



Ana Rita Salvado Barros

**MODELOS DE APOIO À GESTÃO DE RESÍDUOS DE
EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELECTRÓNICOS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Prof. Doutora Ana Paula Barroso

Co-orientadora: Prof. Doutora Virgínia Machado

Júri:

Presidente: Professor Doutor Virgílio Cruz Machado

Arguente: Professora Doutora Maria da Graça Martinho

Vogal: Professora Doutora Ana Paula Barroso



Setembro 2011

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas que, de uma forma directa ou indirecta, contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Professora Doutora Ana Paula Barroso e à Professora Doutora Virgínia Machado pela ajuda na selecção do tema da dissertação e por todo o apoio e orientação na realização deste trabalho.

Posteriormente, gostaria de agradecer aos meus colegas, que contribuíram para a minha aprendizagem e formação ao longo da minha vida académica. Um especial agradecimento aos meus colegas de laboratório, por me terem aturado e encorajado no período de realização da dissertação.

A todos os meus amigos que, de alguma forma, me apoiaram nesta fase da minha vida. Um agradecimento especial à Raquel pelo incentivo e pela contribuição com troca de opiniões e críticas construtivas.

Finalmente, agradeço às minhas pessoas, à minha mãe e ao meu namorado, por todo o apoio e paciência que demonstram sempre, em todas as ocasiões.

RESUMO

Com a introdução de novas leis no âmbito da gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos são esperadas mudanças significativas nesta área. Na gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos vários critérios de decisão devem ser considerados.

O principal objectivo deste estudo é apoiar a gestão de um Sistema de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos, através do desenvolvimento de dois modelos de gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos entre Centros de Recepção e Unidades de Tratamento e Valorização, duas entidades do Sistema de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos.

Os modelos desenvolvidos têm por base o mesmo modelo conceptual, diferenciando apenas na função objectivo. Pretendeu-se estudar dois critérios de gestão, um critério económico, relativo a um modelo de minimização do custo de gestão e um critério ambiental, associado a um modelo de minimização da distância percorrida no transporte dos resíduos. Os modelos seleccionam o cenário de transporte a adoptar, ou seja, definem os tipos de fluxo de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos a combinar no armazenamento e transporte, e as Unidades de Tratamento e Valorização de destino para cada combinação de tipos de fluxo, de acordo com as respectivas funções objectivo.

A análise de resultados permitiu concluir que o modelo de minimização do custo resultou numa diminuição do custo anual de gestão e num aumento da distância percorrida no transporte de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos entre os Centros de Recepção e as Unidades de Tratamento e Valorização, relativamente ao modelo de gestão actualmente praticado. O modelo de minimização da distância conduziu a uma diminuição bastante significativa da distância percorrida e a um aumento do custo de gestão. A selecção do modelo a adoptar irá depender da política de gestão considerada.

ABSTRACT

Owing to new legal requirements, essential changes in the field of Waste Electrical and Electronic Equipment management are expected. Therefore several deciding factors must be considered.

The main purpose of this study is to contribute to an Integrated Waste Electrical and Electronic Equipment Management System by presenting two models to help in the management of Waste Electrical and Electronic Equipment between Sorting Centres and Treatment and Recovery Centres, two entities of Integrated Waste Electrical and Electronic Equipment Management System.

The proposed models have the same conceptual basis, only differing in the objective function. The intention is to study two different management criteria, an economic criterion related with the management cost minimizing model and an environmental criterion associated with a distance minimizing model. The models select the transportation scenario to be taken, i.e. define the Waste Electrical and Electronic Equipment flow types to store and transport together, and the destination Treatment and Recovery Centres for each set of flow types, according to their objective functions.

The resulted analysis indicated that management cost minimizing model lead to a reduction in the annual management cost and an increase in distance travelled in transporting Waste Electrical and Electronic Equipment between Sorting Centres and Treatment and Recovery Centre, regarding the current management model. Distance minimizing model resulted in a very significant decrease of the distance travelled and an increase in management cost. The selection of the model to be adopted will depend on the management policy applied.

ACRÓNIMOS

ANREEE	Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ARF	<i>Advance Recycling Fee</i>
CA	Cadeia de Abastecimento
CE	Comissão Europeia
CFC	Clorofluorcarboneto
CO₂	Dióxido de carbono
CR	Centro de Recepção
CRT	<i>Cathode Ray Tube</i>
EEE	Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
EPR	<i>Extended Producer Responsibility</i>
ERP	<i>European Recycling Platform</i>
EUA	Estados Unidos da América
GCA	Gestão da Cadeia de Abastecimento
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
MC	Minimização do Custo
MD	Minimização da Distância
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PRO	<i>Producers Responsibility Organisation</i>
REEE	Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
RoHS	<i>Restriction of the use of certain Hazardous Substances</i>
SIGREEE	Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
SLC	<i>Symbiotic Logistics Concept</i>
TPD	<i>Third Party Demanufacturing</i>
UE	União Europeia
UTV	Unidade de Tratamento e Valorização

VRL *Virtual Reverse Logistics*
VRP *Vehicle Routing Problem*

SÍMBOLOS

$c_{contentor}$	Custo anual de aluguer de um contentor.
$n_{contentor}^c$	Número de contentores que permanecem num CR, durante o período de um ano, considerando um cenário (c).
$C_{Contentor}^c$	Custo de permanência dos contentores num CR, considerando um cenário (c).
$Q^{f,e}$	Quantidade (peso) de REEE de um tipo de fluxo (f) proveniente de um CR (CR_e).
k^f	Capacidade do veículo, em peso, para transportar REEE de um tipo de fluxo (f).
F^e	Número de tipos de fluxo associados a uma combinação de tipos de fluxo proveniente de um CR (CR_e).
$n_{transporte}^e$	Número médio de transportes realizados, durante o período de um ano, entre um CR (CR_e) e a uma UTV.
$d^{e,u}$	Distância, em quilómetros, entre um CR (CR_e) de origem e uma UTV (UTV_u).
$c_{transporte}$	Custo de transporte por quilómetro percorrido.
$C_{Transporte}^{e,u}$	Custo de transporte dos REEE entre um CR (CR_e) e uma UTV (UTV_u).
$c_{tratamento}^{f,u}$	Custo de tratamento, por tonelada, de um tipo de fluxo (f) numa UTV (UTV_u).
$C_{Tratamento}^{e,u}$	Custo de tratamento dos REEE, provenientes de um CR (CR_e), numa UTV (UTV_u).
$C_{Transporte}^{e,c}$	Custo de transporte dos REEE entre um CR (CR_e) e a(s) UTV(s) de destino, considerando um cenário (c).
$C_{Tratamento}^{e,c}$	Custo de tratamento dos REEE nas UTV de destino, considerando um cenário (c).
$C_{Gestão}^{e,c}$	Custo de gestão de REEE, num CR (CR_e), considerando um cenário (c).
U^c	Número de UTV de destino associadas a um cenário (c).
$D^{e,u}$	Distância percorrida entre um CR (CR_e) e uma (UTV_u) durante o período de um ano.
$D^{e,c}$	Distância anual percorrida entre um CR (CR_e) e as UTV de destino considerando um cenário (c).
$\Delta C_{Gestão}$	Varição percentual do custo anual de gestão relativamente ao modelo de gestão actualmente praticado.
$C_{Gestão}^A$	Custo de gestão anual relativo ao modelo actual.
$C_{Gestão}^M$	Custo de gestão anual resultante do modelo proposto.
ΔD	Varição percentual da distância média anual percorrida relativamente ao modelo actual.
D^A	Distância percorrida anualmente considerando o modelo actual.
D^M	Distância média percorrida por ano resultante do modelo proposto.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

Capítulo 1: Introdução	1
1.1. Âmbito	3
1.2. Objectivos.....	4
1.3. Metodologia.....	5
1.4. Estrutura da Dissertação.....	6
Capítulo 2: Revisão Bibliográfica	9
2.1. Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	11
2.2. Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	12
2.2.1. Panorama Internacional	13
2.2.2. Panorama Nacional	15
2.3. Gestão da Cadeia de Abastecimento no Sentido Inverso	17
2.3.1. Gestão da Cadeia de Abastecimento.....	17
2.3.2. Logística	18
2.3.3. Logística Inversa	20
2.4. Gestão Logística de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	22
2.4.1. <i>Framework</i> de Análise Bibliográfica	23
2.4.2. Actividades Logísticas	30
2.4.3. Modelos de Gestão de Transporte de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	33
2.4.4. Critérios na Tomada de Decisão.....	35
Capítulo 3: Caso de Estudo	37
3.1. Entidade Gestora.....	39
3.1.1. Fluxos Operacionais de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos.	39

3.2.	Sistema Logístico de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	42
3.3.	Subsistema Centro de Recepção/Unidade de Tratamento e Valorização.....	44
3.3.1.	Evolução	44
3.3.2.	Funcionamento.....	47
Capítulo 4: Modelos de Apoio à Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos entre Centros de Recepção e Unidades de Tratamento e Valorização.....		53
4.1.	Modelos Preliminares	55
4.1.1.	Modelo Actual.....	55
4.1.2.	Modelo 1: Modelo de gestão conjunta de 2 Centros de Recepção e 1 Unidade de Tratamento e Valorização	56
4.1.3.	Modelo 2: Definição de rotas incluindo vários Centros de Recepção e 1 Unidade de Tratamento e Valorização	57
4.1.4.	Modelos 3 e 4: Modelos de apoio à gestão mono/multifluxo de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	59
4.1.5.	Seleção do modelo de gestão	61
4.2.	Metodologia de Modelação	62
4.3.	Concepção do Modelo de Minimização do Custo.....	64
4.3.1.	Desenvolvimento do Modelo	65
4.3.2.	<i>Inputs e Outputs</i> do Modelo	71
4.4.	Especificações do Modelo de Minimização do Custo	72
4.4.1.	Centros de Recepção.....	72
4.4.2.	Unidades de Tratamento e Valorização	72
4.4.3.	Rota Centro de Recepção / Unidade de Tratamento e Valorização	72
4.4.4.	Cenários	75
4.5.	Implementação do Modelo de Minimização do Custo	77
4.6.	Verificação e Validação do Modelo de Minimização do Custo	79
4.7.	Aplicação do Modelo de Minimização do Custo	80

4.8.	Modelo de Minimização da Distância.....	82
4.8.1.	Desenvolvimento.....	82
4.8.2.	Implementação.....	85
4.8.3.	Verificação e Validação.....	86
4.8.4.	Aplicação.....	87
Capítulo 5: Análise de Resultados		89
5.1.	Modelo Actual.....	91
5.1.	Modelo de Minimização do Custo	92
5.2.	Modelo de Minimização da Distância.....	98
5.3.	Análise Comparativa	103
Capítulo 6: Conclusões		109
6.1.	Considerações Finais.....	111
6.2.	Desenvolvimentos Futuros.....	113
Bibliografia.....		115
Anexos.....		125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Metodologia.....	5
Figura 2.1: Fluxo directo e inverso da CA.....	22
Figura 2.2: Número de artigos publicados no período de 2001 a 2010.....	23
Figura 2.3: <i>Framework</i> de análise bibliográfica.....	24
Figura 2.4: Distribuição de artigos por tipo de artigo.....	24
Figura 2.5: Distribuição de artigos por tipo de REEE.....	25
Figura 2.6: Distribuição dos artigos por tipologia da rede logística.....	26
Figura 2.7: Distribuição dos artigos por âmbito geográfico.....	27
Figura 2.8: Distribuição de artigos por actividade logística em foco.....	27
Figura 2.9: Distribuição de artigos por tipo de modelo desenvolvido.....	28
Figura 2.10: Distribuição de artigos por critério de gestão.....	29
Figura 3.1: Quantidade (peso) de REEE enviada anualmente para as UTV, por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.....	41
Figura 3.2: Quantidade (peso total) de REEE enviada anualmente para as UTV, por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.....	42
Figura 3.3: Sistema logístico de REEE.....	43
Figura 3.4: Localização das UTV e de alguns CR.....	44
Figura 3.5: Número de CR e UTV em Portugal Continental, entre 2007 e 2009.....	45
Figura 3.6: Quantidade (peso total) de REEE mensalmente recebida nos CR, entre 2007 e 2009.....	45
Figura 3.7: Quantidade (peso total) de REEE recebida mensalmente nos CR, por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.....	46
Figura 3.8: Quantidade (peso total) de REEE enviada anualmente para as UTV, entre 2007 e 2009.....	46
Figura 3.9: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009.....	47

Figura 3.10: Funcionamento do subsistema CR/UTV.....	48
Figura 4.1: Processo de transporte de REEE dos CR para as UTV.....	56
Figura 4.2: Modelo de gestão conjunta de 2 CR e 1 UTV.	57
Figura 4.3: Possíveis rotas considerando vários CR e 1 UTV.....	58
Figura 4.4: Caracterização do cenário AC/BE.	61
Figura 4.5: Metodologia de modelação.	63
Figura 4.6: Modelo conceptual genérico.	64
Figura 4.7: Modelo conceptual.	66
Figura 4.8: Subrotina 'Modelo' MC.....	67
Figura 4.9: <i>Inputs e outputs</i> do modelo.....	71
Figura 4.10: Histograma da quantidade de fluxo E proveniente do CR ₃ , por transporte monofluxo.....	74
Figura 4.11: Histograma da quantidade de fluxo E proveniente do CR ₁₄ , por transporte monofluxo.....	74
Figura 4.12: Componentes do modelo.....	77
Figura 4.13: Subrotina 'Modelo' MD.....	83
Figura 5.1: Distribuição do custo de gestão pelos custos parciais, modelo actual (2009).	91
Figura 5.2: Distribuição dos CR pelos cenários de transporte adoptadas em 2009.....	92
Figura 5.3: Custo de gestão do modelo actual (2009) e do modelo MC.	93
Figura 5.4: Custos parciais de gestão para o modelo MC.....	94
Figura 5.5: Distância percorrida no transporte de REEE nos modelos actual e MC, em 2009. .	95
Figura 5.6: Frequência dos cenários adoptados nos CR em 2009 e segundo o modelo MC.	96
Figura 5.7: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009 e definida pelo modelo MC.	98
Figura 5.8: Custo de gestão do modelo actual (2009) e modelo MD.	99
Figura 5.9: Custos parciais de gestão para o modelo MD.....	99
Figura 5.10: Distância percorrida em 2009 segundo o modelo actual e o modelo MD.	100

Figura 5.11: Frequência dos cenários adoptados nos CR em 2009 e segundo o modelo MD.	101
Figura 5.12: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009 e definida pelo modelo MD.	103
Figura 5.13: Frequência dos cenários seleccionados pelos modelos MC e MD.	104
Figura 5.14: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV por modelo.	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Categorias de EEE.....	12
Tabela 3.1: Fluxos operacionais de REEE.	40
Tabela 3.2: Custos de tratamento por UTV e tipo de fluxo de REEE.	49
Tabela 3.3: Quantidade média mensal de REEE e custo tratamento na UTV ₆ , por tipo de fluxo.	50
Tabela 3.4: Afectação dos CR às UTV por tipo de fluxo.	50
Tabela 3.5: Análise comparativa entre o modelo actual e modelos alternativos de gestão dos REEE do tipo C no CR ₂₇	51
Tabela 4.1: Identificação dos cenários.....	60
Tabela 4.2: Vantagens e desvantagens dos modelos propostos.	62
Tabela 4.3: Quantidade mínima e custo de tratamento de REEE por tipo de fluxo, na UTV ₆	65
Tabela 4.4: Número de CR considerados na estimativa por tipo de fluxo.....	73
Tabela 4.5: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo E.	74
Tabela 4.6: Capacidade, em peso, do veículo, por tipo de fluxo.	75
Tabela 4.7: Caracterização dos cenários considerados na implementação do modelo.....	76
Tabela 4.8: Validação da selecção das UTV de destino dos REEE provenientes do CR ₅₅ para o cenário 3 do modelo MC.	80
Tabela 4.9: Validação da selecção do cenário a adoptar no CR ₁₆ para o modelo MC.	80
Tabela 4.10: Tempo de execução do modelo MC.	81
Tabela 4.11: Custo de tratamento na UTV ₆ , por tipo de fluxo de REEE, resultante do modelo MC.	81
Tabela 4.12: Validação da selecção das UTV de destino dos REEE proveniente do CR ₆₈ para o cenário 4 do modelo MD.	86
Tabela 4.13: Validação da selecção do cenário no CR ₉ para o modelo MD.....	87
Tabela 4.14: Tempo de execução do modelo MD.	87

Tabela 4.15: Custo de tratamento na UTV6, por tipo de fluxo de REEE, resultante do modelo MD.	88
Tabela 5.1: Variação percentual dos custos parciais associados ao modelo MC relativamente ao custo de gestão do modelo actual (2009).	94
Tabela 5.2: Afectação dos CR às UTV, por tipo de fluxo, para o modelo actual e modelo MC.	97
Tabela 5.3: Variação percentual dos custos parciais associados ao modelo MD relativamente ao custo de gestão do modelo actual (2009).	100
Tabela 5.4: Afectação dos CR às UTV, por tipo de fluxo, para o modelo actual e modelo MD.	102
Tabela 5.5: Variação percentual do custo de gestão e da distância percorrida relativamente ao modelo actual.	103
Tabela 5.6: Afectação dos CR às UTV, por tipo de fluxo, por modelo proposto.	106

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Âmbito

Os Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE) foram identificados como uma das fontes de resíduos com maior crescimento na Europa, sendo a sua taxa de crescimento de pelo menos 3% a 5% por ano (Cui e Forssberg, 2003). A evolução tecnológica e a diminuição do ciclo de vida dos Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (EEE), associadas ao aumento do seu uso na vida diária, contribuem para esta elevada taxa de crescimento (Abu Bakar e Rahimifard, 2008).

Até um passado muito recente os REEE eram eliminados, normalmente, através de deposição em aterro (Barroso e Machado, 2005). No entanto, vários problemas ambientais e de saúde, decorrentes da exposição a substâncias perigosas contidas nos EEE, podem ser reduzidos através da criação de sistemas de recolha separada, tratamento e valorização dos REEE e da substituição das substâncias que são mais problemáticas (Machado *et al.*, 2010).

Com o intuito de reduzir a quantidade de REEE nos aterros e aumentar a reutilização, reciclagem e outras formas de recuperação dos resíduos e, conseqüentemente, reduzir o impacto ambiental associado ao fim da vida útil destes equipamentos, a Comissão Europeia introduziu as Directivas 2002/96/EC de REEE e RoHS (*Restriction of the use of certain Hazardous Substances*), obrigando os produtores a tomar a responsabilidade da gestão de resíduos dos seus produtos.

O Decreto-Lei n.º 230/2004 de 10 de Dezembro veio regulamentar a gestão de REEE transpondo, para a ordem jurídica nacional, a Directiva 2002/96/EC do Parlamento Europeu e do Conselho. Segundo este Decreto-Lei os produtores de EEE são responsáveis pelo financiamento das operações de transporte dos REEE que colocaram no mercado, sua armazenagem, tratamento, valorização ou eliminação. Os produtores podem cumprir as obrigações pelas quais são responsáveis transferindo a sua responsabilidade legal de gestão dos REEE para um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (SIGREEE), gerido por uma entidade gestora de REEE, devidamente licenciada.

A entidade gestora assume as responsabilidades legais de gestão de REEE pelos produtores de EEE que integrem o SIGREEE. A entidade responsável pela gestão do SIGREEE tem como principais funções organizar uma rede de recolha e tratamento de REEE, efectuar contratos com entidades que exerçam actividade no domínio da reciclagem e da valorização de REEE, decidir sobre o destino a dar a cada lote de REEE, bem como promover a sensibilização e informação públicas sobre os procedimentos a adoptar em termos de gestão de REEE (Decreto-Lei n.º 230/2004).

Na gestão de resíduos, vários factores de decisão devem ser considerados para determinar o máximo de benefícios que podem ser alcançados a um determinado custo. Estes factores incluem o processo de desmontagem, as operações de desmantelamento, definição de rotas

para componentes de REEE retirados, bem como a logística inversa (Abu Bakar e Rahimifard, 2008).

O presente trabalho pretende contribuir para uma gestão de REEE mais eficaz e ambientalmente sustentável. O estudo realizado foca-se na gestão de todos os tipos de fluxo de REEE, excluindo os equipamentos de iluminação (tipo de fluxo E), entre os Centros de Recepção (CR), entidades que recebem os REEE provenientes de várias fontes, e as Unidades de Tratamento e Valorização (UTV), entidades que, tal como o nome indica, realizam o tratamento e valorização dos REEE, localizados em Portugal Continental, que integram um SIGREE gerido por uma entidade gestora Portuguesa relevante.

1.2. Objectivos

Actualmente, os REEE são recolhidos em locais específicos sendo, posteriormente, encaminhados para os CR, onde são divididos em 4 tipos de fluxo (A, B, C e E), armazenados em contentores e, por fim, transportados para as UTV que procedem ao respectivo tratamento e valorização. O transporte dos REEE dos CR para as UTV é realizado por modo rodoviário em veículos, cuja capacidade de carga é, normalmente, de 2 contentores de REEE. As UTV estão aptas para tratar e valorizar determinados tipos de fluxo de REEE, de acordo com licença obtida previamente. O custo de tratamento dos diferentes tipos de fluxo de REEE varia entre as UTV. O trabalho realizado, no âmbito da gestão de REEE, tem por base um caso de estudo que engloba 67 CR e 10 UTV, localizados em Portugal Continental.

A análise do modelo de gestão actualmente adoptado pela entidade gestora em estudo permitiu concluir que este pode ser melhorado tanto a nível económico como a nível de impacto ambiental associado. O trabalho desenvolvido tem como objectivo apoiar a gestão logística de REEE considerando duas perspectivas de gestão, uma focada em aspectos económicos e outra direccionada para questões ambientais. Desta forma, são desenvolvidos dois modelos de apoio à gestão de REEE entre os CR e as UTV com a mesma base conceptual, mas diferindo no critério considerado na selecção da UTV de destino dos REEE e no cenário adoptado no seu transporte (i.e. combinações de tipos de fluxo), nomeadamente:

- i. Modelo de Minimização do Custo (Modelo MC) e
- ii. Modelo de Minimização da Distância (Modelo MD).

Os modelos desenvolvidos permitem determinar:

- i. A combinação de tipos de fluxo de REEE a armazenar no(s) mesmo(s) contentor(es) no CR e a transportar no mesmo veículo;
- ii. A Unidade de Tratamento e Valorização (UTV) de destino de cada combinação de tipos de fluxo de REEE;

- iii. O número de contentores a permanecer em cada Centro de Recepção (CR).

O modelo MC tem como objectivo minimizar o custo de gestão dos REEE entre os CR e as UTV. O custo de gestão é função do custo de aluguer dos contentores nos CR, do custo de transporte dos REEE entre os CR e as UTV e do custo de tratamento dos REEE nas UTV. O objectivo do modelo MD é minimizar a distância percorrida no transporte dos REEE entre os CR e as UTV, com o intuito de contribuir para a redução da emissão de gases poluentes e do consumo de combustível.

1.3. Metodologia

A metodologia adoptada no presente estudo engloba 5 fases (Figura 1.1.):

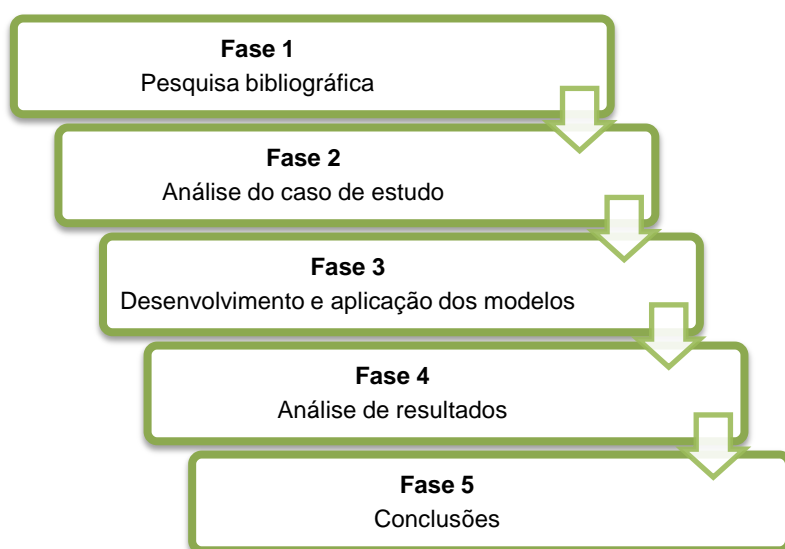


Figura 1.1: Metodologia.

- i. Fase 1 – Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica realizada foca-se na análise dos panoramas nacional e internacional no que respeita a gestão de REEE e, posteriormente, nas bases teóricas da gestão da cadeia de abastecimento (CGA), principalmente, no que se refere à logística inversa. Posteriormente, é feita uma pesquisa e análise exaustivas de trabalhos desenvolvidos no âmbito da gestão logística de REEE.

ii. Fase 2 – Análise do caso de estudo

A análise do caso de estudo pretende identificar as características gerais do SIGREEE gerido pela entidade gestora em estudo, focando-se, principalmente, na evolução e funcionamento actual do subsistema CR/UTV.

iii. Fase 3 – Desenvolvimento e aplicação dos modelos

A fase 3 do estudo consiste no desenvolvimento dos modelos propostos. A concepção, implementação e aplicação dos modelos é realizada considerando as características do subsistema CR/UTV identificadas e analisadas na fase 2.

iv. Fase 4 – Análise de resultados

Após a aplicação dos modelos desenvolvidos é realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos pelos dois modelos implementados e dos que estão associados ao modelo de gestão actual do subsistema em estudo.

v. Fase 5 – Conclusões

Na fase 5 deste trabalho são apresentadas as conclusões relativamente ao estudo realizado, nomeadamente no que se refere ao desempenho dos modelos desenvolvidos e à sua contribuição para a gestão de REEE do SIGREEE gerido pela entidade gestora em estudo.

1.4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, sendo o Capítulo 1 a introdução, o Capítulo 2 dedicado à revisão bibliográfica, o Capítulo 3 à apresentação do caso de estudo, o Capítulo 4 ao desenvolvimento dos modelos de apoio à gestão de REEE, o Capítulo 5 à análise de resultados e, por último, o Capítulo 6 às conclusões.

O Capítulo 2 é reservado à revisão bibliográfica, o qual incide, inicialmente, no conceito de REEE e no enquadramento nacional e internacional no âmbito da gestão REEE. Posteriormente é realizada uma revisão dos conceitos e das bases teóricas GCA, com especial enfoque no tema da logística inversa. A parte final do Capítulo 2 é dedicada à análise dos trabalhos de investigação desenvolvidos em matéria de gestão logística de REEE.

No Capítulo 3 é descrito e analisado o caso de estudo. Neste capítulo é apresentada a entidade gestora em análise e o SIGREEE, gerido por esta. São descritos o sistema de recolha, recepção e tratamento dos REEE e as entidades intervenientes neste sistema. Por fim, é realizada uma análise da evolução e funcionamento do subsistema CR/UTV ao longo de um período de 3 anos.

Os modelos de apoio à gestão de REEE são desenvolvidos e apresentados no Capítulo 4. Este Capítulo apresenta a metodologia de modelação, a concepção, as especificações e o processo de implementação dos modelos.

O Capítulo 5 consiste numa análise comparativa dos resultados obtidos através da aplicação dos modelos propostos e do modelo actual de gestão do subsistema CR/UTV, adoptado pela entidade gestora em estudo.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, bem como sugestões para desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como objectivos fazer um enquadramento relativamente à situação internacional e nacional relativamente à gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE) e, em especial, analisar e discutir os trabalhos desenvolvidos no âmbito da gestão logística de REEE.

O capítulo está subdividido em quatro secções. A primeira secção aborda o conceito de REEE. A segunda secção apresenta os panoramas internacional e nacional no que diz respeito à gestão de REEE. A terceira secção foca-se nas bases teóricas da Gestão da Cadeia de Abastecimento (GCA) e, principalmente, da logística inversa. A última secção corresponde à análise e discussão dos trabalhos desenvolvidos em termos de gestão logística de REEE, apresentando maior enfoque nos modelos de gestão de transporte de REEE e nos critérios de gestão que são considerados na tomada de decisão.

2.1. Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

Segundo o artigo 3º do Decreto-Lei nº. 230/2004, de 10 de Dezembro, que transpõem a Directiva 2002/95/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003, são considerados Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (EEE) os “equipamentos cujo funcionamento adequado depende de correntes eléctricas ou campos electromagnéticos para funcionar correctamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos e concebidos para a utilização com uma tensão nominal não superior a 1000 V para corrente alterna e 1500 V para corrente contínua”.

De acordo com as suas características, os EEE estão divididos em 10 categorias legais. As referidas categorias, bem como exemplos de EEE que delas fazem parte, estão apresentados na Tabela 2.1.

Actualmente ainda não existe uma definição normalizada de REEE. De acordo com a OCDE (2001), REEE é “qualquer dispositivo que utilize energia eléctrica e atingiu o seu fim de vida”. Sinha (2004) define REEE como “um dispositivo alimentado electricamente e que já não satisfaz o actual proprietário para a sua finalidade original”.

O artigo 3º do Decreto-Lei nº. 230/2004 define REEE como “todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do equipamento no momento em que este é descartado”. Esta definição será a adoptada neste trabalho.

Tabela 2.1: Categorias de EEE.

Categoria	Designação	Exemplos de EEE
1	Grandes electrodomésticos	Frigoríficos, máquinas de lavar roupa, fogões
2	Pequenos electrodomésticos	Aspiradores, Torradeiras, Máquinas de café
3	Equipamentos informáticos e de telecomunicações	Computadores portáteis, impressoras, telefone
4	Equipamentos de consumo	Aparelhos de rádio, aparelhos de televisão, câmaras de vídeo
5	Equipamentos de iluminação	Aparelhos de iluminação para lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de sódio de baixa pressão
6	Ferramentas eléctricas e electrónicas	Berbequins, serras, máquinas de costura
7	Brinquedos e equipamento de desporto e lazer	Jogos de vídeo, computadores para ciclismo, mergulho, corrida, remo, etc;
8	Aparelhos médicos	Equipamentos de radioterapia, ventiladores pulmonares, equipamentos de medicina nuclear
9	Instrumentos de monitorização e controlo	Detectores de fumo, reguladores de aquecimento, termostatos
10	Distribuidores automáticos	Distribuidores automáticos de bebidas quentes, distribuidores automáticos de produtos sólidos

Fonte: Adaptado de Decreto-lei nº 230/2004

2.2. Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

Nas duas últimas décadas tem-se verificado um aumento no número de políticas e leis ambientais focadas no processo de desenvolvimento de produtos, com vista a reduzir os impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida do produto. A maioria destas políticas e leis baseiam-se no princípio da responsabilidade alargada do produtor (EPR - *Extended Producer Responsibility*) (Nnorom e Osibanjo, 2008).

