lisboa.

ANREEE (2010); *Missão e Atribuições*; Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.anreee.pt/missao>.

ANREEE (2011); *Dados do mercado em Portugal 2010*; Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos; Lisboa; Maio 2011.

APA (2011a); *Resíduos de Equipamento Eléctrico e electrónico*; Agência Portuguesa do Ambiente e do Ordenamento do Território; obtido em Janeiro 2011 de <http://www.apambiente.pt/politicasambiente/Residuos/fluxresiduos/REEE/Paginas/default.aspx>.

APA (2011b); *Ecovalor*; Agência Portuguesa do Ambiente Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território; obtido em Janeiro de 2011 de <http://www.apambiente.pt/politicasambiente/Residuos/fluxresiduos/ecovalor/Paginas/default.aspx>.

BETHLEHEM (2010); *Bethlehem Lamp Recycling* ; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.bethlehemlamprecycling.com/why-choose.html>.

BOGAERT, Sarah; ACOLEYEN, M.; TOMME, I.; SMET, L.; FLEET, D.; SALADO, R. (2008); *Study on RoHS and WEEE Directives N.º 30-CE-0095296/00-09 – Final Report*; European Commission; DG Enterprise and industry; Arcadis Ecolas and RPA; March 2008.

CANADA (2010); *Recyclage de réfrigérateur et congélateur domestique*; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.recyclageeco.com/recyclage-frigo-refrigerateur-electromenager.html>.

CANNEMAN, Willem (2010); *Parliament's environment committee adopts Florenz report on the WEEE recast*; Eye on WEEE; WEEForum; Junho 2010.

CE (2008); *Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE)- (Reformulação)*, Comissão das Comunidades Europeias; Bruxelas, 3.12.2008; COM (2008) 810 final; 2008/0241 (COD).

CE (2000); *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the council on WEEE & a Proposal for a Directive of the European Parliament and of the council on the restriction of use certain hazardous substances in EEE*; Comissão Europeia; COM 347.

CHANCEREL, Perrine; MESKERS, Christina; HAGELUKEN, Christian; ROTTER, Vera Susanne (2009); *Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment*; Journal of Industrial Ecology; Volume 13 Number 5.

CUI, J.; FORSSBERG, E. (2003); *Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review*; Journal of Hazardous Materials; 99, 243-263.

Decreto-Lei n.º 230/2004 de 10 de Dezembro, estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE); Diário da República; I Série, 288, 7050-7062.

Decreto-lei n.º 152/2005 de 31 de Agosto; Regula a aplicação na ordem jurídica interna do artigo 16.º e do n.º 1 do artigo 17.º do Regulamento (CE) n.º 2037/2000, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Junho, relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono; Diário da República; I Série – A n.º 167.

Decreto-lei n.º 35/2008 de 27 de Fevereiro; Diário da República n.º 41; Série I de 2008-02-27; Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Despacho conjunto n.º 353/2006. Diário da República n.º 82; Série II de 27 de Abril de 2006; Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação.

Despacho conjunto n.º 354/2006; Diário da República n.º 82; Série II de 27 de Abril de 2006; Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação.

Directiva n.º 2002/95/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos; Jornal Oficial da União Europeia; L37, 19-23.

Directiva n.º 2002/96/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE); Jornal Oficial da União Europeia; L37, 24-39.

Directiva n.º 2003/108/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Dezembro de 2003, que altera a Directiva 2002/96/CE relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE); Jornal Oficial da União Europeia; L345, 106.

EEA (2003); *Waste from electrical and electronic equipment – quantities, dangerous substances and treatment methods*; European Topic Centre on Resource and Waste Management; European Environment Agency; Copenhagen.

EERA (2008); *Position paper on CRT treatment*; European Electronics Recyclers Association; Julho 2008.

ELDAN (2010); *Refrigerator Recycling*; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.eldan-recycling.com/default.aspx?pageId=16>.

EPA (2009); *Fluorescent Lamps Recycling*; Environmental Protection Agency; EPA530-R-09-11; United States; Fevereiro 2009.

ERP (2010); *Scope Country. European Recycling Platform*; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.erp-portugal.pt/categorias>.

EWASTE (2010); *Hazardous Substances in e-Waste. Swiss e-waste guide*; Obtido em Outubro de 2010 de http://ewasteguide.info/hazardous_substances.

FAHEY; D.W. (2006); *Twenty Questions and Answers about the ozone layer*; Update 2006.

ITR (2010); *Il processo di trasformazione e triturazione I.T.R.*; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.itrimpianti.com/ita/--impianti-di-recupero-frigoriferi-fuori-uso-318.asp?idPage=281&id=318>.

KANG, Hai-Yong; SCHOENUNG, Julie M. (2005); *Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options*; Resources, Conservation and Recycling 45 (2005) 368–400; Elsevier.

LER (2004); Portaria n.º 209/2004 de 2004-03-03 Lista Europeia de Resíduos; Diário da República n.º 53; Série I-B.

MEWA, (2010); *Mewa recycling*; obtido em Novembro de 2010 de http://www.mewarecycling.de/fileadmin/user_upload/PDF/Prospekte/MeWa_Produktbroschuer_e_D_Web.pdf.

MRT (2010) *Compact Crush & Separation Plant*; obtido em Novembro de 2010 de http://www.mrtsystem.com/images/pagepics/CCS_CS.pdf.

NORDBRAND, Sara (2009); *Out of Control: E-waste trade flows from the EU to developing countries*; SwedWatch; April 2009.

OGILVIE, S.H. (2004); *WEEE Hazardous waste* ;Copyright Queen's Printer and Controller of HMSO, ED 51136,AEAT/ENV/R/1688; Issue I; 2004.

Regulamento (CE) n.º 2037/2000 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Junho de 2000, relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono; Jornal Oficial das Comunidades Europeias; L 244, 1-24.

RFL Canada (2010); *Traitement des lampes*; obtido em Novembro de 2010 de <http://www.recyclagedelampesfluorescentes.com/services.htm>.

UNU (2007); *2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Final Report*; United Nations University; Contract No:07010401/2006/442493/ETU/G4, ENV.G.4/ETU/2006/0032; Bonn, Germany; 5 August 2007.

UNEP (2007a); *E-waste Volume I: Inventory Assessment Manual*; United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga; 2007.

UNEP (2007b); *E-waste Volume II: Inventory Assessment Manual*; United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga; 2007.

UNEP (2009); *Recycling – From E-Waste to Resources; Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies*; United Nations Environment Programme & United Nations University; Julho 2009.

WEEE Forum (2010a); 2008. *Key Figures on quantities of electrical and electronic equipment put on the market, of quantities of WEEE collected, and on costs related to WEEE management electronic*; European Association of Electrical and Electronic Waste Take Back Systems; Janeiro 2010.

WEEE Forum (2010b); 2009 *Key Figures on quantities of electrical and electronic equipment put on the market, of quantities of WEEE collected, and on costs related to WEEE management*; European Association of Electrical and Electronic Waste Take Back Systems ; Setembro 2010.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; & BONI, H. (2005); *Global perspectives on e-waste*; Environmental Impact Assessment Review ; 25, 436– 458.

ZONNEVELD, Norbert (2007); *Towards sustainable WEEE recycling*; Position paper Proposals for the revision of the relevant provisions of the WEEE Directive (2002/96/EC) 2007; European Electronic Recyclers Association.