Uma política baseada no princípio da responsabilidade alargada do produtor é uma política ambiental em que a responsabilidade ambiental é alargada a todos os intervenientes na vida do produto e a todas as fases do seu ciclo de vida, incluindo o seu destino final (OCDE, 2001). EPR consiste na responsabilização de todas as entidades intervenientes no ciclo de vida dos produtos (produtores, importadores, consumidores, etc) pelos impactos ambientais, em todas as fases do ciclo de vida. Inclui os impactos a montante, decorrentes da selecção das matérias-primas, do processo de concepção e produção, e os impactos a jusante, do uso e fim de vida dos produtos (Herat, 2007).

A Comissão Europeia (CE) criou legislação baseada na responsabilidade alargada do produtor, reconhecendo a importância da transferência dos encargos financeiros e operacionais da

gestão de REEE para os produtores (McKerlie *et al.*, 2006). Assim, introduziu as seguintes Directivas:

- Directiva 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 EEE, também designada por Directiva RoHS;
- 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.

O objectivo das duas Directivas é prevenir a produção de REEE e promover a reutilização, reciclagem e outras formas de recuperação, de forma a reduzir a quantidade de REEE enviada para os aterros. Os produtores de EEE podem cumprir as suas obrigações legais optando por um sistema individual ou integrando um sistema colectivo (Grunow e Gobbi, 2009), também designado de organização para a responsabilidade do produtor (PRO – *Producers Responsibility Organisation*) (Rønningen, 2005), uma vez que esta organização assume as obrigações legais pelos produtores (Carvalho, 2008).

2.2.1. Panorama Internacional

Quando a Directiva da UE relativa aos REEE entrou em vigor, em Janeiro de 2003, alguns países já tinham implementado sistemas e legislação específicos para a gestão deste tipo de resíduos (Khetriwal *et al.*, 2009).

De facto, a Suíça foi o primeiro país no mundo a definir um sistema formal de gestão de REEE (Sinha-Khetriwal *et al.*, 2005). A implementação do sistema teve início ainda antes da introdução da legislação relativa à gestão de REEE. A legislação relativa a REEE entrou em vigor apenas em 1998 pela FOEN (*Federal Office for the Environmental*) (SAEFL, 1998). Na Suíça existem quatro PRO (SWICO – *The Swiss Association for Information, Communication and Organisational Technology*, SENS – *Stiftung Entsorgung Schweiz*, SLRS - *Swiss Light Recycling Foundation*, INOBAT – *Stakeholder Organisation for Battery Disposal*), sendo cada uma responsável pela gestão de REEE específicos. Os sistemas colectivos, ou PRO, são financiados pelos produtores para suportar o custo dos sistemas de recolha, transporte, desmantelamento e reciclagem dos REEE (Khetriwal *et al.*, 2009).

Países como a Bélgica, Holanda e Suécia já implementaram um sistema único nacional de recolha de REEE antes da introdução da Directiva 2002/96/CE. Estes sistemas foram implementados por PRO sem fins lucrativos, constituídas por associações comerciais relevantes (Turner and Callaghan, 2007).

Na Noruega já havia legislação relativa à gestão de REEE em vigor desde 1999. Ainda antes da legislação norueguesa ter entrado em vigor, a indústria electrónica desenvolveu três PRO para gerirem a recolha e tratamento de REEE, sendo cada uma das PRO responsável por REEE específicos. De acordo com essa legislação, os produtores de REEE têm a possibilidade de estabelecer um sistema individual de gestão ou aderir a uma PRO. Quando a Directiva Europeia foi estabelecida verificaram-se, pois, muitas semelhanças com a legislação norueguesa em vigor (Rønningen, 2005).

Outros países, como a Finlândia, Dinamarca e Reino Unido, apenas estabeleceram legislação nacional relativa à gestão de REEE depois da introdução da Directiva Europeia, e com base nesta (Lehtine e Poikela, 2006; Grunow e Gobbi, 2009; Turner e Callaghan, 2007).

Na Finlândia a legislação relativa à gestão de REEE entrou em vigor em Agosto de 2005. Os produtores e distribuidores de EEE formaram, até 2006, cinco PRO responsáveis pela gestão da recolha e tratamento de REEE (Lehtine e Poikela, 2006).

Na Dinamarca a transposição da Directiva Europeia apenas entrou em vigor em Abril de 2006. São consideradas 5 subdivisões de REEE, correspondendo cada uma a determinados resíduos das 10 categorias descritas na Directiva (Tabela 2.1). Cada produtor/distribuidor de EEE deve recolher uma subdivisão de REEE proporcional à sua quota de mercado. Uma organização institucional, designada sistema de REEE, é responsável pela atribuição de REEE provenientes de particulares e recolhidos nos respectivos municípios a produtores/distribuidores (Grunow e Gobbi, 2009).

No Reino Unido a regulamentação relativa à gestão de REEE apenas entrou em vigor em Julho de 2007. O método adoptado por este Estado Membro baseia-se na responsabilização dos operadores dos sistemas colectivos (PRO) em vez dos produtores individualmente. Os produtores de EEE devem estar registados como membros de uma PRO e devem disponibilizar à organização gestora a informação relativa aos EEE que colocam no mercado. As PRO devem registar os seus membros num regulador nacional (*Environment Agency*) e assegurar que são adoptados as melhores práticas de recolha e tratamento. O financiamento do sistema é garantido pelos produtores de EEE (Turner e Callaghan, 2007).

Outros países não europeus, como a República Popular da China e alguns estados dos Estados Unidos da América, formularam a sua própria legislação relativa a RoHS e REEE como resultado directo das Directivas Europeias (Herat, 2007).

A maior contribuição para o quadro legislativo chinês corresponde à “*Circular Economy Promotion Law of the People’s Republic of China*”, aprovada em Agosto de 2008. Esta lei também contém o EPR como conceito base bem como a criação de sistemas de recolha e reciclagem controlados pelo governo. Sendo necessário estabelecer um sistema de recolha e tratamento de REEE regulamentado, a República Popular da China parece ter tendência para a

adopção da abordagem europeia. No entanto, a existência de actividades de revenda de REEE coloca o sistema chinês à margem do europeu (Veenstra *et al.*, 2010).

O destino de REEE nos Estados Unidos da América (EUA) foca-se em dois pontos principais: depósito em aterro e exportação. No entanto, embora ainda não exista uma regulamentação federal que promova a recolha, reutilização e recuperação de REEE, muitos estados começam a implementar sistemas de recolha e reciclagem de REEE provenientes de particulares e de sectores comerciais (Kahhat *et al.*, 2008).

2.2.2. Panorama Nacional

Em Portugal, antes da introdução das Directivas Europeias, já existia legislação para a regulamentação da gestão de REEE. O Decreto-Lei n.º 20/2002, de 30 de Janeiro, do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, veio regulamentar a gestão de REEE através da responsabilização do produtor, apresentando como opção a possibilidade de adesão a um sistema integrado.

Posteriormente foi introduzido o Decreto-Lei n.º 230/2004, de 10 de Dezembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 174/2005, de 25 de Outubro, que define o regime jurídico da gestão de REEE, transpondo para o quadro legislativo nacional as Directivas 2002/96/CE e RoHS, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro de 2003.

Segundo o Decreto-Lei n.º 230/2004, é considerado produtor “qualquer entidade que, independentemente da técnica de venda, incluindo a venda através da comunicação à distância:

- i. Produza e coloque no mercado nacional EEE sob marca própria;
- ii. Revenda, sob marca própria, EEE produzidos por outros fornecedores;
- iii. Importe ou coloque no mercado nacional EEE com carácter profissional.”

Desta forma, todas as empresas ou entidades que colocam EEE no mercado português, designadas como produtores, têm a obrigação de procederem ao seu registo na Associação Nacional para o Registo de EEE (ANREEE), sendo-lhes atribuído um número que deve ser inscrito nas respectivas facturas e documentos de transporte (ANREEE, 2008a).

Tal como na Directiva 2002/96/CE, no Decreto-Lei n.º 230/2004, os produtores podem cumprir as obrigações ao transferirem a sua responsabilidade legal de gestão de REEE para um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (SIGREEE).

O SIGREEE é um sistema colectivo de gestão de resíduos que pressupõe a transferência da responsabilidade pela gestão de REEE de produtores de EEE para uma entidade gestora devidamente licenciada (Decreto-Lei n.º 230/2004).

O financiamento do SIGREEE é garantido através de Ecovalores ou EcoREEE, que são contrapartidas financeiras cobradas, por unidade de EEE produzida, pelas entidades gestoras para assumirem, em nome dos produtores, a responsabilidade pela gestão dos resíduos dos EEE que colocaram no mercado (ANREEE, 2008b).

Segundo o Artigo 18º do Decreto-Lei n.º 230/2004, a entidade gestora do SIGREEE tem como funções:

- “Organizar uma rede de centros de recepção e de operadores de transporte e de tratamento devidamente autorizados, os quais selecciona e contrata para a recepção, transporte e tratamento de REEE;
- Efectuar, se necessário, contratos com as entidades que integram os sistemas de recolha;
- Decidir sobre o destino a dar a cada lote de REEE;
- Estabelecer contratos com os produtores e com outras entidades que exerçam a sua actividade no domínio da reutilização e da valorização de REEE para fixar as prestações financeiras ou os encargos determinados pelos destinos dados aos REEE;
- Assegurar a monitorização do sistema integrado, nomeadamente no que diz respeito ao fluxo de REEE e dos materiais resultantes do seu tratamento, bem como o acompanhamento dos operadores;
- Promover a investigação e o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas de desmantelamento, de separação dos materiais e de soluções de reciclagem dos componentes e materiais de REEE;
- Promover a sensibilização e a informação públicas sobre os procedimentos a adoptar em termos de gestão de REEE.”

Em Portugal existem duas entidades gestoras de REEE, a ERP (*European Recycling Platform*) Portugal e a Amb3E (Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos).

A ERP Portugal pertence a uma plataforma pan-europeia, fundada em Dezembro de 2002, tendo obtido a licença para exercer a actividade de gestão de REEE em Portugal a 27 de Abril de 2006, por Despacho Conjunto n.º 353/2006 emitido pelo Ministério da Economia e Inovação e pelo Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território (ERP Portugal, 2010).

A Amb3E é uma entidade gestora licenciada em 27 de Abril, por Despacho conjunto n.º 354/2006, dos Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação (Amb3E, 2010).

Para que os sistemas integrados de gestão de REEE funcionem de forma eficiente é necessário ter em conta a integração de resíduos na cadeia de abastecimento. Esta integração implica um fluxo de material e de informação adicional, em sentido inverso ao tradicional (Fleischmann *et al.*, 2000).

2.3. Gestão da Cadeia de Abastecimento no Sentido Inverso

Na última década foram diversos os factores que contribuíram para o desenvolvimento de trabalhos de investigação relativamente à Gestão da Cadeia de Abastecimento (GCA) no sentido inverso ao tradicional (Barroso e Machado, 2005).

2.3.1. Gestão da Cadeia de Abastecimento

Embora o conceito de GCA tenha nascido no século passado, no início dos anos 80, a investigação nesta área foi quase inexistente até meados dos anos 90 (Alfalla-Luque e Medina-López, 2009). Deste então, parece ter-se tornado numa crescente área de interesse entre investigadores e profissionais de várias matérias (Arshinder *et al.*, 2008).

Segundo Chopra e Meindl (2004), Cadeia de Abastecimento (CA) consiste em todas as entidades envolvidas, directa ou indirectamente, em satisfazer o consumidor final. De acordo com estes autores, a CA não só inclui o produtor e respectivos fornecedores, mas também transportadores, armazenistas, retalhistas e os próprios consumidores. A CA também integra o fluxo de bens, de informação e monetário (Ayers, 2001; Chopra e Meindl, 2004) e a criação e desenvolvimento de conhecimento entre as entidades envolvidas (Ayers, 2001).

Todos os fluxos de bens, de informação ou monetários originam custos na CA. Assim, a gestão adequada destes fluxos é a chave para o sucesso da CA. A GCA consiste na gestão dos fluxos entre as entidades da cadeia com o objectivo de maximizar o valor da CA, ou seja, a diferença entre o que o cliente está disposto a pagar pelo produto ou serviço prestado e o esforço que a CA despende para satisfazer as necessidades dos clientes (Chopra e Meindl, 2004).

De acordo com *Council of Supply Chain Management Professionals* (2010) a GCA integra o planeamento e a gestão de todas as actividades envolvidas na aquisição, produção e actividades logísticas. Também inclui a coordenação e colaboração entre todas as entidades da cadeia, fornecedores, intermediários, prestadores de serviços e/ou clientes. A GCA tem a função de integrar todas as actividades de gestão logística, produção e permite a coordenação de processos e outras actividades como o marketing, vendas, concepção de produto, finanças e tecnologias de informação (CSCMP, 2010).

A tomada de decisão na GCA pode ser feita a três níveis, definidos em função do horizonte temporal (Chopra e Meindl, 2004; Simchi-Levi *et al.*, 2004):

- i. **Nível estratégico:** Decisões que têm um impacto na CA a longo prazo. Estas decisões incluem a definição do número, localização e capacidade das instalações (armazéns, fábricas, etc.) (Simchi-Levi *et al.*, 2004), dos produtos a produzir, bem como dos modos de transporte a disponibilizar e o tipo de sistema de informação a utilizar (Chopra e Meindl, 2004).
- ii. **Nível tático/planeamento:** Este nível inclui decisões que são normalmente actualizadas trimestral ou anualmente (Chopra e Meindl, 2004; Simchi-Levi *et al.*, 2004). Estas decisões incluem a compra de matérias-primas, a produção de bens, definição de políticas de gestão de *stock* e de transporte (Simchi-Levi *et al.*, 2004), bem como a calendarização e duração de campanhas de marketing (Chopra e Meindl, 2004).
- iii. **Nível operacional:** A este nível as decisões são tomadas num horizonte temporal semanal ou diário. Estas decisões referem-se a questões de planeamento de rotas, de entregas aos clientes e de controlo de níveis de *stock* (Chopra e Meindl, 2004; Simchi-Levi *et al.*, 2004).

Todas as decisões, a todos os níveis, estratégico, tático e operacional, têm um forte impacto no desempenho e no sucesso da CA (Chopra e Meindl, 2004).

Enquanto a GCA visa alcançar a articulação e a coordenação dos processos de todas as entidades da CA, a logística diz respeito, principalmente à optimização dos fluxos (material, informação e monetário) dentro e entre as entidades (Christopher, 2005).

2.3.2. Logística

Até 1998 GCA e logística foram sinónimos. Nessa data o *Council of Logistics Management* alterou a definição de logística, passando a ser um subconjunto da GCA (Alfalla-Luque e Medina-López, 2009).

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (2010) define logística como “o processo de planeamento, implementação e controlo do transporte e armazenagem, eficaz e eficiente, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem ao de consumo com o objectivo de satisfazer as necessidades dos clientes”. Segundo Bowersox *et al.* (2007) o objectivo da logística é apoiar as actividades associadas à aquisição, produção e expedição de produtos.

As principais actividades da gestão logística são (Bowersox *et al.*, 2007; CSCMP, 2010):

- i. Gestão da procura;
- ii. Gestão de *stocks*;

- iii. Gestão de transporte;
- iv. Armazenagem, manuseamento e acondicionamento de materiais;
- v. Configuração da rede logística.

A gestão da procura corresponde à gestão de todas as operações associadas à satisfação da procura, incluído as actividades de previsão da procura e de processamento de pedidos dos clientes (Bowersox *et al.*, 2007). A previsão da procura é fundamental na determinação da quantidade de produto acabado que deve ser transportado ou mantido em cada mercado servido pela entidade. O processamento de pedidos dos clientes diz respeito ao sistema da entidade que recebe, verifica e satisfaz os pedidos dos clientes (Lambert *et al.*, 1998).

O objectivo da gestão de *stocks* é encontrar o equilíbrio entre a criação de *stock* para atingir o nível de serviço pretendido pelos clientes e os custos de posse relacionados com (a) o capital investido; (b) a permanência e manutenção do produto em armazém e (c) o risco de este se tornar obsoleto (Lambert *et al.*, 1998). A gestão de *stocks* de um produto numa determinada instalação tem um impacto directo na gestão do transporte (Bowersox *et al.*, 2007).

O transporte corresponde à actividade logística responsável pela movimentação geográfica de material (Bowersox *et al.*, 2007). A gestão do transporte inclui a selecção do modo de transporte, a definição de rotas, assegurando o cumprimento das regulamentações aplicáveis (Lambert *et al.*, 1998).

A actividade de armazenagem está relacionada com a definição do *layout* do armazém, enquanto o manuseamento de materiais diz respeito ao movimento de matérias-primas, produtos semi-acabados e acabados dentro do armazém (Lambert *et al.*, 1998), e, principalmente às operações de carga e descarga (Bowersox *et al.*, 2007). O empacotamento (acondicionamento) pode ser visto tanto como uma actividade de marketing, como de protecção e armazenamento de material (Lambert *et al.*, 1998).

A configuração da rede logística é uma responsabilidade fundamental da gestão logística, uma vez que a estrutura da rede de instalações (fábricas, armazéns e centros de distribuição) é usada para encaminhar os produtos e os materiais para o cliente (Bowersox *et al.*, 2007). As decisões associadas à configuração da rede logística incluem a localização das instalações, a definição das respectivas capacidades e das operações a desenvolver (Chopra e Meindl, 2004). Estas decisões são de nível estratégico, afectando não só o custo de transporte mas também o nível de serviço da entidade (Lambert *et al.*, 1998).

A gestão integrada das actividades logísticas constitui os requisitos necessários para atingir valor na gestão logística (Bowersox *et al.*, 2007) e para que a CA obtenha o máximo benefício. Decisões tomadas relativamente no âmbito de uma actividade logística irão afectar a eficiência de outras actividades.

Existem 3 tipos de fluxo no âmbito da gestão logística da CA que dependendo do sentido da movimentação dos materiais (Salema *et al.*, 2010):

- **Fluxo directo:** fluxo que inicia nos produtores/fornecedores de matérias-primas e termina no cliente final.
- **Fluxo inverso (circuito aberto):** fluxo que inicia no consumidor e termina numa fábrica ou instalação de tratamento.
- **Circuito fechado:** considera simultaneamente o fluxo directo e inverso.

A logística associada à gestão do fluxo inverso, ou seja, oposto ao sentido convencional, é do interesse da logística inversa (Fleischmann *et al.*, 2000).

2.3.3. Logística Inversa

A definição de logística inversa tem sofrido alterações ao longo do tempo (de Brito e Dekker, 2004), existindo divergência entre os autores quanto ao seu conceito (Machado *et al.*, 2010).

Alguns autores designam logística inversa apenas quando os fluxos directo e inverso partilham o mesmo canal de distribuição (Carter e Ellram, 1998; Dowlatshahi, 2000) enquanto outros, são menos restritivos, admitem a utilização de diferentes canais de distribuição (Fleischmann *et al.*, 2000; *Reverse Logistics Executive Council*).

O *Reverse Logistics Executive Council* (2010) define logística inversa como “o processo de planeamento, implementação e controlo eficiente do fluxo de materiais, produtos em processamento, produtos acabados e da informação relacionada, desde o ponto de consumo até ao ponto de origem com o objectivo de recapturar valor ou encaminhar para depósito apropriado.”

De um modo geral, é possível afirmar que as organizações investem na logística inversa porque beneficiam com esse investimento ou são obrigadas e/ou sentem-se socialmente motivadas a fazê-lo. Assim, é possível identificar três factores principais que motivam a implementação de um sistema de logística inversa (de Brito e Dekker, 2004):

- i. **Económico:** as organizações podem beneficiar economicamente com a implementação da logística inversa (Chan e Chan, 2008), através da diminuição na compra de matérias-primas, da diminuição de custos de eliminação e do aumento de valor acrescentado da recuperação de produtos (de Brito e Dekker, 2004);
- ii. **Legislação:** as organizações podem estar obrigadas, por imposição legal, a recuperar e/ou recolher os produtos em fim de vida (de Brito e Dekker, 2004);
- iii. **Responsabilidade Social:** as organizações podem investir na logística inversa por questões sociais, podendo estar relacionado com os valores da organização (de Brito e

Dekker, 2004) ou com uma iniciativa de marketing, em que a empresa quer fazer transparecer uma imagem “verde” (Chan e Chan, 2008).

Enquanto as actividades tradicionais da GCA compreendem a aquisição, produção, distribuição e consumo, as actividades inerentes à logística inversa são (Fleischmann *et al.*, 2000):

- i. **Recolha:** conjunto de actividades relacionadas com a movimentação de produtos usados para posterior tratamento. Este conjunto pode incluir as actividades de transporte e armazenagem.
- ii. **Inspecção/separação/triagem:** Actividade com a responsabilidade de proceder à selecção dos produtos com objectivo de reencaminha-los para o destino adequado (reutilização, tratamento ou eliminação).
- iii. **Reprocessamento:** Actividade de transformação do produto em fim de vida num produto/componente/material útil. Esta transformação pode tomar várias formas incluindo reciclagem, reparação ou refabricação.
- iv. **Deposição:** destina-se a produtos em fim de vida que não podem ser reutilizados ou reprocessados por razões técnicas ou económicas. Pode incluir incineração ou deposição em aterro.
- v. **Redistribuição:** direcciona os produtos reutilizáveis para um potencial mercado. Esta actividade pode incluir as operações de venda, transporte e armazenagem.

As entidades envolvidas nos processos associados à logística inversa podem ser agregadas em três grupos (de Brito e Dekker, 2004):

- i. Entidades da CA tradicional: fornecedor, produtor, distribuidor e retalhista;
- ii. Entidades especializadas: ponto de recolha, centros de triagem, centros de tratamento e reciclagem;
- iii. Entidades oportunistas: instituições de caridade.

As entidades envolvidas na logística inversa apresentam papéis distintos. Enquanto algumas entidades podem ser responsáveis pela configuração e gestão da rede logística (produtor, instituições governamentais, fundações, etc.) outras apenas desempenham funções operacionais (centros de triagem, centros de tratamento, etc.) (de Brito e Dekker, 2004).

Tal como foi referido anteriormente (p.20), existem vários tipos de fluxos no que respeita ao sentido que têm na CA (Figura 2.1). A gestão da logística inversa pode incluir apenas a gestão do fluxo inverso (circuito aberto) ou dos dois tipos de fluxo (circuito fechado) (Salema *et al.*, 2007).

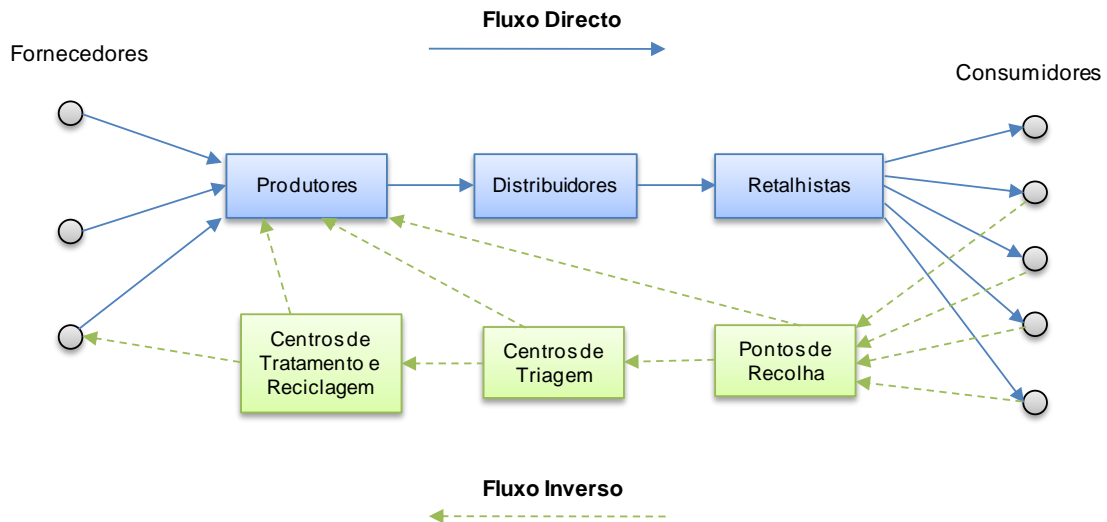


Figura 2.1: Fluxo directo e inverso da CA.
Fonte: Adaptado de Fleischmann *et al.*, 1997

O sistema de logística inversa que integra a reciclagem de materiais é frequentemente descrito como um sistema em circuito aberto uma vez que os produtos resultantes não regressam necessariamente ao produtor original, podendo ser encaminhados para outras entidades. Sistemas logísticos que incluem refabricação e reutilização, normalmente, consistem em sistemas em circuito fechado já que os produtos regressam ao produtor original (Fleischmann *et al.*, 1997).

Após a análise do panorama internacional e nacional, em termos de gestão de REEE, bem como dos conceitos fundamentais relacionados com a gestão logística e, particularmente da logística inversa, torna-se essencial investigar os trabalhos desenvolvidos no contexto da gestão logística de REEE.

2.4. Gestão Logística de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

Na pesquisa bibliográfica realizada sobre gestão logística de REEE foram analisados 37 artigos, 29 publicados em revistas científicas e 8 divulgados em conferências, entre 2001 e 2010. Da pesquisa realizada, verifica-se uma escassez de trabalhos desenvolvidos no âmbito da gestão logística de REEE.

Da análise do número de artigos analisados por ano de publicação (Figura 2.2), verifica-se um aumento gradual no número de artigos publicados a partir de 2005, com excepção do ano 2007, sendo o ano de 2010 o que regista o maior número de artigos publicados (9). Esta análise evidencia a actualidade do tema da gestão logística de REEE, o que pode justificar o facto de ainda serem escassos os trabalhos desenvolvidos neste tema.

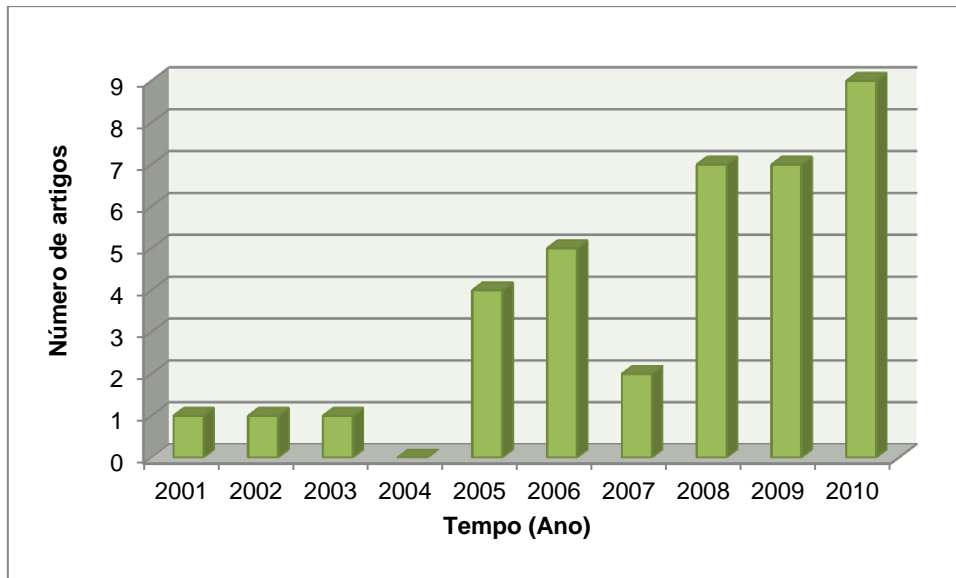


Figura 2.2: Número de artigos publicados no período de 2001 a 2010.

2.4.1. *Framework* de Análise Bibliográfica

De forma a estruturar a informação analisada propõe-se uma *framework* de análise bibliográfica, apresentada na Figura 2.3.

A análise dos artigos tem por base a identificação do tipo de artigo, o âmbito do trabalho, as actividades logísticas em foco, o modelo desenvolvido e/ou aplicado e os critérios de gestão considerados.

A análise realizada, com base na *framework* proposta, resulta na caracterização de cada artigo relativamente aos parâmetros da *framework*. A caracterização realizada (Tabelas I e II, Anexo A) permite fazer uma análise dos artigos por cada parâmetro da *framework*.

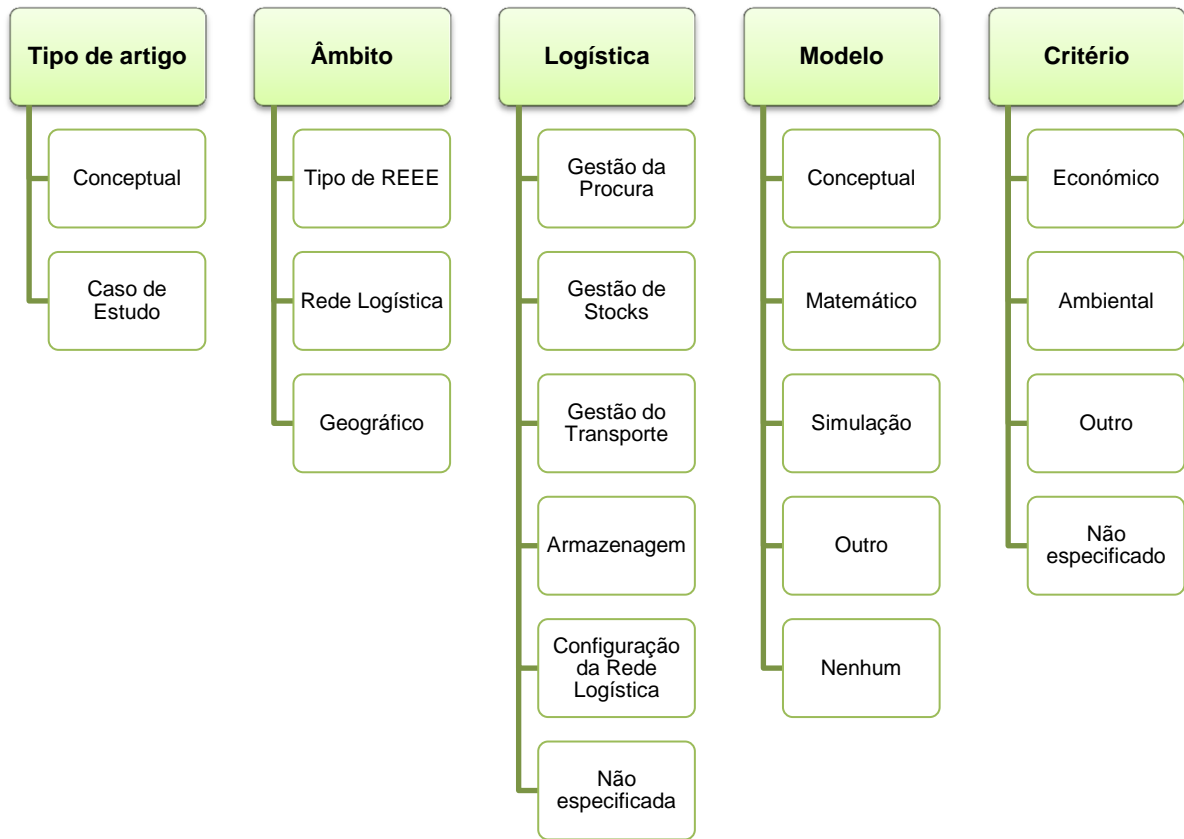


Figura 2.3: *Framework* de análise bibliográfica.

2.4.1.1. Tipo de artigo

Relativamente ao tipo de artigo, considerou-se que era conveniente fazer uma distinção entre artigos com carácter conceptual e artigos cujo trabalho se baseia na resolução de um caso de estudo ou que apresentam a aplicação de um caso prático. A distribuição dos artigos analisados pelos dois grupos de artigos está representada na Figura 2.4.

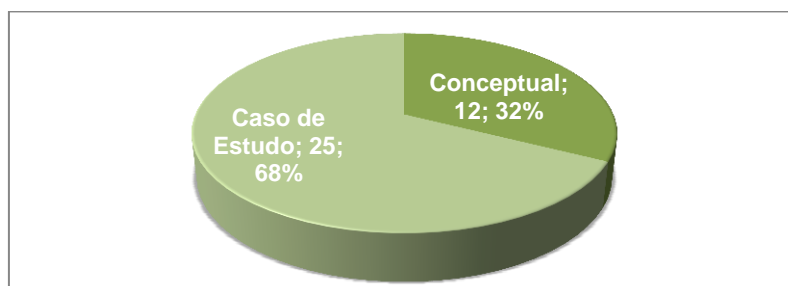


Figura 2.4: Distribuição de artigos por tipo de artigo.

Verifica-se, então, que a maioria (25 artigos; 68%) dos artigos analisados corresponde a casos de estudo ou apresenta uma aplicação do trabalho desenvolvido a um caso prático,

correspondendo os restantes 32% (12 artigos) a artigos com cariz conceptual. Este facto sugere a aplicabilidade dos trabalhos desenvolvidos sobre este tema.

2.4.1.2. Âmbito

Em relação ao âmbito do artigo, é identificado:

- O tipo de REEE, no caso de ser focado num tipo específico de resíduo;
- A parte da rede logística analisada: parte específica da rede, circuito aberto, circuito fechado ou se os autores referem apenas logística inversa não especificando se se referem a circuito aberto ou fechado;
- O âmbito geográfico: quando o trabalho desenvolvido está direccionado para um país, região, cidade, etc.

No que diz respeito ao tipo de REEE, verifica-se (Figura 2.5) que a maioria dos autores foca o estudo nos REEE em geral (21 artigos; 57%), enquanto 43% (16 artigos) tem como âmbito determinados tipos específicos de REEE.

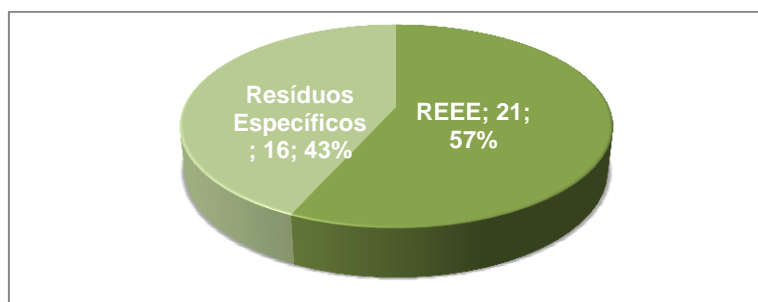


Figura 2.5: Distribuição de artigos por tipo de REEE.

Dos autores que se referem a tipos específicos de REEE, alguns focam-se num tipo como é o caso de Chan e Chan (2008), Hanafi *et al.* (2008), Yoshida *et al.* (2009) e Geyer e Blass (2010) cujos trabalhos têm como objecto de estudo telemóveis em fim de vida. Knemeyer *et al.* (2002), Ravi *et al.* (2005) e Leigh *et al.* (2007) que consideram computadores em fim de vida no seu estudo e Krikke *et al.* (2003) que aplicam o modelo desenvolvido a frigoríficos em fim de vida. Outros autores englobam vários tipos de REEE no seu estudo, ainda que não considerem estes resíduos de uma forma genérica (Shih, 2001; Jain e Sareen, 2006; Kang e Schoenung, 2006; Peralta e Fontanos, 2006; Kumar e Shrihari, 2007; Gamberini *et al.*, 2009; Dwivedy and Mittal, 2010; Steubing *et al.*, 2010).

Quanto à tipologia da rede logística de REEE (Figura 2.6), a maioria dos autores (11 artigos; 30%) referem-se simplesmente à logística inversa considerada (Barroso e Machado, 2005; Ravi *et al.*, 2005; Walther e Spengler, 2005; Lehtinen e Poikela, 2006; Chan e Chan, 2008;

Hanafi *et al.*, 2008; Lau e Wang, 2009; Janse *et al.*, 2010) ou nem especificam a tipologia da rede logística (10 artigos, 27%). No entanto 21% dos artigos (8 artigos) focam-se no estudo na CA em circuito fechado (Krikke *et al.*, 2003; Georgiadis e Besiou, 2008; Salema *et al.*, 2008a, 2008b; Hui *et al.*, 2009; Georgiadis e Besiou, 2010; Geyer e Blass, 2010 e Neto *et al.*, 2010). Os autores Shih (2001), He *et al.* (2008), Tsai e Hung (2009) e Achillas *et al.* (2010) apresentam uma abordagem no âmbito da CA em circuito aberto, enquanto Gamberini *et al.* (2009), Kim *et al.* (2009), Gamberini *et al.* (2010) e Machado *et al.* (2010) se focam no estudo de uma parte da rede logística.

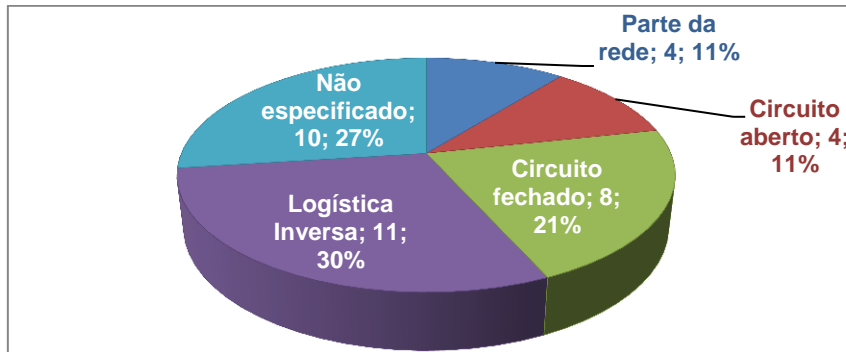


Figura 2.6: Distribuição dos artigos por tipologia da rede logística.

Relativamente ao âmbito geográfico (Figura 2.7), existe algum equilíbrio na distribuição dos artigos, não havendo um país ou região que se destaque em termos de número de artigos direccionados. Ainda assim, a China (incluindo cidades ou regiões chinesas) é o país que regista maior número de artigos direccionados (6 artigos; 16%) (Shih, 2001; Chang *et al.*, 2006; Chan e Chan, 2008; He *et al.*, 2008; Hui *et al.*, 2009 e Lau e Wang, 2009), 4 artigos (11%) (Barroso e Machado, 2005; Salema *et al.*, 2008^a, 2008b; Machado *et al.*, 2010) têm como âmbito geográfico Portugal e 10 artigos (27%) direccionam-se para outros países, cidades ou regiões europeias (Krikke *et al.*, 2003; Walther e Spengler, 2005; Lehtinen e Poikela, 2006; Georgiadis e Besiou, 2008; Queiruga *et al.*, 2008; Gamberini *et al.*, 2009; Grunow e Gobbi, 2009; Achillas *et al.*, 2010; Georgiadis e Besiou, 2010 e Geyer e Blass, 2010). A Índia e os EUA são focados em 3 (8%) e 2 artigos (6%), respectivamente.

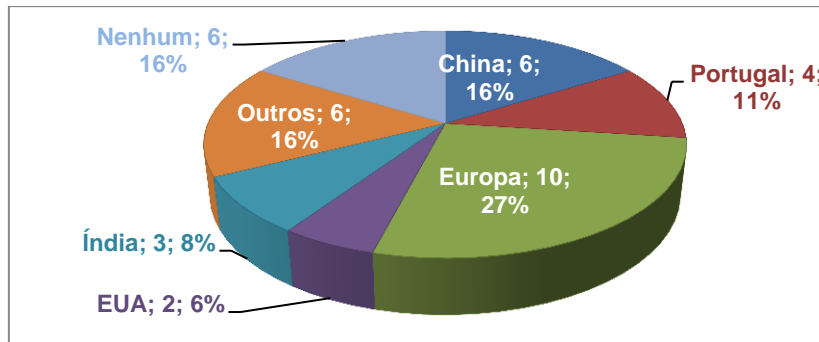


Figura 2.7: Distribuição dos artigos por âmbito geográfico.

2.4.1.3. Logística

A identificação das actividades logísticas em foco nos artigos analisados tem por base a análise realizada anteriormente (subsecção 2.3.2, p. 18). A distribuição dos artigos analisados por actividade logística apresenta-se na Figura 2.8.

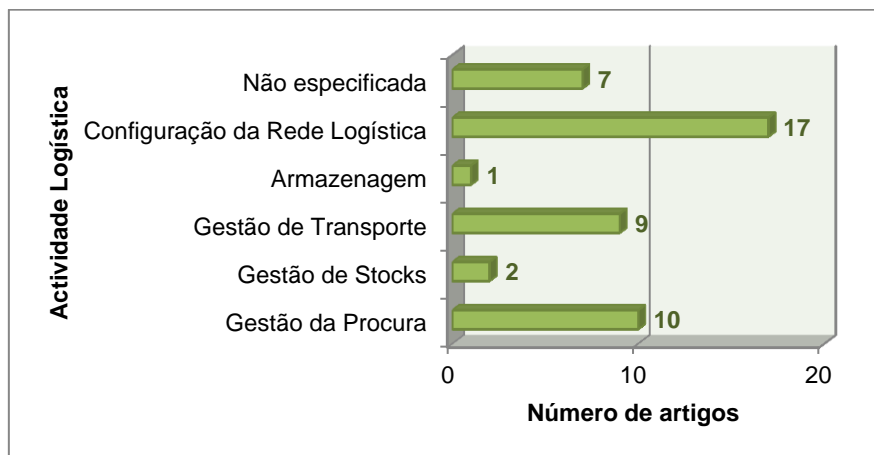


Figura 2.8: Distribuição de artigos por actividade logística em foco.

Verifica-se, através da Figura 2.8, que as actividades logísticas mais abordadas correspondem à configuração da rede logística (17 artigos) e à gestão da procura (10 artigos), mais concretamente à previsão da procura. Em contraste, as actividades relacionadas com armazenagem (1 artigo) e gestão de *stocks* (2 artigos) são as menos referidas. De referir que alguns artigos focam-se em várias actividades logísticas (por este motivo a soma do número de artigos na Figura 2.8 não corresponde aos 37 artigos analisados). A análise detalhada dos artigos relativos relativamente à actividade logística abordada será desenvolvida na subsecção 2.4.2 (p. 30).

2.4.1.4. Modelo

Os modelos identificados nos artigos analisados podem ser agrupados em 4 classes de acordo com as suas características: **i.** conceptual, **ii.** matemático, **iii.** simulação, **iv.** outro e **v.** nenhum.

Os modelos conceptuais são modelos teóricos que não incluem uma aplicação prática. Os modelos matemáticos pressupõem uma formulação matemática que, ao considerar dados empíricos, permitem obter resultados concretos. O grupo de artigos que inclui modelos de simulação integra os que têm como objectivo simular diferentes cenários possíveis. Qualquer artigo que refira o desenvolvimento de um modelo que não se enquadre nas classes descritas é classificado em “Outro”. A distribuição dos artigos pelo tipo de modelo desenvolvido é apresentada na Figura 2.9.

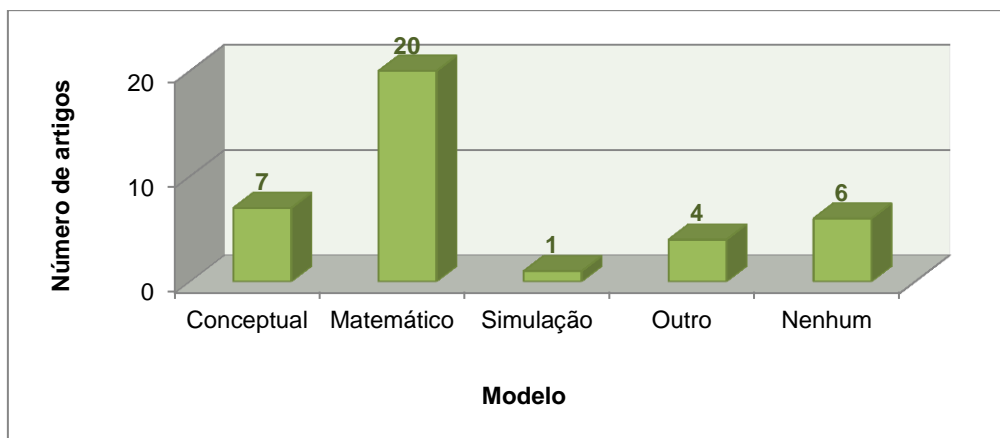


Figura 2.9: Distribuição de artigos por tipo de modelo desenvolvido.

Da análise da Figura 2.9 verifica-se que a maioria dos artigos (20 artigos) apresenta modelos matemáticos, e apenas 1 apresenta um modelo de simulação. Tal como anteriormente (Figura 2.8), alguns artigos apresentam vários modelos relativos a várias classes consideradas (deste modo a soma do número de artigos na Figura 2.9 não corresponde aos 37 artigos analisados). No entanto, nem todos os autores desenvolvem modelos (6 artigos), apresentando uma abordagem diferente à gestão logística. Chan e Chan (2008) elaboram um questionário e entrevistas a actores chave da indústria de telemóveis de Hong Kong com o objectivo de identificar os principais factores a considerar na configuração e implementação de um sistema de logística inversa nesta indústria. Lau e Wang (2009), através de informação recolhida em páginas da internet, observação directa e entrevistas realizadas a quatro grandes empresas da indústria electrónica chinesa, realizam uma investigação da aplicabilidade de teorias e modelos desenvolvidos no âmbito da logística inversa, nesta indústria em particular.

Gamberini *et al.* (2009) realizaram uma análise de custos logísticos considerando a adopção de um novo contentor no transporte e manuseamento de REEE. Geyer e Blass (2010) fazem uma análise económica comparativa das CA que integram operações de reutilização ou reciclagem

de telemóveis. Neto *et al.* (2010) avaliaram a magnitude dos impactos ambientais de uma CA em circuito fechado, com o objectivo de verificar se uma CA em circuito fechado corresponde é ambientalmente sustentável.

Janse *et al.* (2010) desenvolveram uma ferramenta de avaliação e identificação de potenciais melhorias das práticas de logística inversa adoptadas na indústria electrónica, através de pesquisa bibliográfica sobre gestão de logística inversa e melhoria de desempenho. De forma a incluírem uma abordagem empírica, os autores recolheram informação através da realização de questionários e entrevistas a organizações do sector.

2.4.1.5. Critério

No que respeita aos critérios utilizados na análise ou na tomada de decisão, os artigos analisados foram classificados em 3 tipos:

- Critério económico: a tomada de decisão é realizada com base na minimização de custos ou maximização da margem de lucro, bem como a análises económicas;
- Critério ambiental: a tomada de decisão é realizada com base em avaliações de impactos ambientais, minimização destes impactos e minimização de distância percorrida.
- Outro: Inclui outros critérios como social e técnico.

A identificação do critério considerado nos artigos analisados resulta na distribuição apresentada na Figura 2.10. Verifica-se que a maioria dos autores (15 artigos) foca-se nos aspectos económicos, sendo as questões ambientais abordadas em 9 artigos. De referir que tal como anteriormente (Figura 2.8 e Figura 2.9), em alguns artigos são considerados vários critérios de gestão na tomada de decisão (deste modo a soma do número de artigos na Figura 2.10 não corresponde aos 37 artigos analisados).

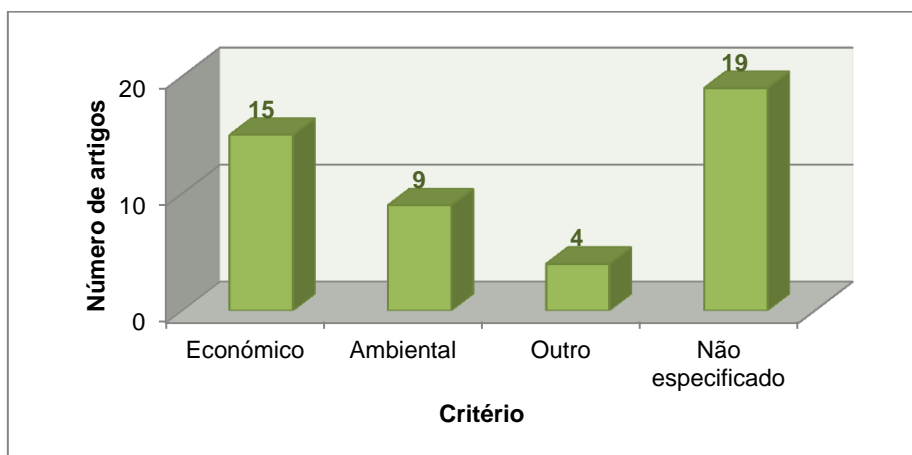


Figura 2.10: Distribuição de artigos por critério de gestão.

A análise detalhada dos artigos relativamente aos critérios considerados será abordada na subsecção 2.4.4 (p. 35).

2.4.2. Actividades Logísticas

De referir que só alguns artigos analisados apresentam modelos focados em actividades logísticas específicas. Outros autores (Ravi *et al.*, 2005; Georgiadis e Besiou, 2008, Georgiadis e Besiou, 2010) apresentam uma abordagem distinta.

Ravi *et al.* (2005) apresentam um modelo que hierarquiza as opções relacionadas com logística inversa para computadores em fim de vida. O modelo desenvolvido integra determinantes, dimensões e factores de logística inversa com diferentes alternativas de operacionalização logística disponíveis para os decisores, focando-se em três categorias de opções: **i.** Reprocessamento por terceiros (*Third Party Demanufacturing (TPD)*), **ii.** Conceito de Logística Simbiótica (*Symbiotic Logistics Concept (SLC)*) e **iii.** Rede Virtual de logística Inversa (*Virtual Reverse Logistics Network (VRL)*). O modelo proposto pelos autores é implementado numa empresa produtora de computadores, resultando, para este caso particular, a VRL como a melhor alternativa, seguida da SLC e TPD.

Georgiadis e Besiou (2008) desenvolvem um modelo dinâmico para avaliar o impacto da motivação para as questões ambientais e para as inovações tecnológicas, sendo este modelo implementado numa CA real em circuito fechado de EEE, na Grécia. Os autores concluem que, apenas, em 2011 a CA analisada tem capacidade para cumprir os requisitos da Directiva Europeia relativa aos REEE. Posteriormente (em 2010), os mesmos autores usam uma extensão deste modelo para investigar a relevância dos factores que compõem as estratégias ambientais e as características operacionais da mesma CA em circuito fechado nomeadamente, características da CA, do produto e factores económicos. Os autores concluem que a lei deve contemplar uma percentagem de recolha e reciclagem mais elevada que a actualmente definida, de forma a aumentar a sustentabilidade ambiental, por outro lado os produtores devem investir em matérias-primas recicladas, em actividades de recolha e reciclagem, relacionado a sua imagem “verde” ao aumento do preço dos seus produtos de forma a conseguir a sustentabilidade económica (Georgiadis e Besiou, 2010).

Como verificado anteriormente (Figura 2.8), os trabalhos realizados em matéria de gestão logística de REEE correspondem maioritariamente às actividades de configuração da rede logística e de gestão da procura.

2.4.2.1. Configuração da Rede Logística

Relativamente aos trabalhos relacionados com a configuração da rede logística, alguns autores integram esta actividade logística com outras actividades como a gestão da procura (Hanafi *et al.*, 2008), a gestão de *stocks* (Salema *et al.*, 2008a, 2008b) ou a gestão do transporte (Shih, 2001; Walther e Spengler, 2005; Salema *et al.*, 2008a, 2008b), enquanto outros focam o seu estudo apenas na configuração da rede logística (Knemeyer *et al.*, 2002; Krikke *et al.*, 2003; Barroso e Machado, 2005; Chang *et al.*, 2006; Lehtinen e Poikela, 2006; Chan e Chan, 2008; He *et al.*, 2008; Queiruga *et al.*, 2008; Grunow e Gobbi, 2009; Hui *et al.*, 2009; Tsai e Hung, 2009; Achillas *et al.*, 2010). Destes últimos, Knemeyer *et al.* (2002), Barroso e Machado (2005), Lehtinen e Poikela (2006), He *et al.* (2008) e Hui *et al.* (2009) apresentam modelos conceptuais.

Knemeyer *et al.* (2002) e Barroso e Machado (2005) apresentam modelos conceptuais de factores críticos que afectam o sistema de logística inversa de computadores em fim de vida e de gestão de resíduos, respectivamente. Lehtinen e Poikela (2006) propõem uma reestruturação da rede de recolha de REEE numa região do Norte da Finlândia com base na eliminação de etapas de valor não acrescentado. He *et al.* (2008) e Hui *et al.* (2009) apresentam propostas de organização da rede de recolha e tratamento de REEE na China. He *et al.* (2008) propõem, ainda, a adopção de determinadas medidas, de incentivo e punição à recuperação de REEE enquanto Hui *et al.* (2009) evidenciam factores críticos relativos à configuração da rede logística proposta, bem como medidas de protecção às operações do sistema de recolha e tratamento apresentado pelos autores.

Queiruga *et al.* (2008) e Achillas *et al.* (2010) focam-se no estudo da localização de unidades de tratamento e reciclagem. Queiruga *et al.* (2008) desenvolveram um modelo matemático que considera multi-critérios (económico, infra-estrutural e ecológico) e questionários a especialistas na tomada de decisão. O modelo resulta num *ranking* de municípios espanhóis, ou seja, uma lista ordenada dos locais de instalação de unidades de reciclagem. Achillas *et al.* (2010) desenvolvem um modelo matemático para determinar a localização óptima de unidades de tratamento e reciclagem na Grécia, considerando critérios económicos e sociais, de forma a conseguir a aceitação da população local e a viabilidade financeira da sua implementação.

Os autores Krikke *et al.* (2003), Chang *et al.* (2006) e Grunow e Gobbi (2009) recorrem a modelos de programação linear mista com o intuito de determinar a configuração da rede logística óptima. O modelo desenvolvido por Krikke *et al.* (2003) é multi-objectivo, integrando como objectivos os custos da cadeia logística e os impactos ambientais, tendo sido aplicado a um estudo de caso relativo à gestão de frigoríficos. Os autores concluem que uma rede logística centralizada é mais eficiente que uma rede logística descentralizada e que, em termos de uso de energia e produção de resíduos, a diferença entre estas alternativas é pouco significativa. O proposto por Chang *et al.* (2006) consiste num problema de

localização/afecção com o objectivo de minimizar o custo, sendo o modelo aplicado a um exemplo hipotético. O modelo de Grunow e Gobbi (2009) tem como objectivo apoiar o sistema de gestão de REEE na afectação eficiente dos pontos de recolha aos sistemas colectivos de recolha, considerando aspectos logísticos e a quota de mercado dos membros dos sistemas colectivos.

Tsai e Hung (2009) desenvolvem um modelo de dois estágios de decisão multi-objectivo em que no primeiro estágio é aplicado um modelo que realiza a selecção das entidades da rede logística que fazem o tratamento de REEE, considerando objectivos ambientais, económicos e associados ao desempenho da CA. Os materiais resultantes do tratamento de REEE (primeiro estágio) são usados no segundo estágio (fase de reciclagem) para produzir materiais recuperados, nesta etapa é utilizado um modelo de programação linear com o objectivo de maximizar o lucro, sob restrições ambientais que resulta em quantidades óptimas de materiais recuperados.

2.4.2.2. Gestão da Procura

Em termos de gestão da procura, os estudos desenvolvidos analisados têm como principal objectivo estimar a geração futura de tipos específicos de REEE em cidades, regiões ou países concretos (Jain e Sareen, 2006; Kang e Schoenung, 2006; Peralta e Fontanos, 2006; Kumar e Shrihari, 2007; Leigh *et al.*, 2007; Yoshida *et al.*, 2009; Dwivedy and Mittal, 2010 e Steubing *et al.*, 2010). No entanto, Hanafi *et al.* (2008) e Gamberini *et al.* (2010) desenvolvem modelos de previsão da quantidade de REEE numa fase intermédia do trabalho, com o objectivo de considerar o valor da previsão como *input* das fases seguintes do estudo.

O modelo de previsão da quantidade de produtos em fim de vida desenvolvido por Hanafi *et al.* (2008) integra dados históricos e demográficos característicos da região em análise. Os resultados obtidos servem de base à optimização da rede de recolha de telemóveis na Austrália, com o objectivo de minimizar o custo logístico e o impacto ambiental.

Gamberini *et al.* (2010) consideram o modelo de previsão da quantidade de REEE recolhida na fase inicial de uma proposta de metodologia (constituída por um conjunto de fases) para a gestão de transporte de REEE, entre vários pontos de recolha e uma unidade de tratamento, numa região do norte de Itália.

2.4.2.3. Armazenagem

Gamberini *et al.* (2009) focam-se na área de manuseamento e acondicionamento de materiais contribuindo, também, para respectivo transporte. Os autores propõem a utilização de um contentor, com características específicas, para a armazenagem, manuseamento e transporte

de monitores com tubos de raios catódicos (CRT) e frigoríficos, entre os pontos de recolha e uma unidade de tratamento de REEE. A análise comparativa efectuada entre o contentor utilizado e o contentor proposto revela uma redução significativa dos custos logísticos. Os autores referem ainda a possibilidade de redução do risco de acidentes no manuseamento dos materiais e de contaminação do ambiente com a utilização do contentor proposto.

2.4.2.4. Gestão de Stocks

No que respeita à gestão de *stocks*, apenas Salema *et al.* (2008a, 2008b) abordam este tema, ainda que integrado com outras actividades logísticas. Salema *et al.* (2008a) adaptaram o modelo que já tinham desenvolvido anteriormente para a resolução de um caso de estudo, cujo objectivo é definir a localização dos centros de triagem que devem enviar REEE para as duas unidades de reciclagem já existentes. O modelo selecciona a localização de centros de triagem, o tipo de REEE a transportar entre os centros de triagem e as unidades de reciclagem, o nível de *stock* em cada instalação, bem como o modo de transporte, considerando como objectivo a minimização do custo total da rede logística. O trabalho realizado por Salema *et al.* (2008b) é uma extensão do modelo anterior, acrescentando mais um nível à CA a montante dos centros de triagem, correspondente aos centros de recolha de REEE.

2.4.2.5. Gestão de Transporte

Em termos de gestão de transporte, a maioria dos trabalhos apresenta uma abordagem de integração com outras áreas logísticas (Shih, 2001; Walther e Spengler, 2005; Salema *et al.*, 2008a, 2008b; Gamberini *et al.*, 2009; Gamberini *et al.*, 2010). Apenas Nagurney e Toyasaki (2005), Kim *et al.* (2009) e Machado *et al.* (2010) se focam apenas na gestão de transporte de REEE. A análise dos modelos desenvolvidos nesta área logística é abordada na secção seguinte.

2.4.3. Modelos de Gestão de Transporte de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

São relativamente poucos os modelos de gestão de transporte de REEE identificados na literatura, consistindo a maioria em modelos matemáticos (Shih, 2001; Nagurney e Toyasaki, 2005; Walther e Spengler, 2005; Salema *et al.*, 2008a, 2008b; Kim *et al.*, 2009; Gamberini *et al.*, 2010). Apenas Machado *et al.* (2010) e Gamberini *et al.* (2010) desenvolvem um modelo conceptual e de simulação respectivamente.

Machado *et al.* (2010) propõem um modelo de afectação de centros de triagem a unidades de tratamento e valorização por tipo de REEE com o objectivo de minimizar o custo associado à gestão de REEE. Estes autores desenvolvem também um modelo conceptual de gestão conjunta que consiste na gestão de transporte agregada de dois centros de triagem que transportam resíduos para um mesmo centro de tratamento e valorização de destino.

Gamberini *et al.* (2010) apresentam uma metodologia para o planeamento de transporte de REEE entre os pontos de recolha e uma unidade de tratamento. Os autores adoptam uma abordagem integrativa que inclui previsão da quantidade de REEE, definição de critérios de desempenho, determinação de conjuntos de rotas e simulação de cenários com base nos conjuntos de rotas definidos. A determinação das rotas de transporte é realizada através da aplicação de um algoritmo de resolução de um problema VRP (*Vehicle Routing Problem*).

Kim *et al.* (2009) focam-se no caso de gestão logística de REEE na Coreia do Sul. Os autores adoptam uma abordagem VRP na gestão de transporte de EEE em fim de vida recolhidos pelas autoridades locais e por centros de distribuição de grandes produtores para 4 centros de reciclagem regionais. Estes autores aplicam *Tabu search* para resolver o problema, com o objectivo de minimizar a distância percorrida no transporte.

Os autores Shih (2001), Walther e Spengler (2005) e Salema *et al.* (2008a, 2008b) desenvolvem modelos de programação linear mista.

O modelo apresentado por Shih (2001) tem como objectivo criar um sistema optimizado de recolha e reciclagem de computadores e electrodomésticos em fim de vida. Com a aplicação do modelo pretende-se obter o fluxo óptimo dos produtos em fim de vida entre os pontos de recolha, os armazéns, os centros de reciclagem e os locais de deposição final. O objectivo do modelo consiste na minimização do custo total, que inclui o custo de transporte entre as várias entidades, custo de tratamento e custo fixo associado às instalações. As receitas da venda de material recuperado também são incluídas na função objectivo.

Walther e Spengler (2005) apresentam um modelo linear de fluxo de material com o intuito de optimizar a alocação de REEE e as actividades associadas, ou seja, processos de transporte e transformação de REEE. O objectivo é maximizar a margem de lucro anual que inclui as receitas das vendas e os custos de transporte, triagem e desmantelamento. O modelo é aplicado a um caso de estudo relativo a uma região da Alemanha. É realizada uma análise de vários cenários, sendo uma das análises respeitante ao transporte de REEE com base num factor de custo de transporte que inclui os parâmetros relativos à utilização dos veículos, ao tipo de veículo e a viagens de ida ou ida/volta.

Os modelos desenvolvidos por Salema *et al.* (2008a, 2008b), analisados anteriormente (p. 33), incluem a gestão de transporte de REEE integrada com outras actividades logísticas. Em termos de transporte, os modelos desenvolvidos realizam o planeamento, seleccionando o tipo

de veículo a utilizar e a quantidade de REEE a transportar entre os centros de triagem e as unidades de reciclagem.

Apesar dos autores Nagurney e Toyasaki (2005) desenvolverem modelos matemáticos, o processo de modelação é distinto dos já referidos. Estes autores propõem um modelo de GCA de REEE em que são formulados os comportamentos dos vários decisores integrados no sistema. Estes decisores consistem em fontes de REEE, entidades de reciclagem, bem como consumidores de produtos recuperados. O modelo integra as opções dirigidas aos decisores, relacionadas com o transporte de material para a entidade a jusante na cadeia logística, o consumo ou com a deposição em aterro, considerando os custos associados. Esta proposta permite modelar e analisar o fluxo de material bem como os preços associados aos vários tipos de decisores na cadeia logística de REEE.

2.4.4. Critérios na Tomada de Decisão

Na tomada de decisão podem ser considerados diferentes critérios. Da análise realizada anteriormente aos critérios considerados, em termos de gestão logística de REEE, verifica-se que a maioria dos autores foca-se no critério económico (Figura 2.10).

Dos autores que consideram o critério económico, alguns focam-se unicamente neste critério (Shih, 2001; Walther e Spengler, 2005; Chan *et al.*, 2006; Salema *et al.*, 2008a, 2008b; Grunow e Gobbi, 2009; Geyer e Blass, 2010; Machado *et al.*, 2010), enquanto outros integram-no com outros critérios.

Krikke *et al.* (2003), Hanafi *et al.* (2008), Gamberini *et al.* (2009) e Georgiadis e Besiou (2010) apresentam uma abordagem em que integram factores económicos e ambientais. De facto, os factores ambientais têm-se tornado alvo do interesse de alguns autores. Neste âmbito Neto *et al.* (2010) desenvolvem um estudo com o objectivo de verificar se as CA em circuito fechado podem ser consideradas CA sustentáveis em termos ambientais, apresentando como exemplo o caso da CA de REEE.

Outros autores, como Queiruga *et al.* (2008) e Achillas *et al.* (2010), adoptam uma abordagem multi-critério em que consideram vários critérios na tomada de decisão. O modelo desenvolvido por Queiruga *et al.* (2008) tem em conta factores económicos, infra-estruturais e ecológicos. Achillas *et al.* (2010) considera factores económicos e sociais na selecção da localização das unidades de tratamento e reciclagem.

De acordo com a análise global, em termos de gestão de transporte a maioria dos autores foca-se no critério económico, através da minimização do custo (Shih, 2001; Salema *et al.*, 2008a, 2008b; Machado *et al.*, 2010) ou da maximização da margem de lucro (Walther e Spengler, 2005). Apenas Kim *et al.* (2009) considera a minimização da distância

percorrida no transporte de REEE entre os locais de recolha dos resíduos e os centros de reciclagem e Gamberini *et al.* (2010) apresenta uma abordagem multi-critério integrando uma perspectiva ambiental e técnica.

A secção seguinte consiste na apresentação do caso de estudo relativo à entidade gestora em análise e sobre o qual se desenvolvem os modelos de apoio à gestão do transporte de REEE entre duas entidades da rede logística.

CAPÍTULO 3

CASO DE ESTUDO

O presente capítulo tem como objectivo a apresentação do caso de estudo e a descrição do funcionamento do sistema em análise. O caso de estudo apresentado diz respeito a um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (SIGREEE) gerido por uma entidade portuguesa gestora de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE).

O capítulo está organizado em três secções. A primeira secção faz uma breve apresentação da entidade gestora em análise. A segunda secção descreve o sistema de recolha, recepção e tratamento dos REEE e as funções das principais entidades envolvidas. A última secção aborda detalhadamente o funcionamento e a evolução do subsistema Centro de Recepção (CR) / Unidade de Tratamento e Valorização (UTV) em estudo.

3.1. Entidade Gestora

A entidade gestora de REEE em estudo obteve a respectiva licença para a actividade de gestão de REEE, pelo Despacho conjunto n.º 354/2006 de 27 de Abril de 2006, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e do Ministério da Economia e Inovação, tendo sido recentemente licenciada para o exercício da actividade de gestão de resíduos de pilhas e acumuladores portáteis e de resíduos de pilhas e acumuladores industriais incorporáveis em equipamentos eléctricos e electrónicos, pelo Despacho n.º 1262/2010, de 12 de Janeiro, do Secretário de Estado do Ambiente.

Em 2009, a entidade gestora contava com 60 empresas associadas (das quais 57 fundadoras) e mais de 1000 utentes. De acordo com a Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (ANREEE), a quota de mercado em Portugal, em 2009, dos produtores aderentes a esta entidade corresponde a 65,94%.

Os produtores de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (EEE) podem aderir a esta entidade gestora como associados ou como utentes. Os associados têm o direito de participar nas “Assembleias Gerais” e, ainda, nas reuniões, contribuindo, assim, para a definição da política e regras de funcionamento interno da entidade gestora. Os utentes adquirem a conformidade legal, como os anteriores, e beneficiam dos serviços inerentes ao SIGREEE gerido pela entidade em estudo.

3.1.1. Fluxos Operacionais de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

O âmbito de actuação da entidade gestora abrange todos os tipos de REEE originados pelos produtos em fim de vida, correspondentes às 10 categorias apresentadas na Tabela 2.1 (Capítulo 2) (Despacho conjunto n.º 354/2006). No entanto, para um processo de tratamento eficiente, os REEE são agrupados em cinco fluxos operacionais. Os fluxos operacionais em

que são classificados os resíduos englobam todos os equipamentos das 10 categorias legais em que são classificados. Os fluxos operacionais e as categorias de EEE que abrangem estão discriminados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Fluxos operacionais de REEE.

Fluxo	Designação	Categorias Legais
A	Grandes electrodomésticos	1, 10
B	Equipamentos de refrigeração e congelação contendo CFC	1, 8 e 10
C	Pequenos equipamentos	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 e 10
D	Equipamentos de iluminação	5
E	Aparelhos de televisão e monitores de tubos de raios catódicos (CRT)	3 e 4

Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

De referir que o fluxo operacional D (Equipamentos de iluminação) não faz parte do âmbito deste trabalho, estando, por este motivo, excluído da análise e modelação do sistema em estudo. Este tipo de fluxo não é considerado neste estudo uma vez que apresenta características muito distintas dos restantes tipos de fluxo, sendo este tipo de REEE normalmente armazenado e transportado separadamente dos restantes.

Desde o início da actividade da entidade gestora, a quantidade de cada tipo de fluxo de REEE recolhida para tratamento apresenta uma tendência positiva. A Figura 3.1 apresenta a quantidade anual de REEE, em peso, enviada, anualmente, para as Unidades de Tratamento e Valorização (UTV) por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.

Analisando a Figura 3.1, verifica-se que a quantidade (peso) total de REEE enviada para as UTV apresenta uma tendência positiva. Registou-se um crescimento de cerca de 335% da quantidade de REEE à entrada das UTV, entre 2007 e 2008 e de cerca de 54%, entre 2008 e 2009. A elevada variação inicial pode dever-se ao aumento da adesão da população ao SIGREEE e à existência de resíduos “históricos”, verificando-se, posteriormente, um aumento menos significativo, devido à natural estabilização.

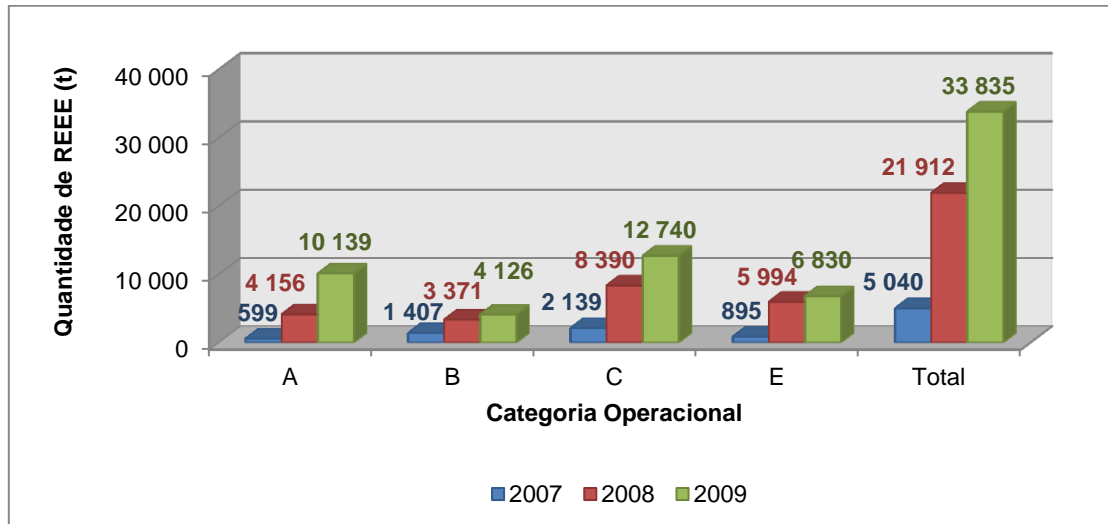


Figura 3.1: Quantidade (peso) de REEE enviada anualmente para as UTV, por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.

Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

Relativamente ao fluxo A, observa-se uma evolução positiva. A quantidade (peso) deste fluxo, recebida nas UTV, tem aumentado desde 2007. O aumento da quantidade de REEE enviada para as UTV é de cerca de 594% entre 2007 e 2008 e de 144% entre 2008 e 2009.

Os fluxos B e E apresentam um comportamento semelhante. A quantidade de cada tipo de fluxo sofreu um aumento significativo em 2008, relativamente a 2007, de 140% e 570%, respectivamente. No entanto, em 2009, o aumento da quantidade destes tipos de fluxo enviada para as UTV, em relação a 2008, foi apenas de 22% para o fluxo B e 14% para o fluxo E.

No que diz respeito ao fluxo C, verifica-se que a evolução da quantidade deste fluxo enviada para as UTV acompanha a evolução do fluxo total de REEE, apresentando um crescimento de cerca de 292% em 2008 (relativamente a 2007) e de 52% em 2009 (em relação a 2008).

O aumento das quantidades de REEE dos tipos de fluxo A e C enviados para as UTV pode ser justificado pela crescente adesão da população, resultante de campanhas de sensibilização realizadas pela entidade gestora desde o início da sua actividade.

A representatividade relativa dos diferentes tipos de fluxos operacionais, no período de 2007 a 2009, evoluiu de forma distinta, desde o início da actividade da entidade gestora, como é possível observar na Figura 3.2, para o período de 2007 a 2009.

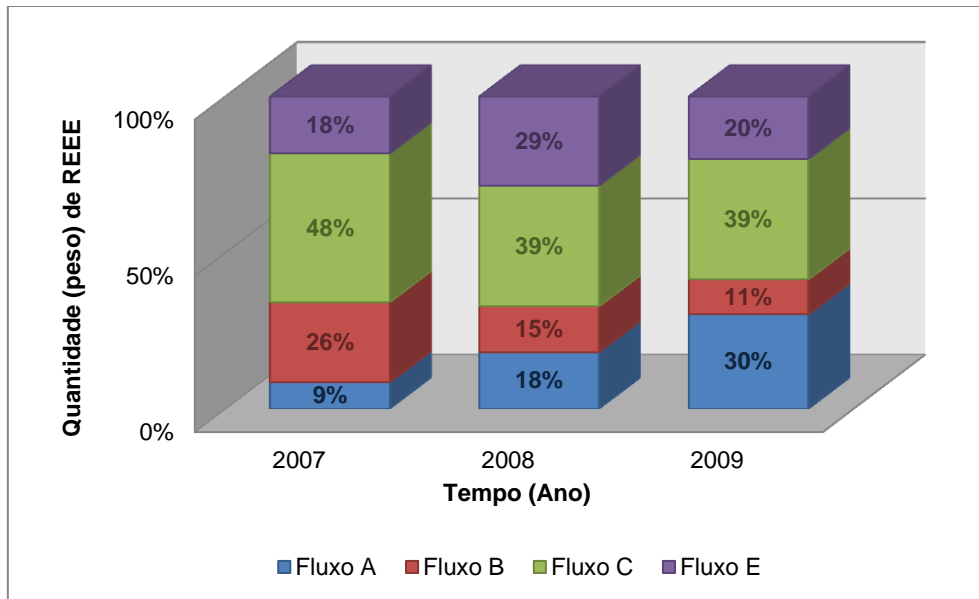


Figura 3.2: Quantidade (peso total) de REEE enviada anualmente para as UTV, por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.

Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

A análise da Figura 3.2 revela uma evolução positiva da representatividade do fluxo A. Este tipo de fluxo passa da menos tratada em 2007, correspondendo a 9% da quantidade de REEE recebida nas UTV nesse ano, para a segunda mais tratada em 2009, correspondendo a 30% da quantidade total de REEE. A evolução positiva do fluxo A pode estar relacionada com a perda de representatividade do fluxo B, que passa de 26%, em 2007, para 11%, em 2009.

Relativamente ao fluxo C, não são verificadas diferenças significativas entre 2007 e 2009 (9%) sendo que em 2009 representa 39% da quantidade anual de REEE recebida nas UTV, mantendo-se, no período de 2007 a 2009, como o tipo de fluxo mais tratado no sistema integrado.

A representatividade do fluxo E tem sofrido flutuações ao longo do período em análise. Representou, em 2007, 18% da quantidade de REEE recebida nas UTV, atingiu a sua representatividade máxima (29%) em 2008, e finalizou o período de análise (2009) com 20% da quantidade total.

3.2. Sistema Logístico de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

A actividade operacional da entidade gestora consiste na gestão de quatro processos:

- i. Recolha de REEE;

- ii. Recepção e triagem dos REEE por fluxos operacionais, de acordo com a Tabela 3.1.
- iii. Transporte de REEE entre:
 - a. Os locais de recolha e os Centros de Recepção (CR) e
 - b. Os CR e as Unidades de Tratamento e Valorização (UTV).
- iv. Tratamento de REEE;

O sistema logístico de REEE gerido pela entidade gestora em estudo está representado na Figura 3.3.

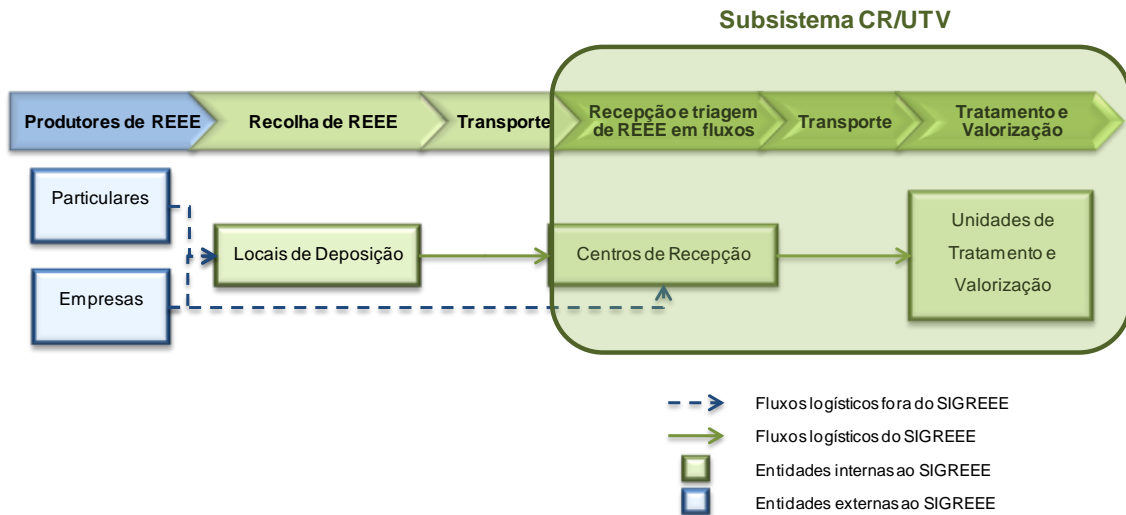


Figura 3.3: Sistema logístico de REEE.

Fazem parte do sistema logístico de REEE entidades essenciais ao seu funcionamento, pelo que é necessário compreender quais as suas funções e a sua importância neste sistema.

Os particulares detentores de REEE podem colocar os resíduos em locais de deposição. Os locais de deposição são pontos que fazem parte do sistema logístico de REEE e cuja função é armazenar os REEE entregues pelos particulares que posteriormente são transportados para os CR.

As empresas podem entregar os REEE num local de deposição, ou directamente num Centro de Recepção (CR).

O processo desde a recepção dos REEE nos CR até ao seu tratamento nas UTV é descrito detalhadamente na secção seguinte uma vez que o presente estudo foca-se no subsistema que envolve os CR e as UTV, designado a partir de agora de subsistema CR/UTV, sendo a gestão do transporte dos REEE entre as referidas entidades, o objectivo deste trabalho.

3.3. Subsistema Centro de Recepção/Unidade de Tratamento e Valorização

Os CR são entidades que recebem os REEE (provenientes de locais de recolha ou Empresas) e onde se efectua a triagem dos REEE por tipo de fluxo operacional. As UTV são entidades licenciadas para o tratamento e valorização de todas ou apenas alguns tipos de fluxo de REEE. Analisa-se, em seguida, o funcionamento e a evolução do subsistema em análise.

3.3.1. Evolução

O subsistema CR/UTV, em 2009, era constituído por 82 CR e 14 UTV, distribuídos geograficamente pelo território português (continente e ilhas). Para este estudo, apenas são considerados os dados referentes aos CR e UTV localizados em Portugal Continental.

No período em análise, 2007 a 2009, o número de CR e UTV que constituíam o SIGREEE, situados em Portugal Continental, numa superfície de aproximadamente 88500 km² (Figura 3.4), aumentou (Figura 3.5).

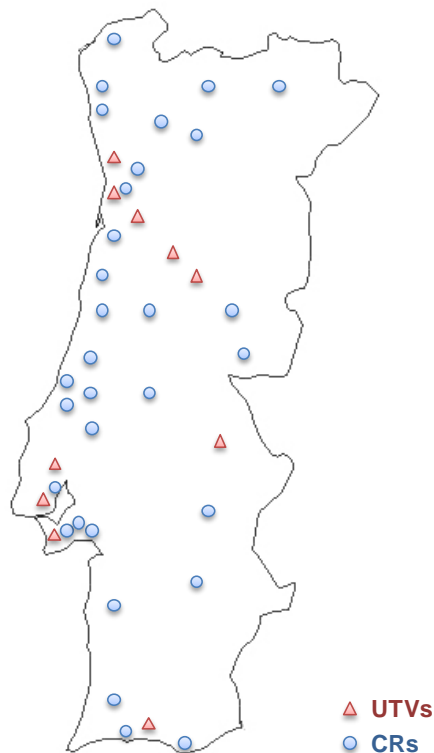


Figura 3.4: Localização das UTV e de alguns CR.

Analisando a evolução anual do número de CR e UTV, verifica-se que, em 2008, o SIGREEE passou a contar com mais 3 UTV e 19 CR do que em 2007, o que corresponde a um aumento

de cerca de 75% do número de UTV e de 50% do número de CR. Em 2009, integravam o SIGREEE 10 UTV e 68 CR (aumento de 580%).

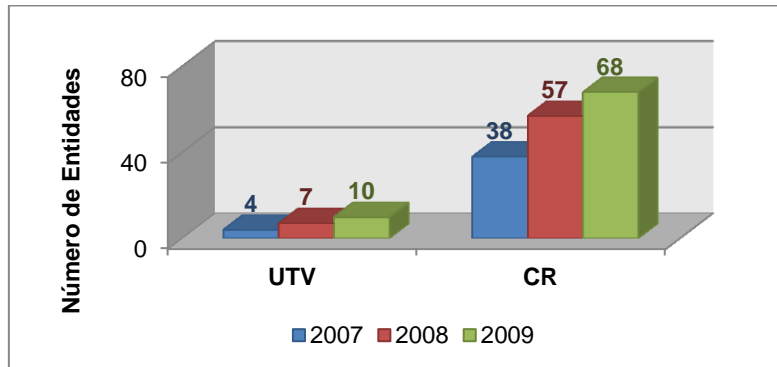


Figura 3.5: Número de CR e UTV em Portugal Continental, entre 2007 e 2009.
Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

A quantidade de REEE recebida nos CR também sofreu uma evolução irregular ao longo do período em análise, como se pode observar na Figura 3.6. A quantidade mensal (peso total) de REEE recebida nos CR apresenta uma tendência positiva entre Janeiro de 2007 e Janeiro de 2009 (12975%), e negativa após este período (-66%).

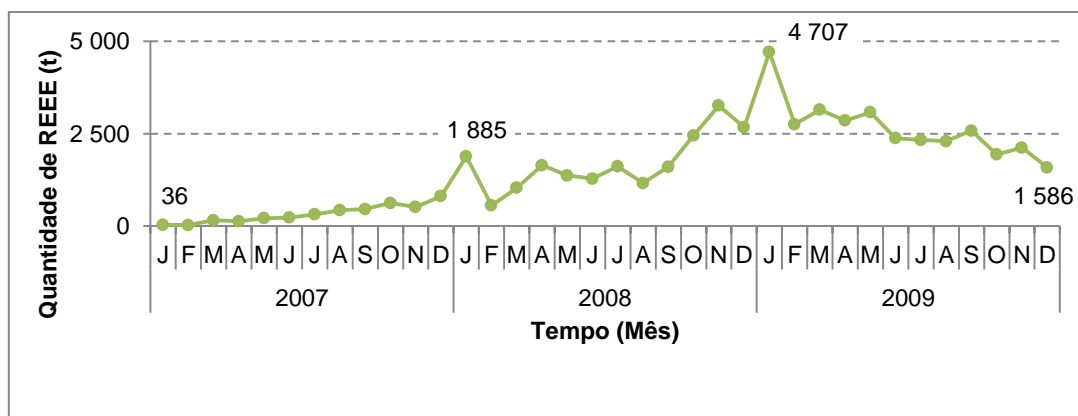


Figura 3.6: Quantidade (peso total) de REEE mensalmente recebida nos CR, entre 2007 e 2009.
Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

Analisando a evolução da quantidade de REEE recebida nos CR (Figura 3.6), verifica-se a existência de dois valores relativamente elevados nos meses de Janeiro de 2008 e 2009. Pela análise da Figura 3.7, que apresenta a evolução mensal dos diferentes tipos de fluxo para o mesmo período de tempo em análise, conclui-se que o valor relativo a Janeiro de 2009 é uma consequência da evolução da quantidade de REEE de fluxo C recebida nos CR, enquanto o de Janeiro de 2008 resulta de um aumento da quantidade dos fluxos C e E recebida nos CR.

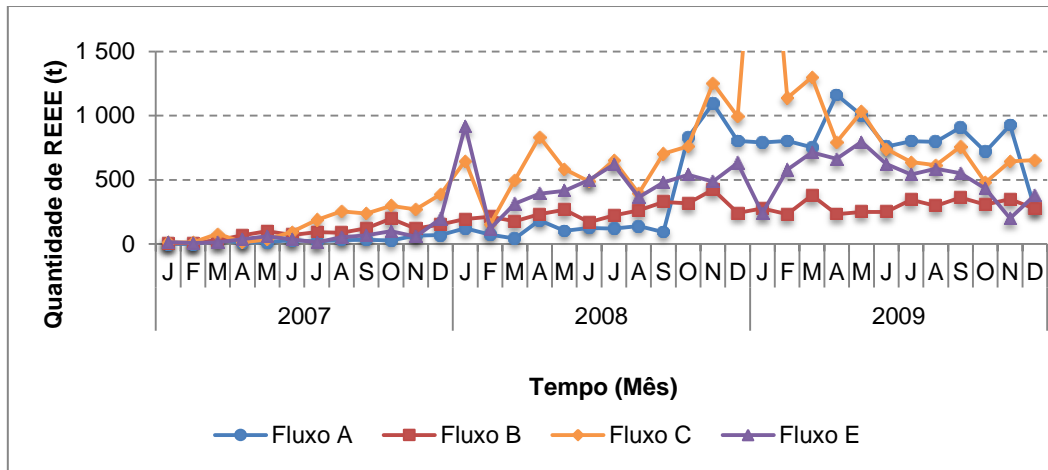


Figura 3.7: Quantidade (peso total) de REEE recebida mensalmente nos CR, por tipo de fluxo, entre 2007 e 2009.
Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

Com exceção dos tipos de fluxo B e E, em que a quantidade (peso) recebida nos CR se manteve aproximadamente constante a partir de Setembro de 2008, constata-se, na Figura 3.7, que todos os tipos de fluxo apresentam um comportamento idêntico da quantidade (peso total) de REEE recebida nos CR, sendo notório um aumento mais significativo dos fluxos A e C, entre Setembro e Novembro de 2008, relativamente aos outros fluxos.

A representatividade de cada uma das UTV também sofreu alterações entre 2007 e 2009 (Figura 3.8).

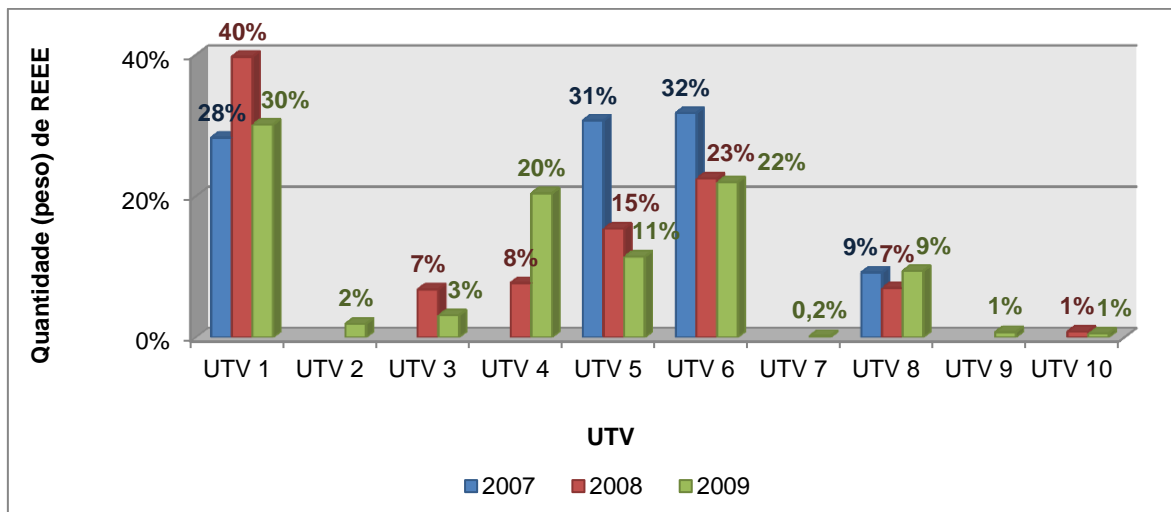


Figura 3.8: Quantidade (peso total) de REEE enviada anualmente para as UTV, entre 2007 e 2009.
Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

Analisando a Figura 3.8, verifica-se as UTV₁, UTV₅ e UTV₆ receberam, respectivamente 91% e 78% do fluxo total de REEE em 2007. Esta redução deve-se ao facto de terem entrado outras UTV para o SIGREEE.

De 2007 a 2009 a UTV₅ perdeu representatividade. Em 2007 esta UTV recebeu 31% da quantidade total de REEE enviada para as UTV, enquanto em 2009 passou a ter uma representatividade de apenas 11%. No entanto, a UTV₄, que integrou o SIGREEE em 2008, passou a fazer parte das três UTV mais representativas em 2009, recebendo 20% da quantidade total de REEE enviada para as UTV.

Uma análise da quantidade de REEE recebida nas UTV em 2009 (Figura 3.9) permite verificar uma evolução aproximada à estabelecida pela lei de Pareto. Em 2009, as UTV₁, UTV₆ e UTV₄ representavam 30% do número total de UTV e 72% da quantidade de REEE (em peso) enviada para as UTV.

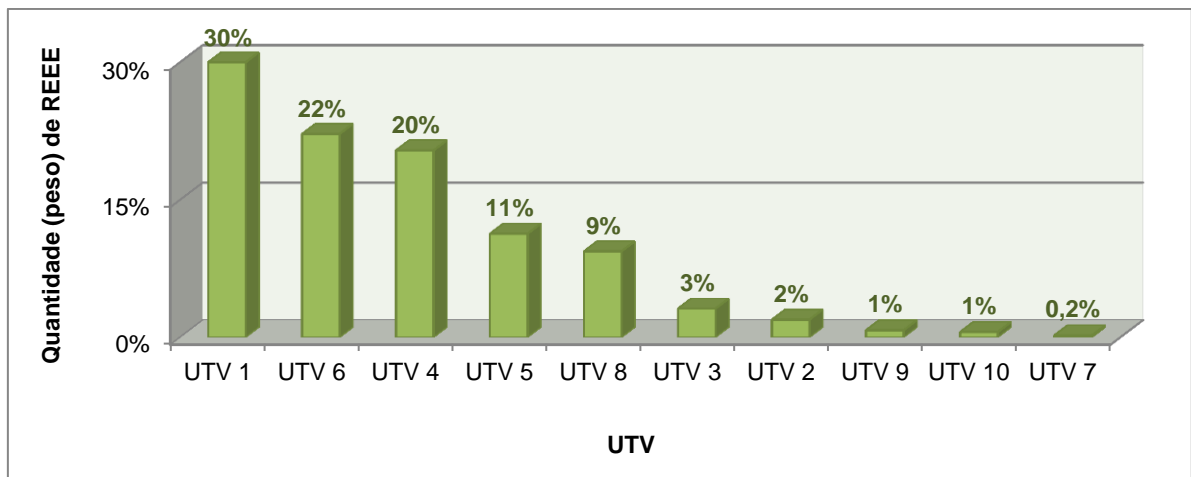


Figura 3.9: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009.
Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

3.3.2. Funcionamento

O processamento dos REEE, desde a sua recepção, nos CR, até ao seu tratamento, nas UTV, é constituído por várias operações, representadas na Figura 3.10.

À entrada do CR, após a sua recepção, os REEE são pesados, passando para o processo de triagem por fluxo operacional. A triagem consiste na selecção e agrupamento dos REEE por tipo de fluxo (Tabela 3.1), de acordo com a sua composição e características. Posteriormente, os REEE são armazenados em contentores até que seja autorizada a sua saída para a UTV, onde serão tratados e valorizados. Cada contentor, existente nos CR para armazenar os REEE, tem 30 m³ de capacidade e apresenta um custo de aluguer mensal de 90 €. Actualmente, cada CR possui pelo menos dois contentores. Quando o segundo contentor está

quase cheio, o CR contacta a entidade gestora solicitando a recolha dos contentores. A autorização de saída dos resíduos é concedida pela entidade gestora após contacto e agendamento do transporte com o operador logístico responsável pela recolha dos REEE nos CR e respectivo transporte para as UTV. Os REEE à saída do CR são pesados e, posteriormente, transportados para a UTV de destino.

O transporte dos REEE entre os CR e as UTV é realizado por veículos com 60 m³ de capacidade, isto é, com capacidade para transportar dois contentores. É de referir que o transporte de REEE é sempre realizado entre um CR e uma UTV. O custo de transporte entre um CR e uma UTV é, em média, de 1 € por quilómetro percorrido.

À semelhança do procedimento que é realizado no CR, à saída dos fluxos de REEE, à entrada da UTV os fluxos são pesados, sendo a informação reportada à entidade gestora. Posteriormente, a UTV é responsável por tratar e valorizar os REEE recebidos.

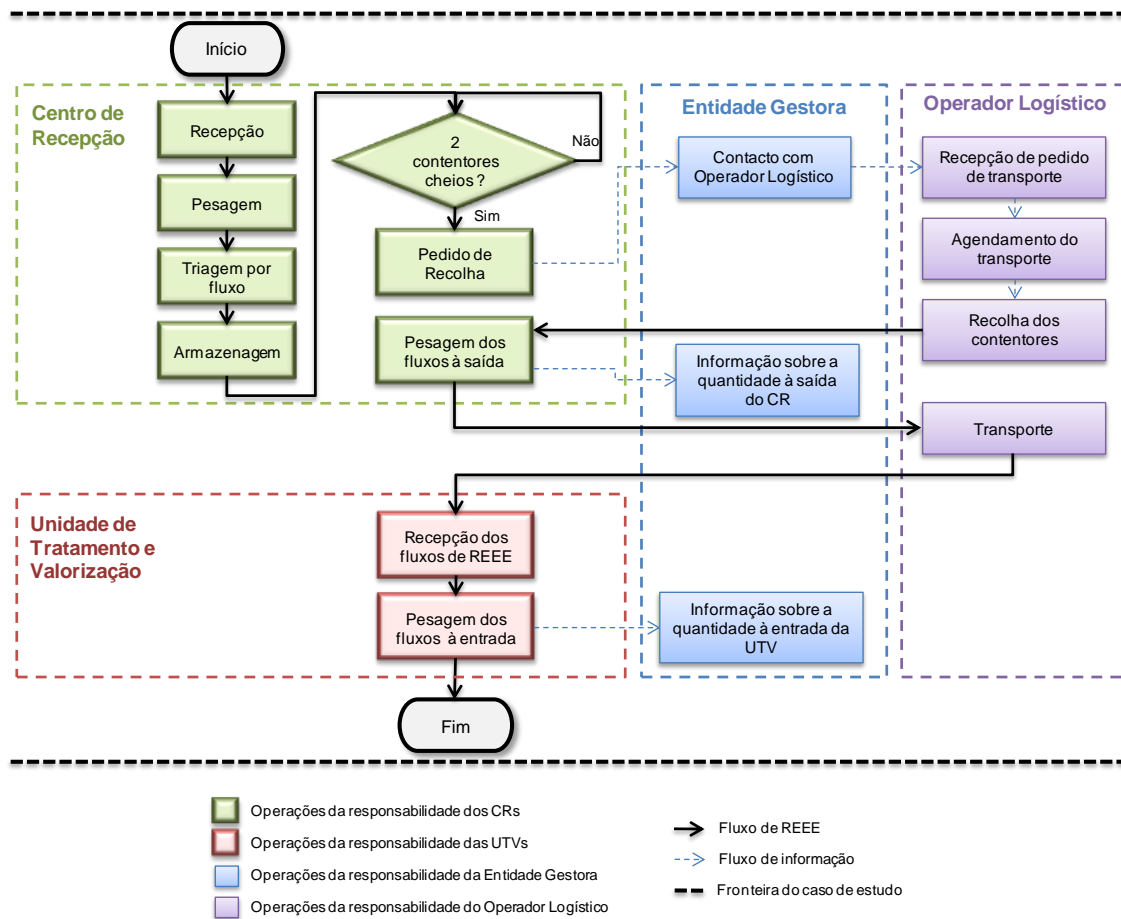


Figura 3.10: Funcionamento do subsistema CR/UTV.

As UTV integradas no SIGREEE estão aptas para tratar e valorizar determinados tipos de fluxo, de acordo com a licença atribuída, uma vez que cada tipo de fluxo, dada a sua especificidade, é processado e valorizado de um modo próprio, de acordo com os

componentes que o constituem. O custo de tratamento dos REEE varia de acordo com o tipo de fluxo e a UTV onde é tratado (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Custos de tratamento por UTV e tipo de fluxo de REEE.

UTV/ Fluxo	Custo de tratamento (€/t)			
	A	B	C	E
UTV ₁	0	-	100	300
UTV ₂	0	-	100	-
UTV ₃	0	-	120	-
UTV ₄	0	-	100	-
UTV ₅	60	255	220	430
UTV ₆	0	< 70 t/mês: 270	< 170 t/mês: 110	< 70 t/mês: 430
		≥ 70 t/mês: 250	≥ 170 t/mês: 100	≥ 70 t/mês: 400
UTV ₇	0	-	120	-
UTV ₈	0	-	120	-
UTV ₉	0	-	120	-
UTV ₁₀	0	-	120	-

Fonte: Dados disponibilizados pela entidade gestora.

Da análise da Tabela 3.2 verifica-se, por exemplo, que a UTV₁:

- i. não está apta a tratar o tipo de fluxo B,
- ii. o custo de tratamento para o fluxo A é nulo, e
- iii. o custo de tratamento dos fluxos C e E é, respectivamente, 100 e 300 € por tonelada.

Observa-se, ainda, que a UTV₆ apresenta custos de tratamento que variam com a quantidade de fluxo que recebe mensalmente. No caso da do fluxo B, por exemplo, a UTV apresenta um custo de tratamento de 250 € por tonelada, no caso de receber mensalmente uma quantidade de REEE igual ou superior a 70 toneladas, caso contrário o custo de tratamento é de 270 € por tonelada. A Tabela 3.3 apresenta a quantidade média mensal de cada tipo de fluxo de REEE enviada, em 2009, para a UTV₆ e o respectivo custo de tratamento.

Tabela 3.3: Quantidade média mensal de REEE e custo tratamento na UTV₆, por tipo de fluxo.

	Tipo de fluxo de REEE			
	A	B	C	E
Quantidade média mensal (t)	63,49	171,63	201,66	144,95
Custo de tratamento (€/t)	0	250	100	400

Em 2009, os 68 CR localizados em Portugal Continental enviavam os REEE recepcionados para as UTV integradas no SIGREEE de acordo com as respectivas licenças de tratamento. O número de CR afectos às UTV, por tipo de fluxo, é apresentado na Tabela 3.4.

Da análise ao número de CR afectos às UTV verifica-se que, independentemente do tipo de fluxo, as UTV que apresentam mais CR afectos são a UTV₅ e a UTV₆.

Tabela 3.4: Afectação dos CR às UTV por tipo de fluxo.

UTV \ Fluxo	Número de CR afectos			
	A	B	C	E
UTV ₁	5	-	6	7
UTV ₂	1	-	1	-
UTV ₃	1	-	1	-
UTV ₄	1	-	-	-
UTV ₅	17	29	24	29
UTV ₆	19	27	23	30
UTV ₇	1	-	1	-
UTV ₈	9	2	9	2
UTV ₉	1	-	1	-
UTV ₁₀	3	-	3	-

De salientar que a UTV₈ apresenta dois CR (CR₂₃ e CR₂₈) afectos aos fluxos B e E, para os quais esta UTV não dispõe de licença de tratamento. Embora estes fluxos sejam enviados para a UTV₈, esta comporta-se como um CR intermédio, isto é, limita-se a enviá-los para a UTV₆ onde serão tratados. Este facto indica que não existe um critério comum na tomada de decisão relativamente à gestão de REEE, sendo umas vezes considerado o transporte directo para a UTV de tratamento e outras vezes o transporte não é feito directamente para a UTV onde os REEE são tratados.

O facto da maioria dos CR enviar os REEE, para 2 das 10 UTV do SIGREEE, conjugado com uma aparente gestão sem critério comum definido, sugere a definição de um modelo de gestão de REEE entre os CR e as UTV.

Considerando como exemplo o CR₂₇, actualmente este CR apresenta as seguintes características:

- Recepciona REEE do tipo A, B, C e E;
- Mantém nas suas instalações 2 contentores para armazenar os REEE dos 4 tipos de fluxo;
- Envia todos os tipos de fluxo (i.e. transporte multifluxo) para a UTV₅.

Analisando a localização dos CR e das UTV verificou-se que a UTV₃ está mais próxima geograficamente do CR₂₇ do que a UTV₅, para onde são enviados os REEE. Assim, realizou-se uma análise comparativa entre o modelo actual e dois modelos alternativos de gestão dos REEE do tipo C no CR₂₇ (Tabela 3.5).

Tabela 3.5: Análise comparativa entre o modelo actual e modelos alternativos de gestão dos REEE do tipo C no CR₂₇

Modelo	UTV	Distância CR-UTV (km/ano)	Custo de Transporte (€/ano) (a)	Custo de Tratamento (€/ano) (b)	Custo Total (a)+(b)
Actual	UTV ₅	1 053	1 053	10 331	11 384
1	UTV ₃	646	646	5 635	6 281
2	UTV ₁	976	976	4 696	5 672

Analisando a Tabela 3.5, verifica-se que segundo o modelo 1 a UTV de destino dos REEE do tipo C (UTV₃) está mais próxima do CR, o que resulta numa diminuição da distância percorrida anualmente, no transporte deste tipo de fluxo, face ao modelo actual. Esta diminuição da distância tem como consequência a diminuição do custo de transporte e, conseqüentemente o custo total (transporte e tratamento). No entanto, segundo o modelo 2 é possível obter um custo total mais reduzido. De acordo com este modelo, a UTV de destino do tipo de fluxo C tem um custo de tratamento associado menor. Assim, apesar de estar mais longe do CR, e de resultar num custo de transporte superior ao do modelo 1, o custo total obtido é menor comparativamente aos restantes modelos. Para além destes factores, também poderá ser considerado o número de contentores a permanecer no CR, em função dos tipos de fluxo de REEE a transportar para cada UTV, e conseqüentemente o respectivo custo de aluguer. A análise realizada permite, então, reconhecer a necessidade de desenvolver um modelo de gestão de REEE com critérios de gestão que permitam melhorar o desempenho do subsistema CR/UTV.

O modelo de gestão de REEE, entre os CR e as UTV, a estabelecer deverá considerar:

- i. o custo de aluguer dos contentores nos CR,
- ii. o custo do transporte entre os CR e as UTV e
- iii. o custo de tratamento dos REEE.

No capítulo seguinte será desenvolvido o modelo de apoio à gestão do transporte de REEE dos CR para as UTV, considerando as características do subsistema CR/UTV analisado.

CAPÍTULO 4

MODELOS DE APOIO À GESTÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS E ELECTRÓNICOS ENTRE CENTROS DE RECEPÇÃO E UNIDADES DE TRATAMENTO E VALORIZAÇÃO

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento e implementação de dois modelos de apoio à gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE) dos Centros de Recepção (CR) para as Unidades de Tratamento e Valorização (UTV), em Portugal Continental.

O capítulo está organizado em 8 secções. A primeira secção apresenta uma análise preliminar a modelos considerados para a gestão de REEE entre CR e UTV e a selecção dos modelos a implementar. A segunda secção apresenta a metodologia de modelação adoptada. As secções três, quatro, cinco, seis e sete correspondem, respectivamente, à concepção, especificação, implementação, verificação e validação e aplicação do Modelo de Minimização do Custo (Modelo MC). Por fim, a secção oito, apresenta uma descrição sumária do desenvolvimento do segundo modelo, de Minimização da Distância (modelo MD).

4.1. Modelos Preliminares

Esta secção tem como objectivo seleccionar um modelo de apoio à gestão de REEE entre os CR e as UTV a implementar no sistema gerido pela entidade gestora em estudo. De forma a implementar um modelo que melhor se ajuste às características do subsistema Centro de Recepção (CR) / Unidade de Tratamento e Valorização (UTV) foi realizada uma análise comparativa de 4 modelos propostos (Tabela 4.2, p. 62).

4.1.1. Modelo Actual

Como foi referido no Capítulo 3, o transporte entre os CR e as UTV é realizado directamente de 1 CR para 1 UTV, por um veículo de capacidade 60 m³ (2 contentores). Um CR possui nas suas instalações pelo menos 2 contentores que, quando ficam completos, são substituídos por 2 contentores vazios. Os contentores completos são transportados para a UTV de destino (Figura 4.1).

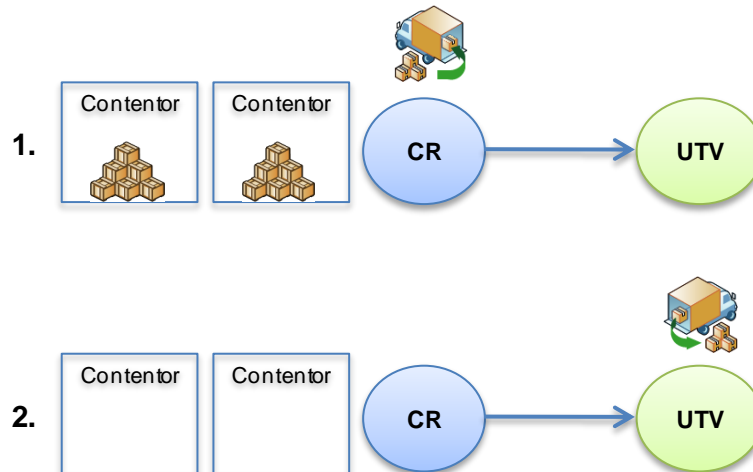


Figura 4.1: Processo de transporte de REEE dos CR para as UTV.

Com o objectivo de desenvolver um modelo alternativo à solução actualmente adoptada, de em cada rota 1 veículo se deslocar entre 1 CR e 1 UTV, transportando 2 contentores provenientes do CR, analisaram-se 4 modelos.

Numa primeira abordagem, foi considerado que o transporte entre os CR e as UTV seria exclusivamente monofluxo (Modelos 1 e 2), sendo necessário definir previamente, para cada CR, a UTV de destino de cada tipo de fluxo. Posteriormente, considerou-se a possibilidade de combinar vários tipos de fluxo no mesmo transporte de REEE entre os CR e as UTV (Modelos 3 e 4).

4.1.2. Modelo 1: Modelo de gestão conjunta de 2 Centros de Recepção e 1 Unidade de Tratamento e Valorização

O modelo 1 corresponde ao modelo de gestão conjunta de 2 CR que enviem REEE para a mesma UTV. Este modelo considera que, em cada rota, 1 veículo se desloca sequencialmente a 2 CR, recolhendo 1 contentor em cada um, após o que os transporta para 1 UTV (Figura 4.2). No caso de se pretender fazer a gestão conjunta do CR₁ e do CR₂ será realizada 1 rota, percorrendo sequencialmente as distâncias d_3 e d_2 ou d_3 e d_1 . Considerando o primeiro caso (d_3 seguido de d_2), a rota inicia-se no CR₁, passa pelo CR₂ e termina na UTV, sendo transportados 2 contentores na rota, 1 de cada CR.

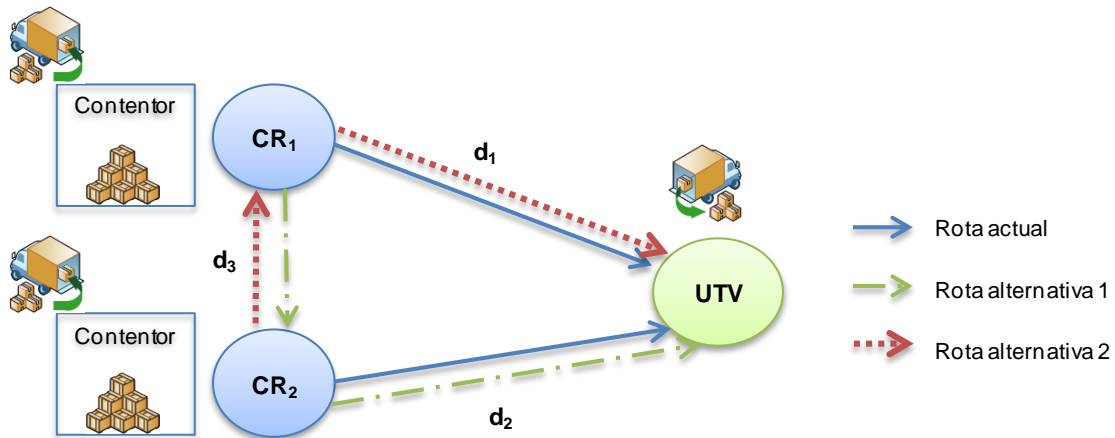


Figura 4.2: Modelo de gestão conjunta de 2 CR e 1 UTV.

Os CR a gerir conjuntamente, por tipo de fluxo, deverão obedecer aos seguintes critérios:

- Estar afectados à mesma UTV;
- Possuir uma taxa de recepção de REEE semelhante.

Desta forma, é necessário proceder-se inicialmente a uma afectação dos CR às UTV por tipo de fluxo. Posteriormente, é necessário realizar uma segmentação dos CR, afectos à mesma UTV, por taxa de recepção de REEE, para que seja possível agregar os CR em pares.

O modelo proposto permite reduzir o número de contentores que permanecem nos CR e, conseqüentemente, o custo de aluguer que lhes está associado. A distância percorrida também será diminuída no caso de os CR a gerir conjuntamente estarem distanciados de tal modo que não seja superior a qualquer das distâncias entre cada CR e a UTV, equação (1).

$$d_3 < \text{Máx} \{d_1 ; d_2\} \quad (1)$$

No entanto, é necessário fazer uma análise de custos de forma a verificar em que situações é que este modelo representa uma redução efectiva nos custos, uma vez que o número de viagens poderá aumentar, o que aumentaria, conseqüentemente, a parcela do custo correspondente ao transporte.

4.1.3. Modelo 2: Definição de rotas incluindo vários Centros de Recepção e 1 Unidade de Tratamento e Valorização

Outro modelo a considerar consistiria na definição de rotas que integrem 2 ou mais CR e uma UTV de destino. O veículo, contendo 2 contentores, passaria pelos vários CR, e em vez de

trocar os contentores completos por vazios, recolheria os REEE (de determinado tipo de fluxo) de cada CR, mantendo os contentores nos CR (Figura 4.3).

Este modelo tem algumas semelhanças com o modelo 1. Tal como no modelo 1, o transporte de REEE entre os CR e a UTV é monofluxo, ou seja, cada tipo de fluxo de REEE é transportada separadamente. Assim, à semelhança do modelo 1, é necessário proceder, em primeiro lugar, à afectação dos CR às UTV, por tipo de fluxo. A diferença está no facto de não existir troca de contentores. Desta forma, não é necessário que os CR associados à rota possuam uma taxa de recepção de REEE idêntica. No entanto, os CR a associar em termos de rota deveriam obedecer aos seguintes critérios:

- Estar afectados à mesma UTV.
- O somatório da quantidade de REEE proveniente de cada CR associado deve ser igual ou inferior à capacidade de 2 contentores.

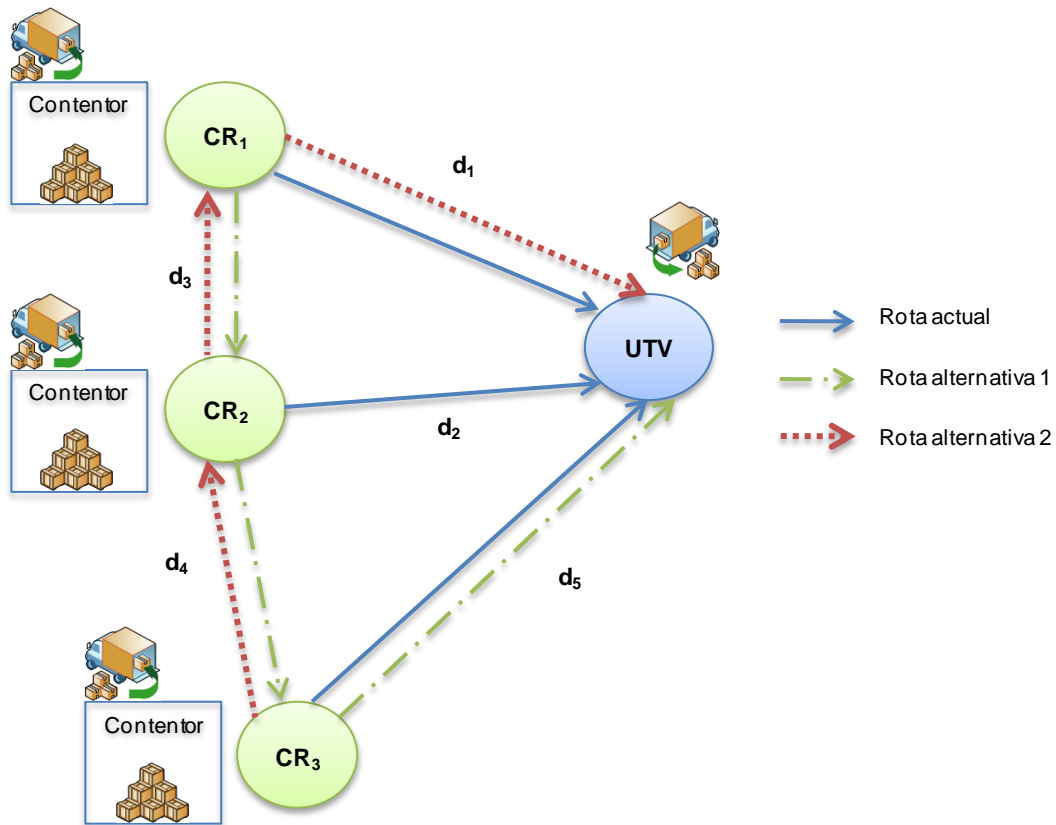


Figura 4.3: Possíveis rotas considerando vários CR e 1 UTV.

O modelo 2 também representa uma redução do número de contentores que permanecem nos CR, que deve ser definido de acordo com a taxa de recepção de cada CR. No entanto, o somatório da quantidade de REEE recebido deve ser igual ou inferior à capacidade do veículo

em peso, o que pode resultar num transporte cujo veículo não está carregado na sua capacidade máxima.

Este modelo é característico de um problema de *Vehicle Routing Problem* (VRP), uma vez que o objectivo é encontrar as rotas óptimas para a distribuição de materiais, sendo assumido que os parâmetros do problema são determinísticos (Mester *et al.*, 2007). A desvantagem da modelação e resolução deste tipo de problemas está na sua complexidade. O VRP é um problema *NP-hard* sendo, por vezes, impossível encontrar a solução óptima na resolução de um caso real (Mester *et al.*, 2007), pois a complexidade do problema e o tempo computacional associado à sua resolução aumenta com o aumento do número de parâmetros do problema (Nallusamy *et al.*, 2009).

4.1.4. Modelos 3 e 4: Modelos de apoio à gestão mono/multifluxo de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

Os modelos 3 e 4 consistem em dois modelos que determinem os tipos de fluxo a transportar conjuntamente entre os CR e as UTV.

Neste caso, ao contrário dos modelos anteriormente propostos, considera-se que o transporte de REEE dos CR para as UTV pode ser multifluxo. Pretende-se, então, que os modelos determinem os cenários de transporte, mono ou multifluxo, a ser adoptado entre cada CR, a respectiva UTV de destino, bem como o número de contentores a permanecer em cada CR. O transporte de REEE é realizado directamente entre um CR e uma UTV, tal como no modelo actual.

A diferença entre os modelos 3 e 4 está no critério considerado na selecção da UTV de destino e no cenário a adoptar.

Pela análise bibliográfica, apresentada no Capítulo 2, conclui-se que os critérios económico e ambiental os que maioritariamente são considerados na literatura, no âmbito da gestão logística de REEE. Verifica-se, ainda, que há autores que consideram a integração dos dois critérios e, até mesmo, de outros critérios.

Desta forma, consideram-se dois modelos, um integra o critério económico e outro, o critério ambiental:

- i. Modelo 3: Modelo de Minimização do Custo (Modelo MC), associado ao critério económico;
- ii. Modelo 4: Modelo de Minimização da Distância (Modelo MD), relacionado com o critério ambiental.

4.1.4.1. Modelo 3: Modelo de Minimização do Custo

O modelo 3 corresponde ao modelo MC, cujo objectivo é minimizar o custo de gestão de REEE entre os CR e as UTV. O custo de gestão deve incluir os custos de:

- i. Aluguer dos contentores dos CR;
- ii. Transporte dos REEE dos CR para as UTV; e
- iii. Tratamento dos REEE nas UTV.

O modelo selecciona o cenário e a UTV de destino que resultem num menor custo de gestão de REEE.

Os diferentes cenários a considerar correspondem a possíveis combinações de tipos de fluxo de REEE a armazenar, no CR, e a transportar conjuntamente do CR para a UTV de destino. Cada cenário está, então, associado a uma combinação de tipos de fluxo, a um número de UTV de destino e a um número de contentores a permanecer no CR (Tabela 4.1).

Existem 15 cenários possíveis para o transporte de REEE entre cada CR e as UTV, identificados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Identificação dos cenários.

Cenários	Nº UTV de destino	Nº Contentores
ABCE	1	2
AB/CE B/ACE AC/BE C/ABE AE/BC E/ABC A/BCE	2	4
AB/C/E BC/A/E AC/B/E BE/A/C AE/B/C CE/A/B	3	6
A/B/C/E	4	8

Considerando, como exemplo, o cenário AC/BE (Figura 4.4), os tipos de fluxo A e C são transportados conjuntamente para a UTV 1, sendo necessário manter 2 contentores no CR para armazenar esta combinação de fluxos. Da mesma forma, os fluxos B e E são armazenados e transportados conjuntamente para a UTV 2. Assim, o CR possui 4 contentores nas suas instalações, 2 contentores para armazenar cada combinação de tipos de fluxo (AC e BE).

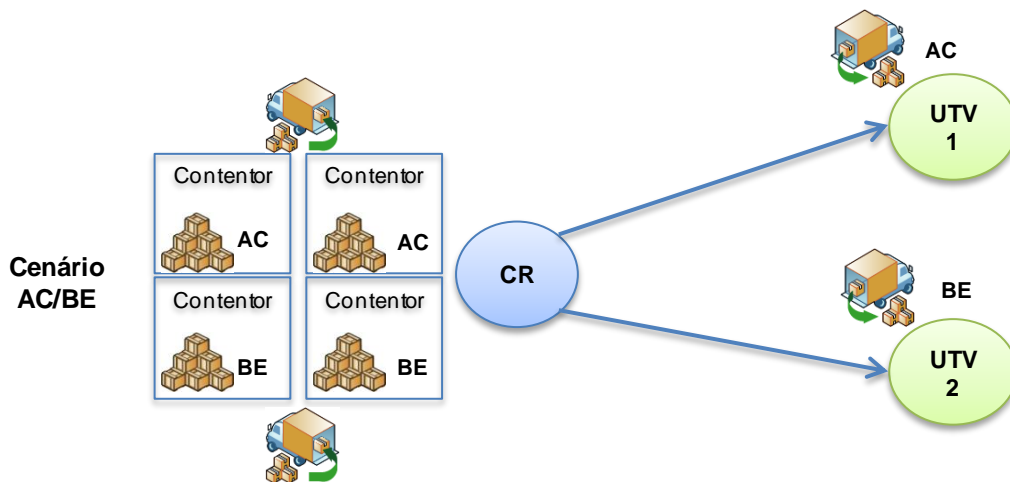


Figura 4.4: Caracterização do cenário AC/BE.

Assim, a selecção tanto do cenário a aplicar como da UTV de destino, para cada combinação de tipos de fluxo, é feita de acordo com a minimização do custo de gestão.

4.1.4.2. Modelo 4: Modelo de Minimização da Distância

O modelo 4 corresponde ao modelo MD. Atendendo a que este modelo, considera critérios ambientais, visa a minimização da distância percorrida no transporte de REEE entre os CR e as UTV. A minimização da distância percorrida para a redução da emissão de CO₂ e do consumo de combustíveis.

Neste caso, o cenário a aplicar e a UTV de destino para cada combinação de fluxos seleccionada corresponde à situação cuja distância a percorrer é a menor.

4.1.5. **Seleção do modelo de gestão**

Com o intuito de seleccionar o modelo a implementar, é feita uma análise aos modelos propostos, tendo em conta as vantagens e desvantagens de cada um (Tabela 4.2).

Após uma análise às taxas de recepção dos CR (Tabela III e Figura I, Anexo B), concluiu-se que não seria possível associar CR, uma vez que estes apresentam taxas de recepção distintas. Por conseguinte, não é viável a implementação do modelo 1.

Relativamente ao modelo 2, para além do facto da complexidade do problema ser elevada, a análise dos dados históricos revela que a quantidade de REEE recepcionada nos CR apresenta uma elevada variabilidade, pelo que os parâmetros do problema são estocásticos.

Tabela 4.2: Vantagens e desvantagens dos modelos propostos.

Modelo	Designação	Vantagens	Desvantagens
1	Modelo de gestão conjunta	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do número de contentores nos CR e do respectivo custo de aluguer; • Possível redução da distância percorrida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de agregar CR com uma taxa de recepção idêntica; • Possível aumento do número de viagens.
2	Modelo VRP	<ul style="list-style-type: none"> • Não há necessidade de agregar CR com uma taxa de recepção semelhante; • Redução do número de contentores nos CR; • Possível redução da distância percorrida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possível aumento do número de viagens • Complexidade do problema; • Parâmetros têm de ser determinísticos; • Possibilidade de não ser encontrada uma solução óptima.
3	Modelo MC	<ul style="list-style-type: none"> • Solução eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possível aumento da distância a percorrer.
4	Modelo MD	<ul style="list-style-type: none"> • Solução com impacto ambiental reduzido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possível aumento do custo.

Como referido na secção 4.1.4, os modelos 3 e 4 têm a mesma base. O modelo MC tem como vantagem a minimização do custo de gestão. No entanto, a minimização do custo pode resultar num aumento da distância percorrida no transporte dos REEE dos CR para as UTV e, consequentemente, num aumento da emissão de CO₂, associado a consequências ambientais negativas. O modelo MD tem como objectivo a minimização da distância percorrida e, por isso, do impacto ambiental. Contudo, poderá originar um aumento no custo de gestão. A UTV seleccionada corresponde à mais próxima do CR, podendo esta apresentar um custo de tratamento superior ao suportado actualmente.

Após a análise dos modelos propostos, optou-se por implementar os modelos de apoio à gestão de REEE, modelos 3 e 4. Uma vez que estes modelos apresentam a mesma base e apenas diferem na função objectivo, o processo de modelação será descrito apenas para o modelo MC. O modelo MD é abordado, de forma sucinta, na secção 4.8 (p. 82) deste capítulo.

4.2. Metodologia de Modelação

Para desenvolver os modelos de apoio à gestão de REEE entre os CR e as UTV é necessário adoptar uma metodologia de modelação. A metodologia adoptada integra 5 etapas apresentadas na Figura 4.5. e desenvolvidas no presente capítulo.

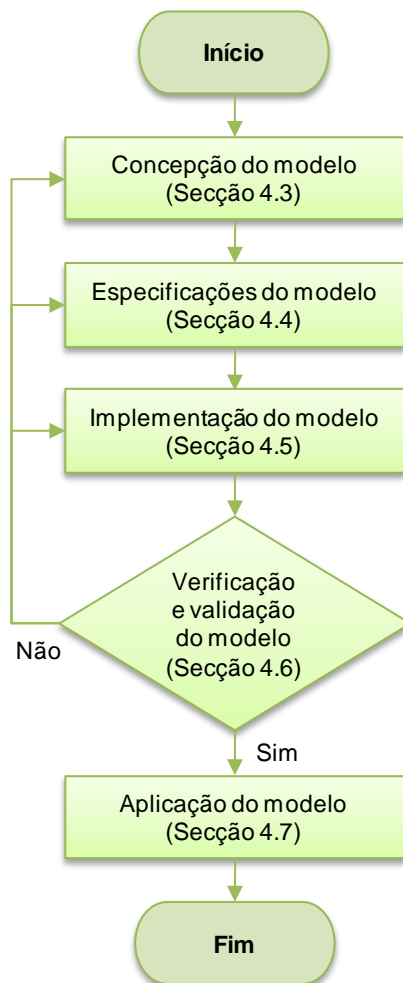


Figura 4.5: Metodologia de modelação.

Na primeira etapa, concepção do modelo, é desenvolvida a lógica associada ao modelo e são definidos os *inputs* e *outputs* do modelo. Na etapa seguinte, especificações do modelo, são determinados (as):

- i. os *inputs* e os *outputs* do modelo;
- ii. as estimativas da distância entre os CR e as UTV e da capacidade dos veículos em peso; e
- iii. os cenários a considerar na implementação do modelo.

A terceira etapa, implementação do modelo, consiste na descrição do processo de implementação do modelo.

Após a etapa de implementação é necessário verificar e validar o modelo. Nesta etapa verifica-se se os resultados obtidos correspondem ao esperado e se fazem sentido, ou seja, se são válidos para o caso em estudo.

Finalizada a etapa de verificação e validação é, então, possível aplicar o modelo desenvolvido.

Seguidamente é aplicada a metodologia no desenvolvimento do modelo MC e posteriormente no desenvolvimento do modelo MD.

4.3. Concepção do Modelo de Minimização do Custo

O desenvolvimento do modelo conceptual consiste na sequência das etapas representada na Figura 4.6.

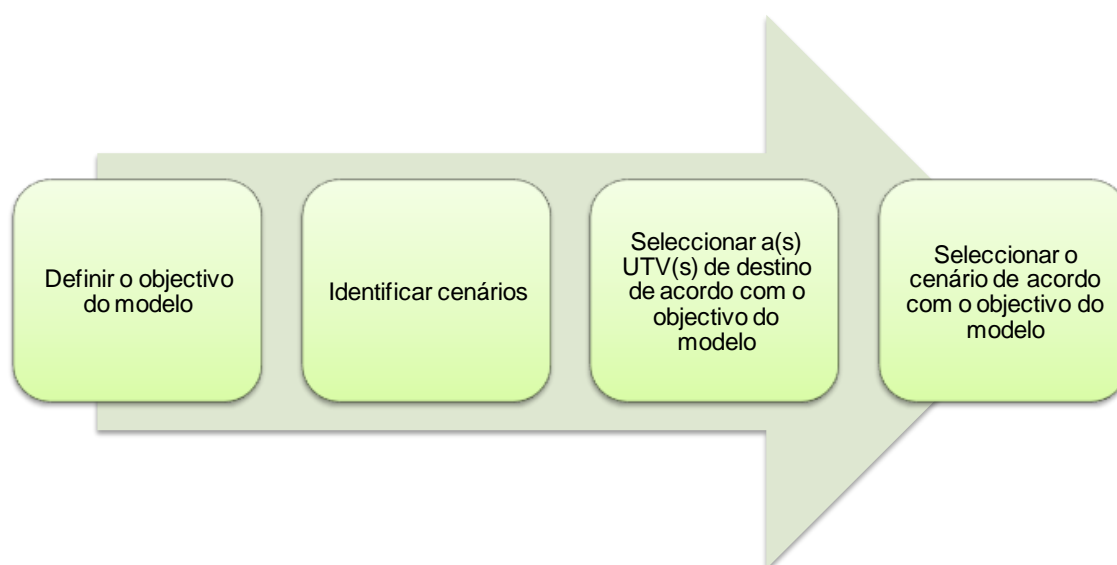


Figura 4.6: Modelo conceptual genérico.

Na primeira etapa é definido o objectivo do modelo. De seguida, são identificados os cenários possíveis, associados às combinações de tipos de fluxo de dos REEE a transportar entre os CR e as UTV. Cada cenário corresponde, então, à definição de combinações de tipos de fluxo a serem transportados, conjuntamente, de cada CR para uma UTV e, conseqüentemente, do número de contentores necessários para armazenar os respectivos conjuntos de REEE no CR de origem (Tabela 4.1).

A etapa seguinte corresponde à selecção da UTV de destino de cada conjunto de tipos de fluxo definidos para cada cenário, de acordo com o objectivo do modelo.

Posteriormente, na última etapa, o modelo selecciona o cenário, de acordo com o objectivo do modelo definido na primeira etapa do modelo.

Desta forma, o modelo permite definir, com base no objectivo e para cada CR:

- i. A combinação de tipos de fluxo a armazenar e transportar conjuntamente;
- ii. O número de contentores necessários para armazenar os REEE;
- iii. A UTV de destino de cada conjunto de tipos de fluxo.

4.3.1. Desenvolvimento do Modelo

Da análise da Tabela 3.2 (Capítulo 3) verifica-se que o custo de tratamento da UTV₆ depende da quantidade mensal de REEE recebida para os fluxos B, C e E. Se a quantidade recepcionada for inferior a à quantidade mínima pré-definida, o custo de tratamento, por tonelada, é mais elevado (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Quantidade mínima e custo de tratamento de REEE por tipo de fluxo, na UTV₆.

Tipo de fluxo		B	C	E
Quantidade mínima (t/mês)		70	170	70
Custo de tratamento (€/t)	$Q < Q_{mínima}$	270	110	430
	$Q \geq Q_{mínima}$	250	100	400

Como não se conhece, à partida, a quantidade destes fluxos que será enviada para a UTV₆, é necessário que o modelo garanta que os custos de tratamento a considerar estão de acordo com a quantidade enviada. A lógica associada ao modelo conceptual apresenta-se na Figura 4.7.

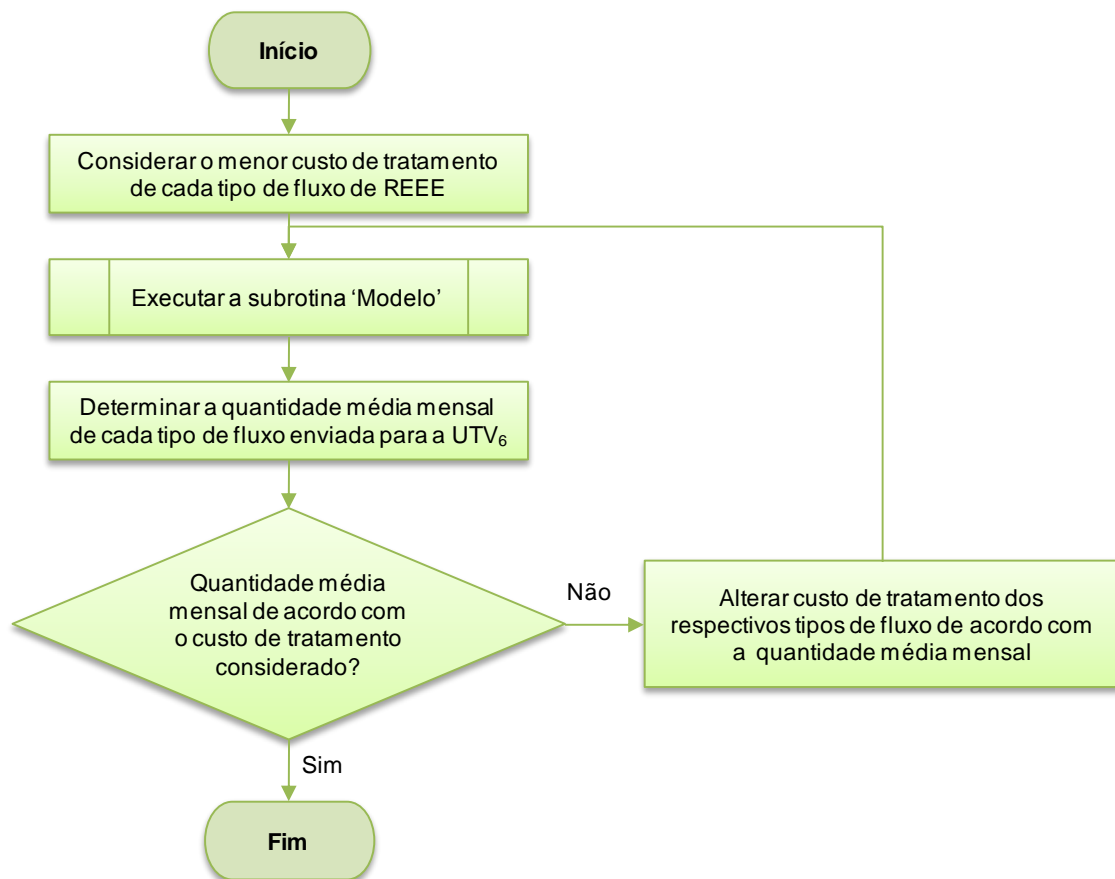


Figura 4.7: Modelo conceptual.

Assim, deve ser considerado o menor custo de tratamento, para cada tipo de fluxo, a primeira vez que é aplicado o modelo.

Após a aplicação do modelo, considerando o menor custo de tratamento para cada tipo de fluxo, verifica-se qual a quantidade média mensal de cada tipo de fluxo enviada para a UTV₆. Se, para cada tipo de fluxo, a quantidade média mensal for inferior à quantidade mínima pré-definida, o custo de tratamento é alterado para o custo correspondente (maior custo) e o modelo é novamente aplicado.

Repete-se, então, a mesma sequência de actividades até que o custo de tratamento considerado esteja de acordo com a quantidade média mensal, de cada tipo de fluxo de REEE, enviada para a UTV₆.

A lógica associada à subrotina 'Modelo' é descrita no fluxograma apresentado na Figura 4.8, considerando o modelo MC.

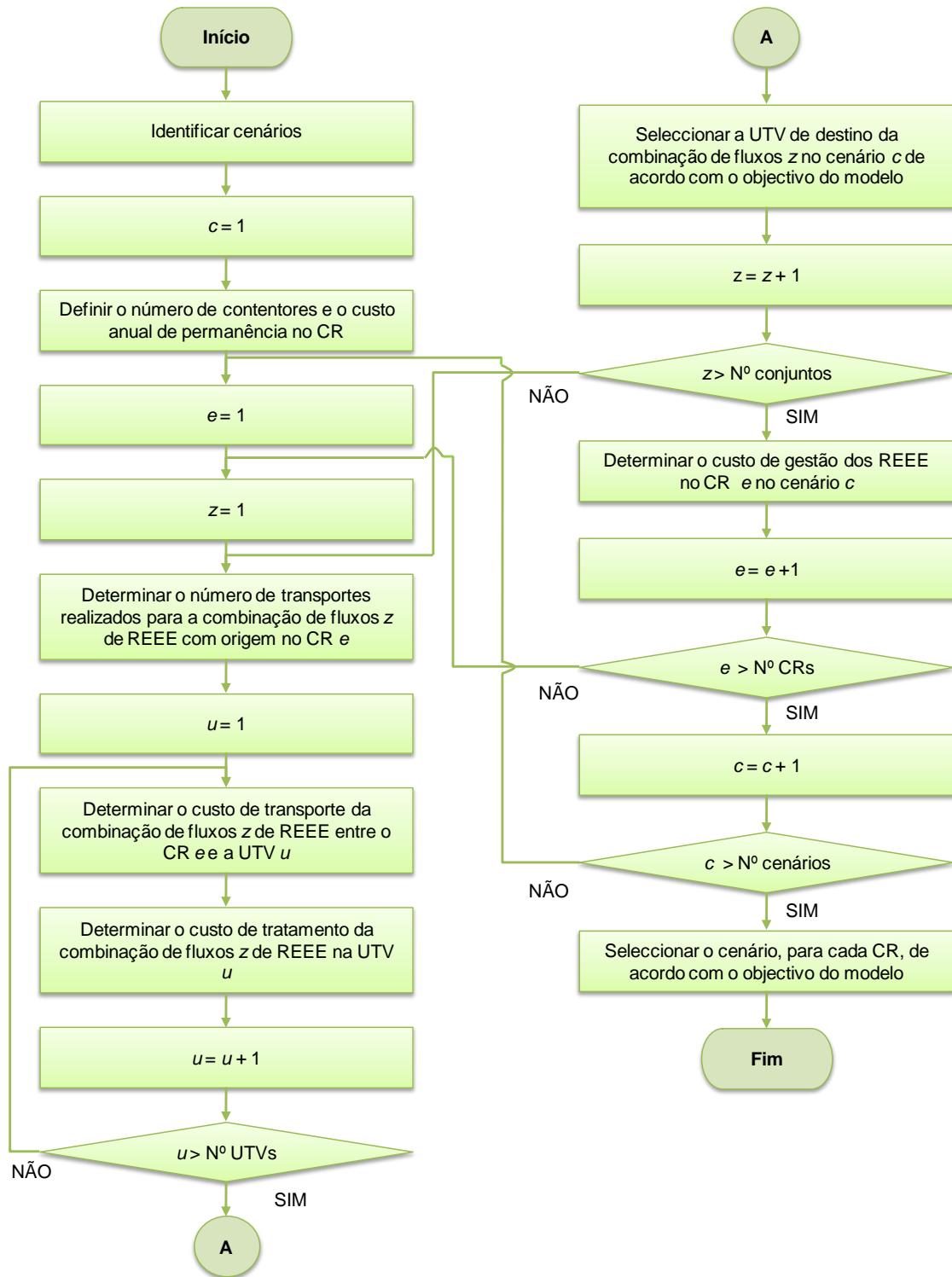


Figura 4.8: Subrotina 'Modelo' MC.

Inicialmente são identificados os cenários a considerar. Para o cenário c é definido o número de contentores necessários para armazenar os REEE nos CR (Tabela 4.1) e determinado o respectivo custo anual de permanência dos contentores nos CR. O custo anual de

permanência dos contentores num CR, considerando o cenário c , é função do custo de aluguer anual de um contentor e o número de contentores que permanecem num CR, de acordo com a equação (2), sendo:

$c_{contentor}$ – custo anual de aluguer de um contentor;

$n_{contentor}^c$ - número de contentores que permanecem num CR, durante o período de um ano, considerando o cenário c .

$$C_{Contentor}^c = c_{contentor} \times n_{contentor}^c \quad (2)$$

Posteriormente, para o CR_e é determinado o número de transportes realizados da combinação de tipos de fluxo de REEE. O número médio de transportes entre o CR_e e uma UTV, realizado durante o período de um ano, é função da quantidade de REEE de cada tipo de fluxo a enviar uma UTV e da capacidade, em peso, do veículo para transportar REEE do tipo de fluxo f , sendo determinado segundo a equação (3), sendo:

$Q^{f,e}$ - quantidade, em toneladas, de REEE do tipo de fluxo f proveniente do CR_e ;

k^f - capacidade do veículo, em toneladas, para transportar REEE do tipo de fluxo f ;

F^e - número de tipos de fluxos associados à combinação de tipos de fluxo proveniente do CR_e .

$$n_{transporte}^e = \frac{\sum_{f=1}^{F^e} Q^{f,e}}{\frac{1}{\sum_{f=1}^{F^e} Q^{f,e}} \left(\sum_{f=1}^{F^e} Q^{f,e} \times k^f \right)} \quad (3)$$

Considerando a UTV_u como UTV de destino, são determinados:

- i. O custo de transporte da combinação de tipos de fluxo de REEE entre o CR_e e a UTV_u .

O custo anual de transporte entre o CR_e e a UTV_u é função do número médio de transportes realizado entre o CR_e e uma UTV, da distância entre o CR_e e a UTV_u e do custo unitário de transporte, sendo definido pela equação (4), sendo:

$n_{transporte}^e$ - número médio de transportes realizado, durante o período de um ano, entre o CR_e e uma UTV, determinado de acordo com a equação (3);

$d^{e,u}$ - distância, em quilómetros, entre o CR_e e a UTV_u ;

$c_{transporte}$ - custo de transporte por quilómetro percorrido.

$$C_{Transporte}^{e,u} = n_{transporte}^e \times d^{e,u} \times c_{transporte} \quad (4)$$

ii. O custo de tratamento do conjunto de tipos de fluxo de REEE na UTV_u .

O custo de tratamento na UTV_u é função da quantidade de REEE, de cada tipo de fluxo, proveniente do CR_e e do custo unitário de tratamento de cada tipo de fluxo na UTV_u , sendo definido pela expressão (5), sendo:

$Q^{f,e}$ - quantidade, em toneladas, de REEE do tipo de fluxo f proveniente do CR_e ;

$C_{tratamento}^{f,u}$ - custo de tratamento, por tonelada, do tipo de fluxo f na UTV_u ;

F^e - número de tipos de fluxos associados ao combinação de tipos de fluxo proveniente do CR_e .

$$C_{Tratamento}^{e,u} = \sum_{f=1}^{F^e} Q^{f,e} \times C_{tratamento}^{f,u} \quad (5)$$

Depois de calculados os custos de i. transporte da combinação de tipos de fluxo de REEE entre o CR_e e cada UTV e ii. tratamento da combinação de tipos de fluxo em cada UTV é seleccionada a UTV de destino. A selecção da UTV de destino de cada combinação de tipos de fluxos é feita de acordo com a equação (6), sendo:

$C_{Transporte}^{e,u}$ - custo de transporte dos REEE entre o CR_e e a UTV_u , determinado segundo a equação (4);

$C_{Tratamento}^{e,u}$ - custo de tratamento dos REEE, provenientes do CR_e , na UTV_u , determinado de acordo com a equação (5).

$$Min (C_{Transporte}^{e,u} + C_{Tratamento}^{e,u}) \quad (6)$$

Após a selecção da UTV de destino para cada combinação de tipos de fluxo, é determinado o custo anual de gestão dos REEE no CR_e , considerando o cenário c . O custo anual de gestão é função do custo de: i. permanência dos contentores no CR, ii. transporte entre o CR e a(s) UTV (s) e iii. tratamento dos REEE na(s) UTV (s) de destino, de acordo com a equação (7), sendo:

$C_{Contendor}^c$ - custo de permanência dos contentores no CR, considerando o cenário c ;

$C_{Transporte}^{e,c}$ - custo de transporte dos REEE entre o CR_e e a(s) UTV (s) de destino, considerando o cenário c ;

$C_{Tratamento}^{e,c}$ - custo de tratamento dos REEE nas UTV de destino, considerando o cenário c .

$$C_{Gestão}^{e,c} = C_{Contendor}^c + C_{Transporte}^{e,c} + C_{Tratamento}^{e,c} \quad (7)$$

O custo de transporte entre o CR_e e as UTV de destino, considerando o cenário c , é determinado pelo somatório do custo de transporte entre o CR_e e a(s) UTV(s) de destino associadas ao cenário c , de acordo com a equação (8), sendo:

$C_{Transporte}^{e,u}$ - custo de transporte de REEE entre o CR_e e a UTV $_u$, de acordo com a equação (4);

U^c - número de UTV de destino associado ao cenário c .

$$C_{Transporte}^{e,c} = \sum_{u=1}^{U^c} C_{Transporte}^{e,u} \quad (8)$$

O custo de tratamento nas UTV de destino associadas ao cenário c é definido pelo somatório do custo de tratamento dos REEE nas UTV de destino, provenientes do CR_e , de acordo com a equação (9), sendo:

$C_{Tratamento}^{e,u}$ - custo de tratamento dos REEE, provenientes do CR_e , na UTV $_u$, de acordo com a equação (5);

U^c - número de UTV de destino associadas ao cenário c .

$$C_{Tratamento}^{e,c} = \sum_{u=1}^{U^c} C_{Tratamento}^{e,u} \quad (9)$$

Assim, actualiza-se o CR a considerar e repetem-se as actividades associadas ao cálculo do custo anual de gestão dos REEE, em cada CR, associado ao cenário c . Posteriormente, o cenário a considerar é, então, também actualizado, sendo a lógica sequencial aplicada novamente para todos os cenários identificados.

Por fim é seleccionado o cenário a adoptar, de acordo com a minimização do custo de gestão de REEE, no CR_e , ou seja, segundo a equação (10).

$$\text{Min} (C_{Gestão}^{e,c}) \quad (10)$$

Sendo $C_{Gestão}^{e,c}$ o custo anual de gestão dos REEE no CR_e , determinado segundo a equação (7).

Como referido anteriormente (subsecção 4.1.4.1) o objectivo do modelo MC é minimizar o custo de gestão do transporte de REEE entre os CR e as UTV. Desta forma, a selecção do cenário a implementar, bem como a selecção da UTV de destino para cada tipo ou conjunto de tipos de fluxo é realizada de forma a minimizar o custo de gestão dos REEE, em cada CR.

4.3.2. Inputs e Outputs do Modelo

Os *inputs* do modelo dizem respeito a dados históricos relativos ao caso de estudo, ou *inputs* do modelo e às variáveis de decisão, ou *outputs* do modelo (Figura 4.9).

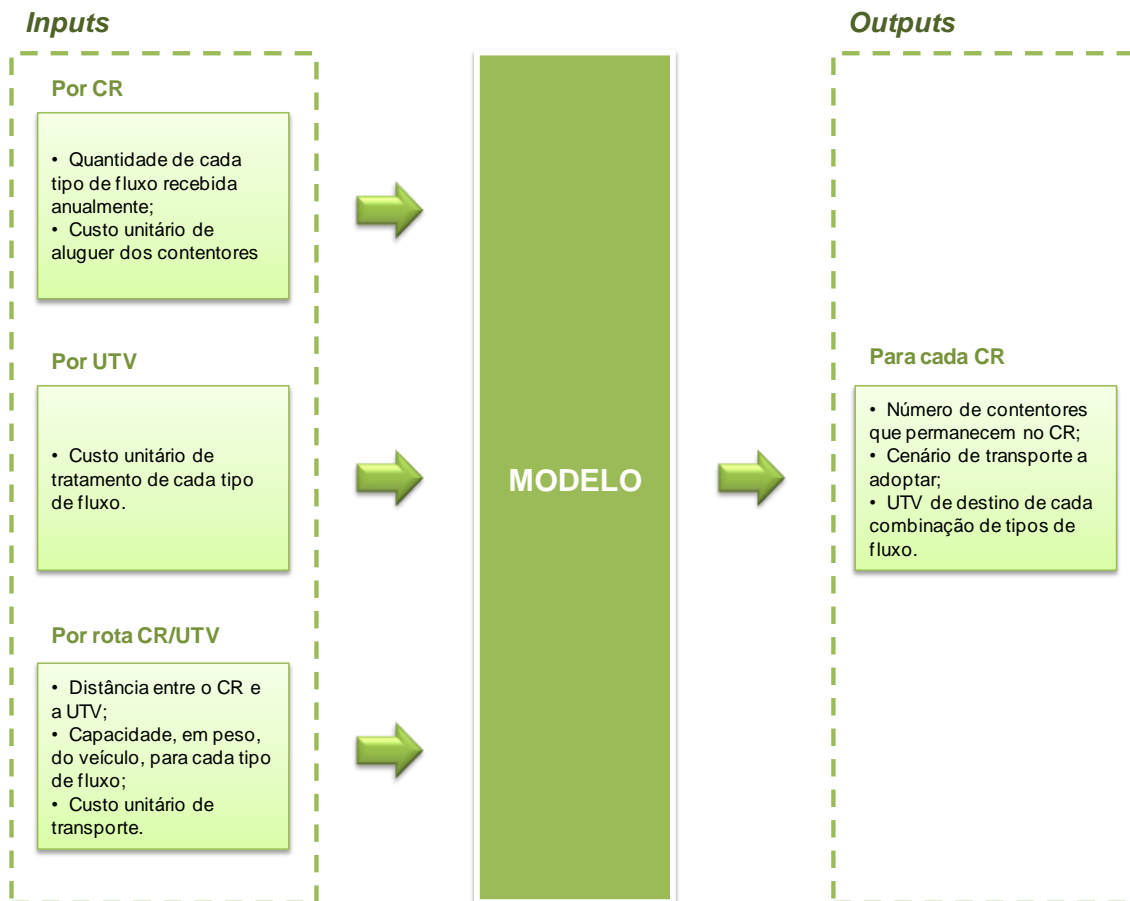


Figura 4.9: Inputs e outputs do modelo.

Os *inputs* associados aos CR correspondem a:

- Quantidade de cada tipo de fluxo de REEE recebida no CR anualmente;
- Custo unitário de aluguer dos contentores;

Relativamente às UTV, o *input* necessário à implementação do modelo corresponde ao respectivo custo unitário de tratamento de cada tipo de fluxo de REEE.

No que respeita à rota CR/UTV, os parâmetros consistem:

- Distância entre os CR e as UTV;
- Capacidade, em peso, do veículo para transportar cada tipo de fluxo de REEE;
- Custo unitário de transporte.

Os *outputs* do modelo, ou variáveis de decisão, são:

- Cenário a adoptar;
- Número de contentores a permanecer no CR;
- A UTV de destino de cada tipo de fluxo ou conjunto de tipos de fluxo de REEE.

4.4. Especificações do Modelo de Minimização do Custo

Os *inputs* do modelo foram determinados ou estimados com base nos dados de 2009, disponibilizados pela entidade gestora.

4.4.1. Centros de Recepção

Os *inputs* relativos aos CR que necessitam de ser especificados, correspondem à quantidade de REEE de cada tipo de fluxo recebida nos CR e ao custo unitário de aluguer dos contentores.

Segundo os dados disponibilizados pela entidade gestora, o custo mensal de aluguer de um contentor corresponde a 90 €. Desta forma, o custo anual de aluguer corresponde a 1 080 € por contentor. A quantidade de REEE recebida nos CR em 2009, por tipo de fluxo, apresenta-se na Tabela IV (Anexo B).

Analisando a Tabela IV (Anexo B) relativa à quantidade de REEE recebida nos CR, verifica-se que, em 2009, nem todos os CR receberam REEE de todos os tipos de fluxo. Por exemplo, os CR₁, CR₂ e CR₃ apenas recebem REEE do tipo A, C e E. De notar que o CR_x não apresenta registos de recepção de REEE dos fluxos A, B, C e E em 2009. Apenas foram registadas recepções de fluxo D e como este tipo de fluxo não faz parte do âmbito deste trabalho, o CR_x foi excluído deste estudo.

4.4.2. Unidades de Tratamento e Valorização

O *input* do modelo associado às UTV e identificado na subsecção 4.3.2 corresponde ao custo unitário de tratamento de cada tipo de fluxo de REEE nas respectivas UTV, apresentado na Tabela 3.2 (Capítulo 3).

4.4.3. Rota Centro de Recepção / Unidade de Tratamento e Valorização

Relativamente aos restantes *inputs* do modelo, informação da rota CR/UTV (Figura 4.9), apenas se conhece o custo médio de transporte, de 1 € por quilómetro percorrido. Desta forma,

para que seja possível determinar o custo de transporte dos REEE entre os CR e as UTV, torna-se necessário estimar:

- A distância entre os CR e as UTV;
- A capacidade, em peso, do veículo para transportar cada tipo de fluxo de REEE.

A distância entre os CR e as UTV foi estimada com recurso à aplicação *ViaMichelin*, disponível na Web. Esta aplicação fornece informação sobre os diferentes percursos associados a um ponto de partida e um ponto de destino, com base em diferentes critérios (Gamberini *et al*, 2010). Para este estudo foi considerado o critério “económico”. A matriz das distâncias entre os CR e as UTV encontra-se na Tabela V (Anexo B).

A informação disponível relativamente à capacidade do veículo que efectua o transporte entre os CR e as UTV diz respeito à capacidade, em volume, correspondendo a 60 m³. É, então, fundamental determinar a capacidade do veículo em termos de quantidade de REEE (em peso), por tipo de fluxo. Para tal são considerados os dados disponibilizados pela entidade gestora relativos aos transportes monofluxo realizados entre CR e UTV no ano de 2009, ou seja, transportes cuja carga do veículo corresponde apenas a um tipo de fluxo.

O processo adoptado para estimar a capacidade do veículo, por tipo de fluxo, foi o seguinte:

- Seleção dos CR que registam mais de 30 transportes monofluxo realizados em 2009 (número de observações), de cada fluxo (Tabela 4.4) para que a dimensão da amostra seja representativa;

Tabela 4.4: Número de CR considerados na estimativa por tipo de fluxo.

Fluxo	A	B	C	E
Nº CR	2	6	3	2

- Construção do histograma da quantidade de REEE proveniente dos CR seleccionados em **i.**, por tipo de fluxo, por transporte realizado (Figuras II a XII, Anexo B);
- Análise das classes modais dos histogramas construídos em **ii.**, sendo a estimativa da capacidade, por tipo de fluxo, definida pela média do ponto médio das classes modais, depois de retirados os valores mais baixo e mais elevado (Tabela VI a VIII, Anexo B).

Considerando o tipo de fluxo E como exemplo:

- Foram identificados 2 CR com registo de mais de 30 transportes monofluxo E, CR₃ e CR₁₄, com 71 e 60 transportes (observações) respectivamente;
- Os histogramas dos CR seleccionados apresentam-se nas Figura 4.10 e Figura 4.11.

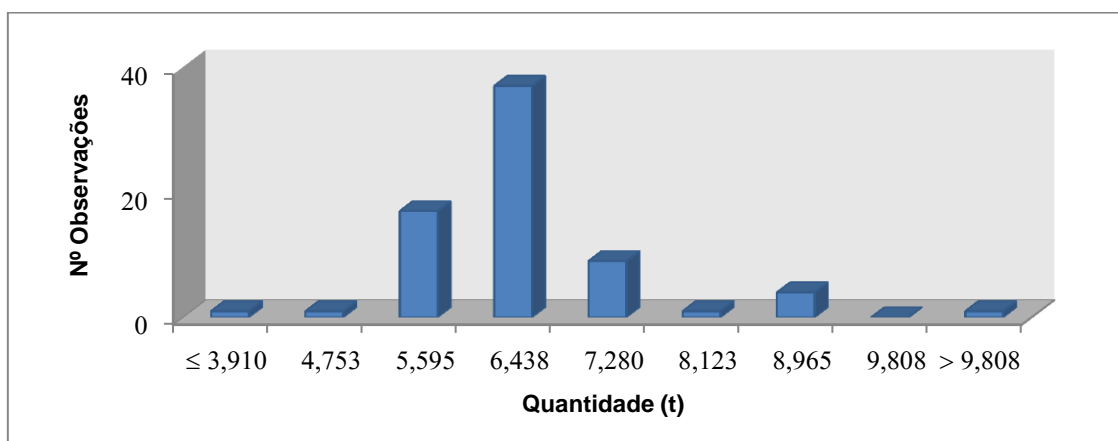


Figura 4.10: Histograma da quantidade de fluxo E proveniente do CR₃, por transporte monofluxo.

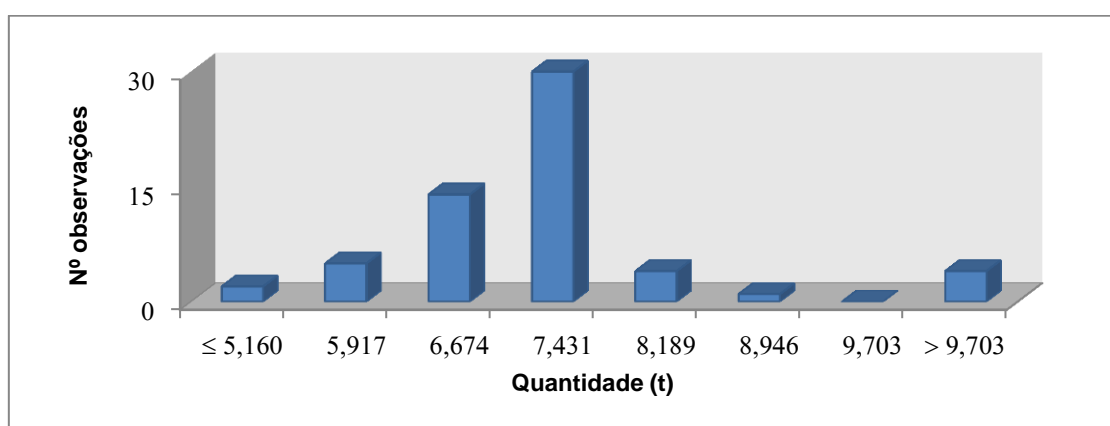


Figura 4.11: Histograma da quantidade de fluxo E proveniente do CR₁₄, por transporte monofluxo.

- iii. A estimativa da capacidade do veículo, em peso, para transportar fluxo E, com base na análise das classes modais dos histogramas das Figura 4.10 e Figura 4.11, apresenta-se na Tabela 4.5.

Assim, considerando os pontos médios das classes modais dos histogramas, e uma vez que apenas foram seleccionados 2 CR, neste caso não foram retirados os valores mais baixo e mais elevado. A estimativa da capacidade do veículo para transportar REEE de tipo de fluxo E obteve-se determinando a média dos pontos médios relativos aos CR considerados, correspondendo a 6,535 toneladas.

Tabela 4.5: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo E.

CR	Nº obs.	Máximo	Mínimo	Nº classes	Classe modal	Amplitude classe	Limite inferior	Limite superior	Ponto médio
3	71	10,650	3,910	9	4	0,843	5,595	6,438	6,017

14	60	10,460	5,160	8	4	0,757	6,674	7,431	7,053
Média (t)									6,535
Mínimo (t)									6,017
Máximo (t)									7,053
Desvio Padrão (t)									0,733
Estimativa da capacidade (t)									6,535

Aplicando o método descrito a todos os tipos de fluxo de REEE uma estimativa, em peso, para a capacidade do veículo (com um volume de 60 m³), por tipo de fluxo, apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Capacidade, em peso, do veículo, por tipo de fluxo.

Fluxo	A	B	C	E
Capacidade (t)	5,599	4,443	6,689	6,535

A estimativa da capacidade do veículo para o fluxo E parece ser válida, considerando o trabalho desenvolvido por Gamberini *et al.* (2009). Os autores propõem a utilização de um novo contentor no transporte de monitores contendo CRT (fluxo E), com as seguintes características de capacidade:

- Em volume: 2,400 (m) × 1,800 (m) × 1,110 (m) = 3,144 m³
- Em peso: 350 kg = 0,350 t

Por extrapolação, considerando um volume de 60 m³, correspondente à capacidade do veículo de transporte do caso em estudo, a respectiva capacidade, em peso, seria 6,68 toneladas, o que não apresenta uma diferença elevada da quantidade estimada para o fluxo E (6,535 toneladas).

Assim, considera-se que são válidas as estimativas da capacidade do veículo, em peso, por tipo de fluxo.

4.4.4. Cenários

Considerando os 15 cenários possíveis de transporte de REEE entre os CR e as UTV, identificados na Tabela 4.1, e através da análise dos tipos de fluxo tratados nas UTV, verificou-se que seria possível reduzir para 6 os cenários a considerar na implementação do modelo.

Analisando a Tabela 3.2 (Capítulo 3) é possível concluir que:

- i. Nem todas as UTV possuem licença para tratar todos os tipos de fluxo, existindo restrições no envio de alguns tipos de fluxo para algumas UTV;
- ii. Todas as UTV tratam os tipos de fluxo A e C;
- iii. Apenas duas UTV (UTV₅ e UTV₆) tratam REEE de tipo de fluxo B; e
- iv. Apenas 3 UTV (UTV₁, UTV₅ e UTV₆) tratam REEE de fluxo E.

A análise efectuada permite verificar que será possível combinar os tipos de fluxo A e C num transporte e seleccionar qualquer UTV de destino que realize o tratamento destes tipos de fluxo de REEE. O mesmo não se verifica para os fluxos B e E.

Assim, considerando os cenários de transporte que incluem a combinação de tipos de fluxo AC como base, as combinações possíveis originam de 5 cenários multifluxo e mistos e um cenário monofluxo (A/B/C/E) (Tabela 4.7).

Tabela 4.7: Caracterização dos cenários considerados na implementação do modelo.

Cenário	Combinações de tipos de fluxo		Caracterização
1	Monofluxo	A/B/C/E	Todos os tipos de fluxo são transportados separadamente e a cada tipo de fluxo é associada uma UTV de destino.
2	Misto	AC/B/E	Os tipos de fluxo A e C são transportados conjuntamente para uma UTV. Os tipos de fluxo B e E são transportados separadamente, sendo associada uma UTV de destino a cada tipo de fluxo.
3	Multifluxo	AC/BE	Os tipos de fluxo A e C são transportados conjuntamente para uma UTV. Os tipos de fluxo B e E são transportados conjuntamente para outra UTV.
4	Misto	ABC/E	Os tipos de fluxo A, B e C são transportados conjuntamente para uma UTV. O fluxo E é transportado separadamente para outra UTV.
5	Misto	ACE/B	Os tipos de fluxo A, C e E são transportados conjuntamente para uma UTV. O fluxo B é transportado separadamente para outra UTV.
6	Multifluxo	ABCE	Todos os fluxos são transportados conjuntamente para uma UTV.

No entanto, segundo Gamberini *et al.* (2009) o transporte da combinação dos tipos de fluxo B e E seria inconsistente com o definido na Directiva Europeia 2002/96/CE. Uma vez que esta combinação é considerada em dois cenários (cenários 3 e 6), foi necessário confirmar a possibilidade de considerar a combinação BE.

Através do contacto, por correio electrónico, com o Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT) (Figura XIII, Anexo B) e telefónico (22 de Julho de 2010) para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), conclui-se que é possível transportar conjuntamente REEE do tipo B e E, desde que o seu manuseamento e acondicionamento, durante o transporte, sejam realizados de forma cuidadosa, de modo a evitar o seu derrame.

4.5. Implementação do Modelo de Minimização do Custo

Após a fase de especificação do modelo, em que foram caracterizados os *inputs* e *outputs* e identificados os cenários a considerar é, então, necessário implementar o modelo.

O modelo é implementado com base num conjunto de 3 ficheiros *Excel*. Cada ficheiro corresponde a um componente do modelo (Figura 4.12).



Figura 4.12: Componentes do modelo.

O ficheiro “Input.xlsx” contém os *inputs* do modelo definidos (Figura 4.9) e especificados anteriormente (secção 4.4, p. 72).

O ficheiro “MMC.xlsm” constitui o modelo propriamente dito e inclui a programação de 8 Folhas recorrendo a *Macros*, de forma a executar as rotinas definidas anteriormente (Figura 4.7 e Figura 4.8):

- 6 Folhas correspondem aos 6 cenários definidos;
- 1 Folha faz a selecção do cenário a considerar;
- 1 Folha determina a quantidade de cada tipo de fluxo a enviar para a UTV₆.

A cada cenário definido está associada uma Folha que tem uma *Macro* associada que executa todos os cálculos associados ao respectivo cenário.

Considerando como exemplo o cenário 2 (AC/B/E) a *Macro* “Cenario2_MMC”, cujo código se encontra em Anexo B, executa todos os cálculos referentes a este cenário (de acordo com a Figura 4.8), colocando a informação resultante na Folha “Cenário 2” do ficheiro “MMC.xlsm”.

Após executar as 6 *Macros* associadas aos 6 cenários, os *outputs* resultantes do modelo para cada cenário ficam determinados, sendo possível seleccionar o cenário a adoptar em cada CR.

Para cada CR, a *Macro* “Selecao_Cenario_MMC” regista na Folha “Seleção do Cenário” do ficheiro em *Excel* “MMC.xlsm”, o custo anual de gestão relativo a cada cenário e selecciona o cenário que resulta no menor custo anual de gestão.

De acordo com o modelo desenvolvido (Figura 4.7), após a selecção do cenário a adoptar para cada CR, é necessário verificar a quantidade de cada tipo de fluxo enviada para a UTV₆ resultante da aplicação do modelo. Para tal, foi criada a *Macro* “Quant_UTV 6_MMC” que para cada CR:

- i. Identifica o cenário seleccionado;
- ii. Identifica a UTV de destino de cada combinação de tipos de fluxo; e
- iii. No caso de alguma UTV de destino corresponder à UTV₆ é registada na Folha “Qtd UTV 6” a quantidade de cada tipo de fluxo enviado.

Em seguida é calculada a quantidade média mensal, de cada tipo de fluxo, a enviar para a UTV₆. O modelo é executado até que o custo de tratamento considerado esteja de acordo com a quantidade média mensal, de cada tipo de fluxo de REEE, enviada para a UTV₆ (Figura 4.7).

O *output* do modelo é obtido no ficheiro “Output.xlsm”. A este ficheiro está associada a *Macro* “Output” que regista na Folha “Output” os resultados da aplicação do modelo. Este ficheiro apresenta os resultados obtidos para o modelo actual (correspondente ao ano 2009) e Modelo MC, ou seja, apresentado para cada CR:

- Cenário adoptado;
- UTV de destino;
- Número de contentores que permanecem no CR;
- Custo anual de permanência dos contentores;
- Custo anual de transporte;
- Custo anual de tratamento;
- Custo anual de gestão; e
- Distância média anualmente percorrida.

Relativamente aos resultados obtidos é determinada ainda a variação percentual do custo anual de gestão relativamente ao modelo actual, de acordo com a equação (11), sendo:

$C_{Gestão}^A$ - custo de gestão anual relativo ao modelo actual, ou seja, considerando os dados de 2009;

$C_{Gestão}^M$ - custo de gestão anual resultante do modelo desenvolvido.

$$\Delta C_{Gestão} = \frac{C_{Gestão}^M - C_{Gestão}^A}{C_{Gestão}^A} \times 100 \quad (11)$$

No caso de se verificar um aumento do custo de gestão relativamente ao modelo actual, o valor da variação é positivo e indicado a vermelho. No caso de se registar uma redução o valor é negativo e apresentado a verde.

4.6. Verificação e Validação do Modelo de Minimização do Custo

Finalizado o desenvolvimento e implementação do modelo é necessário verificar se este executa o que se pretende e averiguar se os resultados obtidos são validos, ou seja, se fazem sentido.

A verificação do modelo é feita para cada uma das *Macros* construídas. Assim, é seleccionado um CR, de forma aleatória, para o qual são calculados manualmente os *outputs* dos modelos. Visto que o modelo é constituído por 8 *Macros* é necessário seleccionar aleatoriamente 8 CR para realizar a verificação (um CR para verificar cada *Macro*).

Determinados os valores dos *outputs* manualmente, estes são comparados com os valores resultantes. O modelo é verificado com sucesso quando os valores determinados manualmente coincidem com os valores obtidos pelo modelo.

Após a verificação, o modelo foi também validado. De forma análoga seleccionou-se, aleatoriamente um CR para efectuar a validação.

O modelo foi validado na selecção das UTV de destino e dos cenários considerados. Assim, para validar a selecção das UTV do modelo MC:

- i. Foi considerado, aleatoriamente, um cenário;
- ii. Para o cenário considerado, foi calculada manualmente a soma dos custos anuais de transporte e tratamento para as 10 UTV;
- iii. Foi determinado o mínimo dos custos anuais calculados; e
- iv. Foi verificado se o mínimo obtido correspondia ao custo associado à UTV seleccionada pelo modelo.

No caso do menor custo corresponder ao custo associado à UTV seleccionada pelo modelo, então os resultados obtidos foram considerados válidos. A validação da selecção das UTV de destino dos REEE provenientes do CR₅₅ para o cenário 3 do modelo MC apresenta-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Validação da selecção das UTV de destino dos REEE provenientes do CR₅₅ para o cenário 3 do modelo MC.

Fluxos / UTV	Custo de Transporte + Custo de Tratamento (€/ano)										Valor mínimo	Seleção
	UTV ₁	UTV ₂	UTV ₃	UTV ₄	UTV ₅	UTV ₆	UTV ₇	UTV ₈	UTV ₉	UTV ₁₀		
AC	3 603	3 059	4 719	3 019	6 827	4 497	5 905	4 854	3 610	5 092	3 019	UTV ₄
BE	-	-	-	-	20 232	22 381	-	-	-	-	20 232	UTV ₅

Analisando a Tabela 4.8, verifica-se que para as duas combinações de tipos de fluxo (AC e BE) a UTV seleccionada pelo modelo MC corresponde à UTV com menor custo anual de transporte e tratamento. Assim, é possível concluir que, para a selecção das UTV de destino, o modelo MC apresenta resultados válidos.

O processo de validação da selecção do cenário do modelo MC é semelhante ao adoptado para a validação da selecção das UTV de destino:

- i. Foi considerado, aleatoriamente, um CR;
- ii. Foi calculado manualmente o custo anual de gestão para cada cenário;
- iii. Foi determinado o mínimo dos custos anuais de gestão calculados; e
- iv. Foi verificado se o cenário seleccionado pelo modelo correspondia ao cenário associado ao menor custo de gestão.

A validação da selecção do cenário a adoptar no transporte dos REEE provenientes do CR₁₆ para o modelo MC apresenta-se na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Validação da selecção do cenário a adoptar no CR₁₆ para o modelo MC.

Cenário	1	2	3	4	5	6	Valor mínimo	Seleção
Custo de Gestão (€/ano)	43 887	41 826	44 917	40 757	39 660	44 084	39 660	Cenário 5

Através da análise da Tabela 4.9 verifica-se que o cenário 5, seleccionado pelo modelo MC, corresponde ao menor custo anual de gestão, pelo que se pode considerar que os resultados do modelo, para a selecção do cenário a adoptar, também são válidos.

4.7. Aplicação do Modelo de Minimização do Custo

Após a verificação e validação do modelo é possível aplicá-lo ao caso de estudo em análise de acordo com o processo de implementação definido (secção 4.5, p. 77). Um factor importante

aconsiderar na aplicação de qualquer modelo é o tempo necessário à obtenção de resultados, isto é, o seu tempo de execução. A Tabela 4.10 apresenta o tempo de execução de cada *Macro* associada ao modelo MC, num processador Core2 Duo T7250P 2.0 GHz.

Tabela 4.10: Tempo de execução do modelo MC.

Macro	1ª Execução (hh:mm:ss)	2ª Execução (hh:mm:ss)	Total (hh:mm:ss)
Cenário 1_MMC	00:12:26	00:12:18	00:24:44
Cenário 2_MMC	00:06:20	00:07:33	00:13:53
Cenário 3_MMC	00:05:04	00:05:39	00:10:43
Cenário 4_MMC	00:04:38	00:04:54	00:09:32
Cenário 5_MMC	00:04:40	00:04:53	00:09:33
Cenário 6_MMC	00:02:40	00:02:41	00:05:21
Seleccao_MMC	00:01:39	00:01:44	00:03:23
Quant_UTV6_MMC	00:00:13	00:00:14	00:00:27
Total	00:37:40	00:39:56	01:17:36

Analisando a Tabela 4.10 conclui-se que o modelo MC demorou cerca de 1 hora e 17 minutos a fornecer resultados. Observa-se também que, para obter os resultados do modelo, foi necessário executar duas vezes as *Macros* associadas, tendo cada execução uma duração de cerca de 38 e 40 minutos, respectivamente. Tal deve-se ao facto de o custo de tratamento de cada tipo de fluxo de REEE na UTV₆ variar com a respectiva quantidade enviada para esta UTV (Tabela 3.2 em Capítulo 3). De acordo com o modelo desenvolvido (Figura 4.7), o custo de tratamento considerado inicialmente para os tipos de fluxo de REEE corresponde ao menor custo. No caso de a quantidade de REEE a enviar para a UTV₆, resultante da aplicação do modelo, não estar de acordo com o custo considerado para cada tipo de fluxo, este deve ser alterado em concordância e o modelo deve ser executado novamente. Assim, o custo de tratamento dos REEE na UTV₆, resultante da aplicação do modelo MC, corresponde ao apresentado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Custo de tratamento na UTV₆, por tipo de fluxo de REEE, resultante do modelo MC.

Fluxo	Custo de tratamento (€/t)			
	A	B	C	E
Menor custo	0	250	100	400
Resultado da aplicação do modelo	0	250	100	430

Através da análise da Tabela 4.11, verifica-se que o custo de tratamento na UTV₆, do tipo de fluxo E é superior ao menor custo, correspondendo a 430 € por tonelada, uma vez que a quantidade deste tipo de fluxo enviada para esta UTV é inferior à quantidade mínima (Tabela 4.3, p. 65). Para os restantes tipos de fluxo, o custo de tratamento na UTV₆ corresponde ao menor custo.

Por fim, a execução da *Macro* associada aos *Outputs* do modelo demora 58 segundos.

Após a concepção, implementação, verificação e validação e respectiva aplicação do modelo MC é, então, aplicada a metodologia de modelação (secção 4.2, p. 62) ao modelo MD.

4.8. Modelo de Minimização da Distância

O Modelo de Minimização da Distância (modelo MD) é semelhante ao modelo MC, diferindo apenas na função objectivo. O modelo MD tem como objectivo minimizar a distância percorrida no transporte dos REEE entre os CR e as UTV. Consequentemente, este modelo foi desenvolvido numa perspectiva de minimização do impacto ambiental, uma vez que minimiza a emissão de CO₂ e o consumo de energia.

O modelo conceptual genérico apresentado (Figura 4.6, p. 64) e os cenários identificados (Tabela 4.1, p. 60) também se aplicam ao modelo MD.

4.8.1. Desenvolvimento

O custo de tratamento dos tipos de fluxo de REEE na UTV₆ varia de acordo com a quantidade enviada mensalmente para esta UTV (Tabela 4.3, p. 65). Assim, o modelo MD tem como base o modelo conceptual desenvolvido anteriormente (Figura 4.7, p. 66).

No entanto, a lógica associada à subrotina 'Modelo' difere do desenvolvido para o modelo MC (Figura 4.8) uma vez que a função objectivo dos modelos é distinta. A principal diferença está no facto de ser calculada a distância percorrida no transporte de cada combinação de tipos de fluxo para cada UTV e considerado cada cenário em vez de serem determinados os vários tipos de custos (permanência dos contentores no CR, transporte de REEE entre CR e UTV, tratamento de REEE na UTV). O fluxograma da subrotina 'Modelo' MD apresenta-se na Figura 4.13.

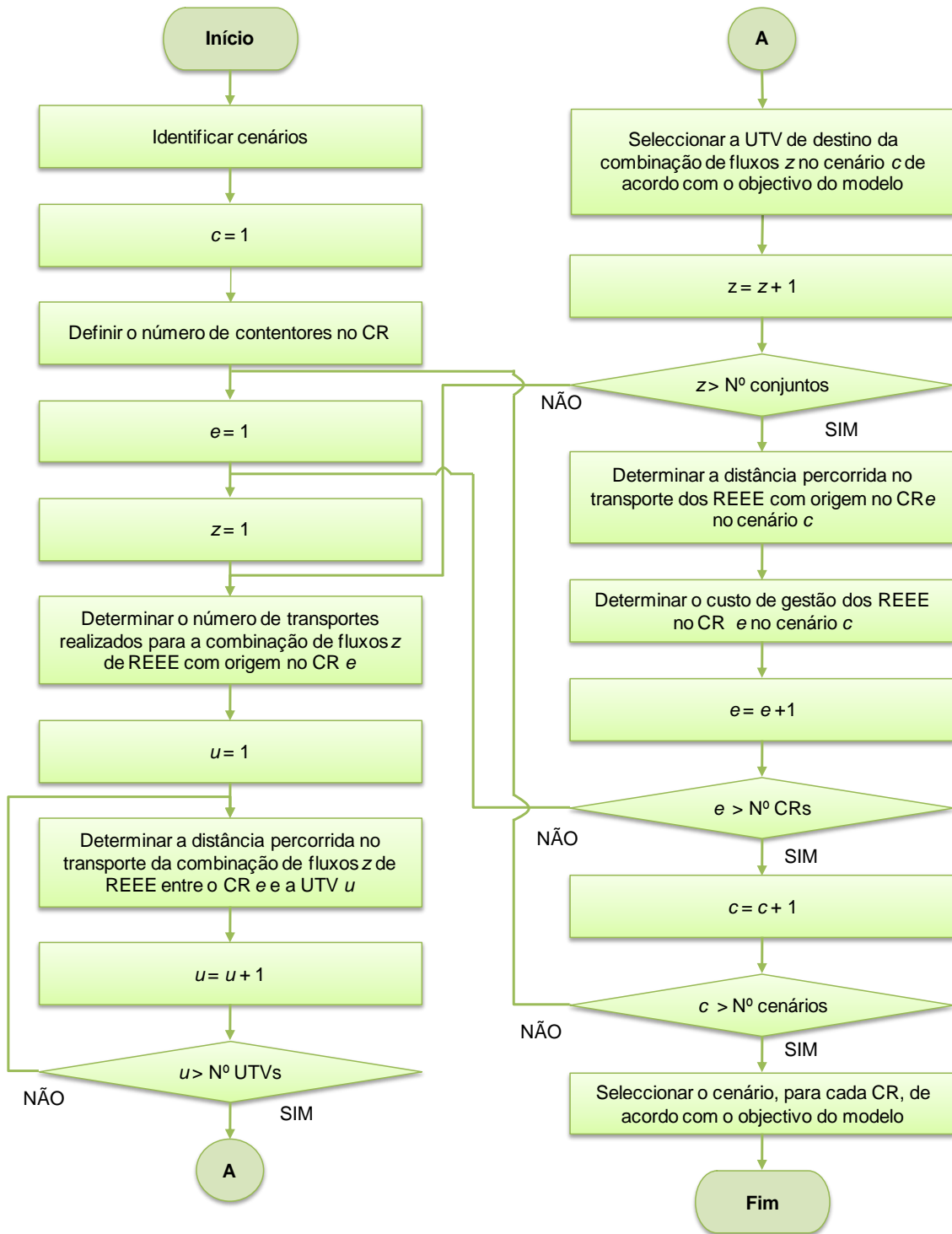


Figura 4.13: Subrotina 'Modelo' MD.

Inicialmente são identificados os cenários a considerar (Tabela 4.7). Para o cenário c é definido o número de contentores necessários para armazenar os REEE nos CR (Tabela 4.1). De seguida, para o CR_e é determinado o número de transportes de uma combinação de tipos de fluxo de REEE a transportar conjuntamente, segundo a equação (3).

Considerando a UTV_u como UTV de destino, é determinada a distância percorrida no transporte de REEE entre o CR_e e a UTV_u . A distância anualmente percorrida entre o CR_e e a UTV_u é função: i. do número médio de transportes entre o CR_e e a UTV de destino, realizados durante o período de um ano e ii. da distância entre o CR_e e a UTV_u , como em (12), sendo:

$n_{transporte}^e$ - número médio de transportes realizados, durante o período de um ano, entre o CR_e e uma UTV de, de acordo com a equação (4) e

$d^{e,u}$ - distância, em quilómetros, entre o CR_e de origem e a UTV_u ;

$$D^{e,u} = n_{transporte}^e \times d^{e,u} \quad (12)$$

Após calculada a distância percorrida, anualmente, no transporte da combinação de tipos de fluxo entre o CR_e e cada UTV é seleccionada a UTV de destino da combinação de tipos de fluxo. A selecção da UTV de destino da combinação de tipos de fluxo é feita de acordo com a equação (13).

$$Min (D^{e,u}) \quad (13)$$

Sendo $D^{e,u}$ a distância percorrida entre CR_e e a UTV_u durante o período de um ano, determinada segundo a equação (12). Após a selecção da UTV de destino, são determinados os respectivos custos de transporte e tratamento da combinação de tipos de fluxo de REEE entre o CR_e e a UTV seleccionada, de acordo com as equações (4) e (5). A mesma sequência lógica é repetida para todas as combinações de tipos de fluxo associados ao cenário c , sendo, posteriormente, determinada a distância percorrida, anualmente, no transporte de REEE entre o CR_e e a(s) UTV(s) de destino, segundo a equação (14), sendo:

$D^{e,u}$ - distância percorrida entre CR_e e a UTV_u , definida de acordo com a expressão (12), e

U^c – número de UTV de destino associadas ao cenário c .

$$D^{e,c} = \sum_{u=1}^{U^c} D^{e,u} \quad (14)$$

De seguida é determinado o custo anual de gestão dos REEE no CR_e , de acordo com a equação (7).

Assim, actualiza-se o CR a considerar e repetem-se as actividades associadas ao cálculo do custo anual de gestão dos REEE, em cada CR, associado ao cenário c . Posteriormente, o cenário a considerar é, então, também actualizado, sendo a lógica sequencial aplicada novamente para todos os cenários identificados.

Por fim é seleccionado o cenário a adoptar, de acordo com a minimização da distância percorrida anualmente no transporte de REEE com origem no CR_e , ou seja, segundo a equação (15).

$$\text{Min} (D^{e,c}) \quad (15)$$

Sendo $D^{e,c}$ a distância percorrida, anualmente, no transporte de REEE entre o CR_e e a(s) UTV(s) de destino considerando o cenário c . No caso de existirem vários cenários com a distância percorrida mínima associada, o cenário seleccionado corresponderá ao de menor custo anual de gestão associado, determinado.

O objectivo do modelo MD é minimizar a distância percorrida no transporte de REEE entre os CR e as UTV. Desta forma, a selecção do cenário a implementar e da UTV de destino para cada conjunto de tipos de fluxo é realizada de forma a minimizar a distância percorrida entre cada CR e as UTV de destino.

4.8.2. Implementação

O processo de implementação do modelo MD é semelhante ao desenvolvido para o modelo MC (secção 4.5, p. 77). O modelo é constituído por 3 ficheiros *Excel*: i. “Input.xlsx”, ii. “MMD.xlsm” e iii. “Output.xlsx”.

O ficheiro “Input.xlsx”, correspondente ao mesmo ficheiro utilizado para implementar o modelo MC, contém os dados de *input* do modelo (Figura 4.9).

O ficheiro “MMD.xlsm” corresponde ao ficheiro onde foi implementado o modelo de acordo com o modelo conceptual desenvolvido (Figura 4.7 e Figura 4.13). De forma análoga à implementação do modelo MC, também o ficheiro “MMD.xlsm” é constituído por 8 *Sheets* programadas em *Macros* que executam as instruções definidas na subrotina ‘Modelo’ (Figura 4.13). A implementação do modelo MD é semelhante ao apresentado anteriormente para o modelo MC, apenas difere no objectivo do modelo, pois no caso do modelo MD, a selecção das UTV de destino dos REEE provenientes de cada CR e o cenário a adoptar em cada CR, é feita de acordo com a minimização da distância percorrida. De referir que no caso de serem identificados vários cenários com a distância percorrida mínima associada, então, entre estes o modelo selecciona o que represente menor custo de gestão.

O ficheiro “Output.xlsx” correspondente ao mesmo ficheiro onde são registados os *outputs* dos modelos desenvolvidos (modelo MC e modelo MD). Tal como referido anteriormente (Secção 4.5, p. 77), este ficheiro apresenta os resultados obtidos para o i. modelo actual (correspondente ao ano 2009); ii. Modelo MC e iii. Modelo MD, para cada CR.

Relativamente aos resultados obtidos é determinada ainda a variação percentual distância percorrida, relativamente ao modelo actual, de acordo com a equação (16), sendo:

D^A - distância percorrida anualmente considerando o modelo actual (2009);

D^M - distância média percorrida por ano resultante do modelo proposto (MC ou MD).

$$\Delta D = \frac{D^M - D^A}{D^A} \times 100 \quad (16)$$

No caso de se verificar um aumento da distância percorrida relativamente ao modelo actual, o valor da variação é positivo e indicado a vermelho, no caso de se registar uma redução o valor é negativo e apresentado a verde.

4.8.3. Verificação e Validação

Após o desenvolvimento e implementação do modelo MD é necessário verificar e validar os resultados obtidos pelo modelo. O processo de verificação e validação do modelo MD é semelhante ao adoptado no modelo MC (secção 4.6, p. 79), tendo sido validado na selecção das UTV de destino e dos cenários considerados. Para o modelo MD, em vez de serem calculados os custos é calculada manualmente a distância anualmente percorrida considerando cada UTV de destino e, posteriormente, considerando cada cenário.

Desta forma, na Tabela 4.12 é possível analisar a validação da selecção das UTV de destino dos REEE provenientes do CR₆₈, considerando o cenário 4.

Tabela 4.12: Validação da selecção das UTV de destino dos REEE proveniente do CR₆₈ para o cenário 4 do modelo MD.

Fluxos / UTV	Distância Percorrida (km/ano)										Valor mínimo	Seleccção
	UTV ₁	UTV ₂	UTV ₃	UTV ₄	UTV ₅	UTV ₆	UTV ₇	UTV ₈	UTV ₉	UTV ₁₀		
ABC	-	-	-	-	16 383	1 569	-	-	-	-	1 569	UTV ₆
E	5 380	-	-	-	5 599	536	-	-	-	-	536	UTV ₆

Analisando a validação apresentada na Tabela 4.12, verifica-se que a UTV de destino de cada conjunto de tipos de fluxo (ABC e E), seleccionada pelo modelo MD, corresponde à UTV associada à menor distância percorrida anualmente.

A validação da selecção do cenário pelo modelo MD para o CR₉ apresenta-se na Tabela 4.13. Neste caso verifica-se que para todos os cenários a distância percorrida anualmente corresponde a 11 quilómetros, pelo foi necessário considerar o custo anual de gestão na

selecção do cenário a adoptar. No entanto, verifica-se que o cenário seleccionado pelo modelo corresponde ao cenário associado ao menor custo de gestão, uma vez que a distância é idêntica para todos.

Tabela 4.13: Validação da selecção do cenário no CR₉ para o modelo MD.

Cenário	1	2	3	4	5	6	Valor mínimo	Seleccção
Distância (km/ano)	11	11	11	11	11	11	11	-
Custo de gestão (€/ano)	9 690	7 530	5 370	5 370	5 370	3 210	3 210	Cenário 6

Desta forma, é possível concluir que o modelo MD foi verificado e validado com sucesso.

4.8.4. Aplicação

Após a verificação e validação do modelo é possível aplicá-lo ao caso em estudo. Um dos aspectos importantes na aplicação do modelo é o tempo necessário para que sejam obtidos os respectivos resultados. O tempo de execução das *Macros* associadas ao modelo MD apresenta-se na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Tempo de execução do modelo MD.

Macro	1ª Execução (hh:mm:ss)	2ª Execução (hh:mm:ss)	Total (hh:mm:ss)
Cenário 1_MMD	00:10:12	00:13:01	00:23:13
Cenário 2_MMD	00:06:45	00:08:16	00:15:01
Cenário 3_MMD	00:05:13	00:06:29	00:11:42
Cenário 4_MMD	00:06:12	00:06:03	00:12:15
Cenário 5_MMD	00:05:28	00:05:13	00:10:41
Cenário 6_MMD	00:03:14	00:03:22	00:06:36
Seleccao_MMD	00:02:28	00:02:31	00:04:59
Quant_UTV6_MMD	00:00:22	00:00:24	00:00:46
Total	00:39:54	00:45:19	01:25:13

O tempo de execução do modelo MD foi cerca de 1 hora e 25 minutos. As *Macros* associadas a este modelo também tiveram de ser executadas duas vezes, tendo cada execução uma duração de aproximadamente 40 e 45 minutos, respectivamente. O motivo deste facto é

semelhante ao do modelo MC, ou seja, o modelo teve de ser aplicado duas vezes devido à necessidade de ajuste do custo de tratamento dos REEE na UTV₆ de acordo com a quantidade de cada tipo de fluxo enviada para esta UTV.

Desta forma, a aplicação do modelo MD resulta no custo de tratamento dos REEE na UTV₆ apresentado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Custo de tratamento na UTV6, por tipo de fluxo de REEE, resultante do modelo MD.

Fluxo	Custo de tratamento (€/t)			
	A	B	C	E
Menor custo	0	250	100	400
Resultado da aplicação do modelo	0	250	110	400

Analisando a Tabela 4.15, verifica-se que o custo de tratamento na UTV₆, do tipo de fluxo C é superior ao menor custo, correspondendo a 110 € por tonelada, pois a quantidade deste tipo de fluxo enviada para esta UTV é inferior à quantidade mínima (Tabela 4.3). Para os restantes tipos de fluxo, o custo de tratamento na UTV₆ corresponde ao menor custo, considerado inicialmente.

Por fim, a execução da *Macro* associada aos *Outputs* dos modelos, que inclui os resultados do modelo MC e modelo MD, bem como os do modelo actualmente adoptado pela entidade gestora (relativo a 2009) demora 58 segundos.

Após a concepção, a verificação e validação dos modelos e respectiva aplicação é possível analisar os resultados obtidos, correspondentes aos *outputs* do modelo.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE RESULTADOS

O presente capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos através da aplicação dos modelos de gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE), Modelo de Minimização do Custo (modelo MC) e Modelo de Minimização da Distância (modelo MD), desenvolvidos no capítulo 4.

O capítulo está organizado em quatro secções. A primeira secção apresenta a análise relativa ao modelo actual (2009) de gestão, no que respeita ao custo de gestão dos REEE, à distância percorrida e aos cenários de transporte de REEE dos Centros de Recepção (CR) para as Unidades de Tratamento e Valorização (UTV) adoptados. A segunda secção consiste na análise comparativa dos resultados do modelo MC relativamente ao modelo actual (2009) de gestão. A secção três corresponde à análise dos resultados obtidos com o modelo MD comparativamente com o modelo actual. Finalmente, a quarta secção apresenta uma análise comparativa dos modelos propostos, MC e MD.

5.1. Modelo Actual

Para possibilitar a realização de uma análise comparativa entre o modelo de gestão do transporte de REEE dos CR para as UTV actualmente adoptado (2009) e os modelos desenvolvidos (modelos MC e MD) foram analisados alguns aspectos do modelo actual, nomeadamente: *i.* custo anual; *ii.* distância percorrida anualmente e; *iii.* cenário de transporte adoptado. Os valores associados a cada CR apresentam-se na Tabela IX, Anexo C.

O custo de gestão associado ao modelo adoptado pela entidade gestora em estudo correspondeu a 5 001 488 € em 2009, considerando o subsistema CR/UTV. Na Figura 5.1 apresenta-se a distribuição do custo de gestão pelas 3 parcelas de custo.

Através da análise da Figura 5.1 conclui-se que o custo de tratamento representa a percentagem mais significativa do custo de gestão, 92%. O custo de transporte e de permanência dos contentores nos CR representam, respectivamente, 5% e 3% do custo de gestão, em 2009.

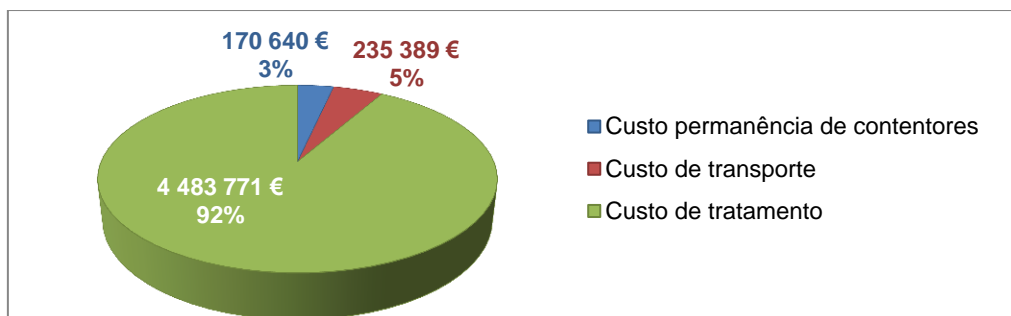


Figura 5.1: Distribuição do custo de gestão pelos custos parciais, modelo actual (2009).

O transporte de REEE entre os CR e as UTV, em 2009, resultou numa distância total percorrida de 235 389 quilómetros.

Relativamente aos cenários de transporte adoptados, verifica-se, através da Figura 5.2, que o transporte multifluxo (ABCE) foi o mais adoptado em 2009, correspondendo a cerca de 76% dos CR, enquanto os cenários AC/B/E, ABC/E e ACE/B não foram adoptados por qualquer CR. De notar que os cenários considerados actualmente na gestão de REEE não correspondem exactamente aos cenários analisados no âmbito dos modelos propostos, sendo necessário incluir uma 7ª classe designada por “Outros” que inclui os cenários não consideradas na modelação. Os cenários desta classe correspondem a cenários em que o CR envia para mais do que uma UTV o mesmo tipo de fluxo. Por exemplo, no cenário ABCE/AC, os tipos de fluxo A e C são enviados para duas UTV. Os cenários ACE, BCE, BE e CE foram considerados como ABCE, uma vez que correspondem a transporte multifluxo dos fluxos recepcionados nos CR que, em 2009, não apresentam registo de recepção de certos tipos de fluxo.

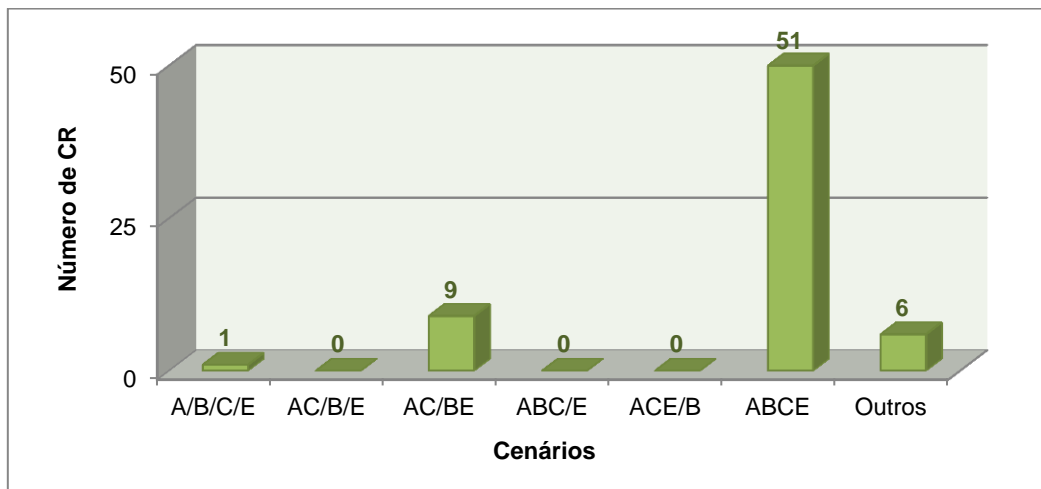


Figura 5.2: Distribuição dos CR pelos cenários de transporte adoptadas em 2009.

As análises realizadas ao número de CR afectos a cada UTV e à quantidade de REEE enviada para cada UTV foram desenvolvidas anteriormente, na secção 3.3 do Capítulo 3 (Tabela 3.4 e Figura 3.9).

5.1. Modelo de Minimização do Custo

A implementação do modelo MC (Figuras Figura 4.7 e Figura 4.8, Capítulo 4) teve como *outputs* os resultados apresentados na Tabela X, Anexo C.

Os custos de gestão associados ao modelo de gestão actualmente adoptado (2009) e ao modelo MC são apresentados na Figura 5.3.

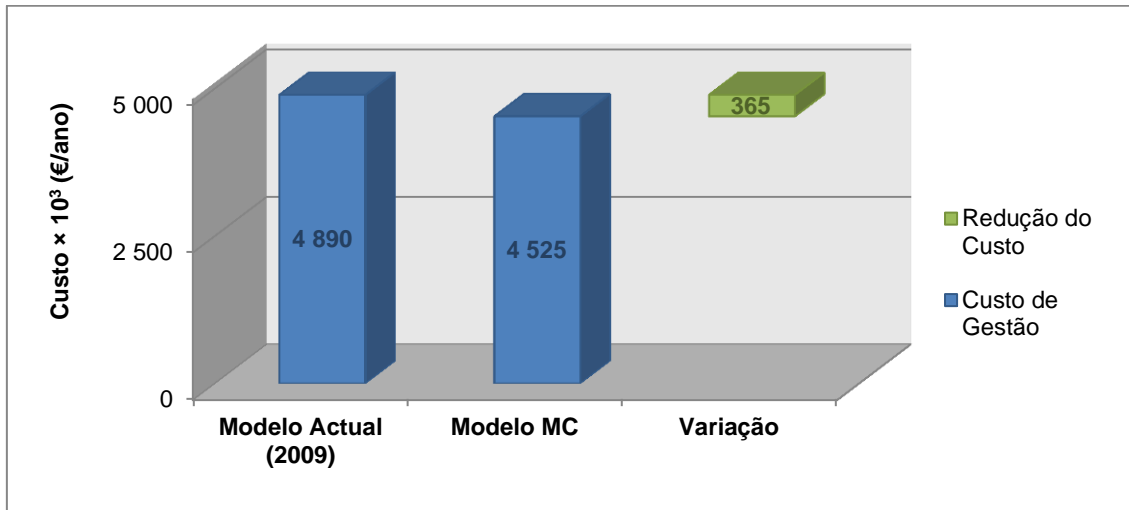


Figura 5.3: Custo de gestão do modelo actual (2009) e do modelo MC.

Da análise da Figura 5.3 verifica-se que, em 2009, o custo de gestão de REEE do subsistema CR/UTV gerido pela entidade em estudo correspondeu a cerca de 4 890 milhares de euros. Com o modelo MC, o valor do custo de gestão é aproximadamente de 4 525 milhares de euros, o que corresponde a uma redução do custo de gestão de cerca de 7,5% relativamente ao modelo actual.

Estes resultados correspondem ao esperado, uma vez que seria previsível obter uma redução do custo de gestão com a implementação do modelo MC, já que o modelo selecciona a UTV de destino e o cenário que representam um menor custo. No entanto, esta redução do custo de gestão não se verifica para todos os CR.

Na Tabela XI (Anexo C) é possível verificar que 15 CR apresentam um custo de gestão ligeiramente superior ao do modelo actual, correspondendo o aumento mais elevado ao CR₁₅ (6%).

Uma análise dos CR (Tabela XII, Anexo C), em que os resultados do modelo MC não foram os espectáveis, permitiu constatar que:

- i. O custo de tratamento dos REEE em 2009 foi inferior ao do modelo MC;
- ii. O número de transportes realizados em 2009 foi inferior ao determinado pelo modelo.

O facto do custo de tratamento dos REEE determinado pelo modelo MC ser superior ao verificado em 2009 deve-se à diferença do custo de tratamento do tipo de fluxo E, na UTV₆. Analisando a Tabela 4.11 (Capítulo 4, p. 81) verifica-se que a aplicação do modelo MC resultou num custo de tratamento superior ao do custo de tratamento actual do tipo de fluxo E na UTV₆ (Tabela 3.3, Capítulo 3, p. 50), uma vez que este custo está dependente da quantidade de REEE enviada mensalmente para esta UTV.

O segundo factor deve-se ao facto do número médio de transportes ser determinado em função da estimativa da capacidade do veículo, em peso, para os tipos de fluxo a transportar. As estimativas têm um erro associado (diferença entre a capacidade real e estimada) que se traduz, para alguns CR, numa disparidade entre o número de transportes efectivamente realizados e o número médio de transportes determinado pelo modelo MC.

De forma a compreender a composição do custo de gestão do modelo MC, apresenta-se na Figura 5.4 a importância relativa dos custos parciais (permanência dos contentores nos CR, transporte entre os CR e as UTV e tratamento nas UTV).

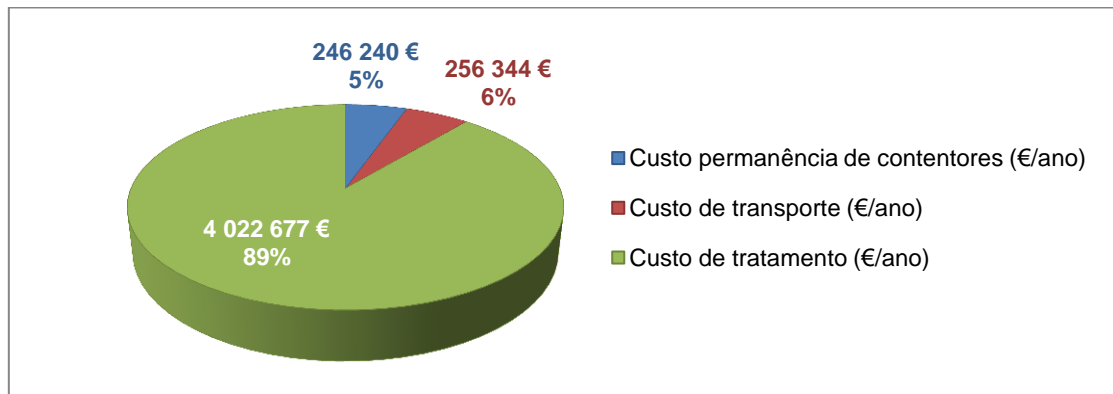


Figura 5.4: Custos parciais de gestão para o modelo MC.

Através da análise da Figura 5.4 verifica-se que o custo de tratamento é o que apresenta uma importância relativa superior, correspondente a 89% do custo de gestão do modelo MC, enquanto os custos de transporte e de permanência dos contentores nos CR representam, respectivamente, 6% e 5% do custo de gestão.

De modo a identificar o custo parcial que mais contribui para a redução do custo de gestão, apresenta-se, na Tabela 5.1, a variação percentual dos custos parciais do modelo MC, relativamente ao custo actual (correspondente à situação em 2009). A variação do custo de permanência dos contentores nos CR é determinada pela razão entre a parcela do custo de permanência dos contentores do modelo MC e o custo de gestão do modelo actual.

Tabela 5.1: Variação percentual dos custos parciais associados ao modelo MC relativamente ao custo de gestão do modelo actual (2009).

Custo	Contentor	Transporte	Tratamento	Gestão
Variação	(+) 1,5%	(+) 0,4%	(-) 9,4%	(-) 7,5%

Pela análise da Tabela 5.1 verifica-se que o modelo MC conduz a uma redução do custo de tratamento em 9,4% relativamente ao custo de gestão do modelo actual, ao contrário dos

custos de permanência dos contentores nos CR e de transporte onde se verifica, respectivamente, um aumento de 1,5% e de 0,4%. O balanço da variação nos custos relativamente ao custo de gestão actual resulta numa redução total de 7,5%, relativamente ao custo de gestão, em 2009.

Na Figura 5.5 apresenta-se a distância percorrida no transporte de REEE entre os CR e as UTV no modelo actual e no modelo MC.

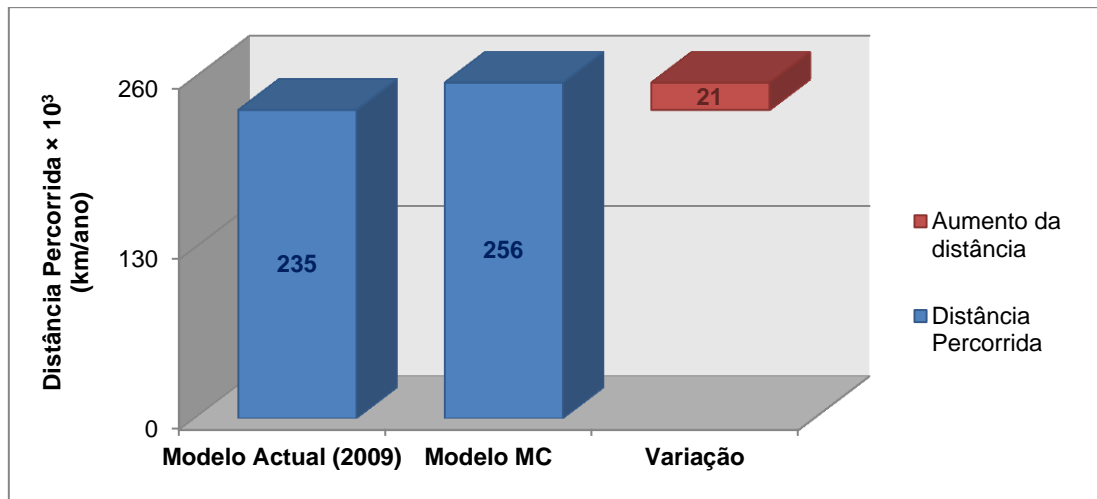


Figura 5.5: Distância percorrida no transporte de REEE nos modelos actual e MC, em 2009.

Da análise da Figura 5.5 verifica-se que em 2009 a distância percorrida no transporte de REEE entre os CR e as UTV corresponde a cerca de 235 000 quilómetros enquanto pelo modelo MC resulta num aumento de cerca de 21 000 quilómetros, o que corresponde a aproximadamente 9% da distância percorrida em 2009. Este aumento está relacionado com o facto do modelo MC privilegiar a redução do custo de tratamento (Tabela 5.1) por este ser muito superior às outras parcelas do custo de gestão (Figura 5.4).

A frequência de selecção de cada um dos cenários em 2009 e segundo o modelo MC é apresentada na Figura 5.6.

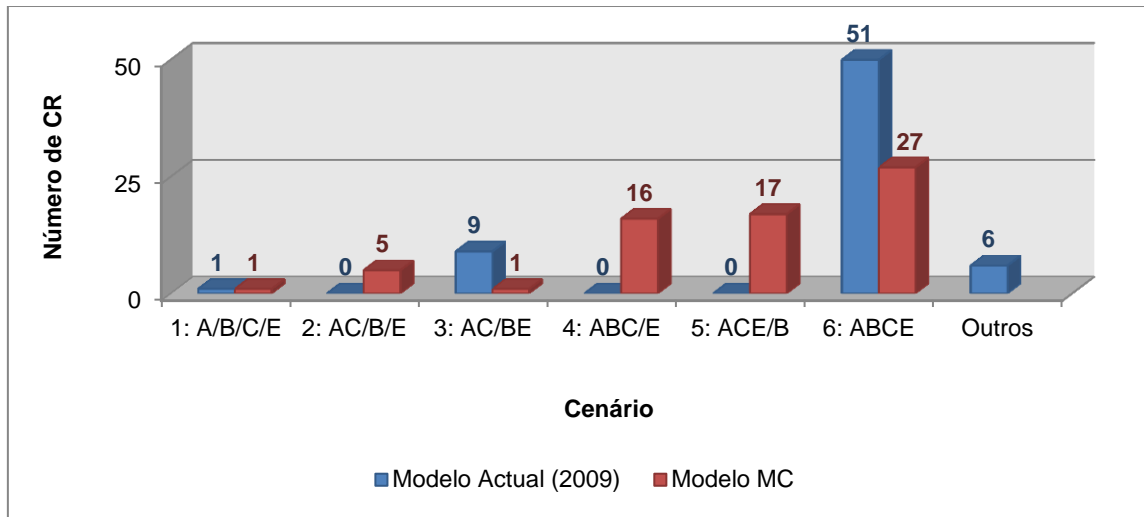


Figura 5.6: Frequência dos cenários adoptados nos CR em 2009 e segundo o modelo MC.

Através de uma análise comparativa aos cenários adoptados pelos CR (Figura 5.6), verificam-se diferenças significativas entre o modelo actualmente adoptado e o modelo MC. Actualmente (2009) a maioria (76%) dos CR adopta o cenário 6, multifluxo (ABCE) e nenhum CR adopta os cenários 2, 4 e 5. Segundo o modelo MC, o cenário seleccionado com maior frequência continua a ser o transporte multifluxo ABCE (27 CR). Os cenários 4 e 5, ABC/E e ACE/B, são seleccionados no modelo MC por 24% e 25% dos CR respectivamente, ou seja, aproximadamente metade dos CR estão afectos a estes cenários.

Por aplicação do modelo MC verifica-se que as UTV a que os CR estão afectos e a quantidade de REEE que recebem, diferem do modelo actual (2009), Tabela 5.2.

Como referido anteriormente (subsecção 4.4.1 do Capítulo 4), nem todos os CR receberam em 2009 todos os tipos de fluxo de REEE. Este facto foi considerado na implementação do modelo. Por exemplo, segundo o modelo MC, o CR₂ envia tipos de fluxo A, B e C para a UTV₂, apesar de esta UTV não ter licença para tratar o tipo fluxo B. O CR₂ não recebeu em 2009 o tipo de fluxo B (Tabela IV, Anexo B), pelo que na realidade este CR apenas envia para a UTV₂ fluxos A e C.

A afectação apresentada na Tabela 5.2 exclui os CR afectos por fluxos não recepcionados.

Tabela 5.2: Afecção dos CR às UTV, por tipo de fluxo, para o modelo actual e modelo MC.

UTV \ Fluxo	Número de CR afectos							
	Modelo Actual (2009)				Modelo MC			
	A	B	C	E	A	B	C	E
UTV ₁	5	-	6	7	17	-	21	44
UTV ₂	1	-	1	-	4	-	4	-
UTV ₃	1	-	1	-	0	-	0	-
UTV ₄	1	-	0	-	1	-	0	-
UTV ₅	17	29	24	29	1	22	2	3
UTV ₆	19	27	23	30	26	35	31	18
UTV ₇	1	-	1	-	4	-	4	-
UTV ₈	9	2	9	2	1	-	0	-
UTV ₉	1	-	1	-	0	-	0	-
UTV ₁₀	3	-	3	-	0	-	0	-

A análise detalhada do número de CR afectos às UTV, por tipo de fluxo, actual (2009) encontra-se no Capítulo 3 (Tabela 3.4, p. 50). A análise da Tabela 5.2 permite verificar a existência de diferenças significativas nos dois modelos de gestão. É possível constatar que actualmente (2009) as UTV com mais CR afectos são as UTV₅ e UTV₆. Segundo o modelo MC, para além das UTV₅ e UTV₆, também a UTV₁ apresenta um número superior de CR afectos relativamente às restantes UTV. Observa-se, também, que, pelo modelo MC, as UTV₃, UTV₉ e UTV₁₀ não apresentam qualquer CR afecto, tornando-as dispensáveis ao SIGREEE. Este facto deve-se, essencialmente, à diferença que existe no custo de tratamento entre as UTV. Como o custo de tratamento representa uma parte significativa (89%, Figura 5.4) do custo de gestão e por isso é muito superior ao custo de transporte é o custo de tratamento que prevalece na selecção da UTV.

Também se verifica diferença entre o modelo actual (2009) e o modelo MC, no que respeita à quantidade de REEE enviada para as UTV, Figura 5.7.

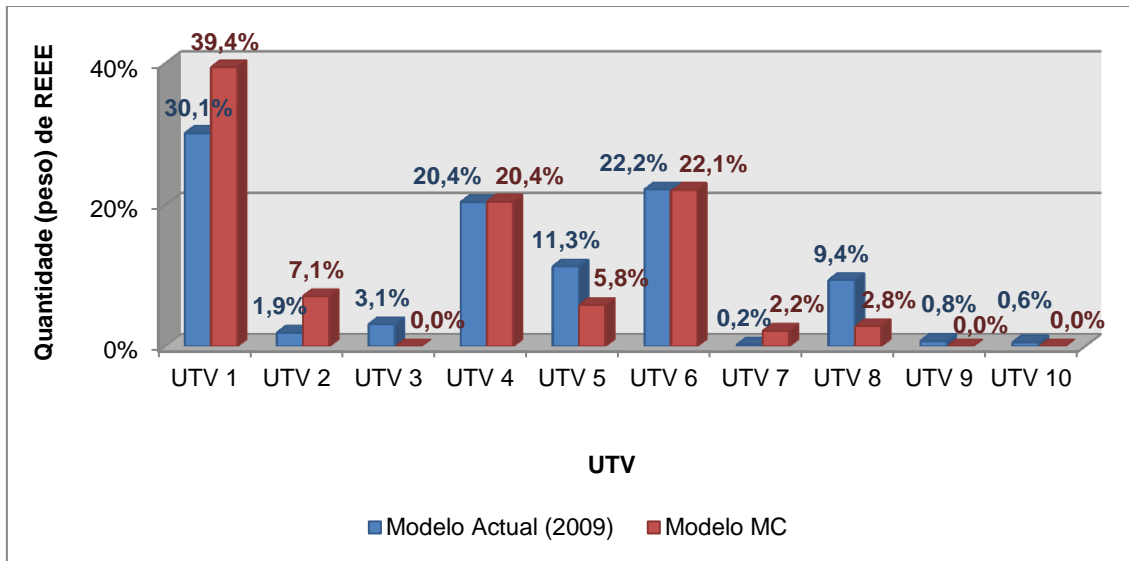


Figura 5.7: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009 e definida pelo modelo MC.

Através da análise da Figura 5.7 verifica-se que, para o modelo actual e modelo MC, as UTV₁, UTV₄ e UTV₆ são as que recebem maiores quantidades de REEE, 30,1% e 39,4%, 20,4% e 20,4% e 22,2% e 22,1%, respectivamente. As UTV₃, UTV₉ e UTV₁₀ não recebem REEE, segundo o modelo MC.

5.2. Modelo de Minimização da Distância

Os resultados obtidos através da implementação do modelo MD apresentam-se na Tabela XIII (Anexos C).

Relativamente ao custo de gestão associado ao modelo MD, é possível verificar, na Figura 5.8, que o modelo proposto resulta num aumento de cerca de 83 mil euros relativamente ao modelo actualmente adoptado (2009), equivalente a 1,7 % do custo de gestão.

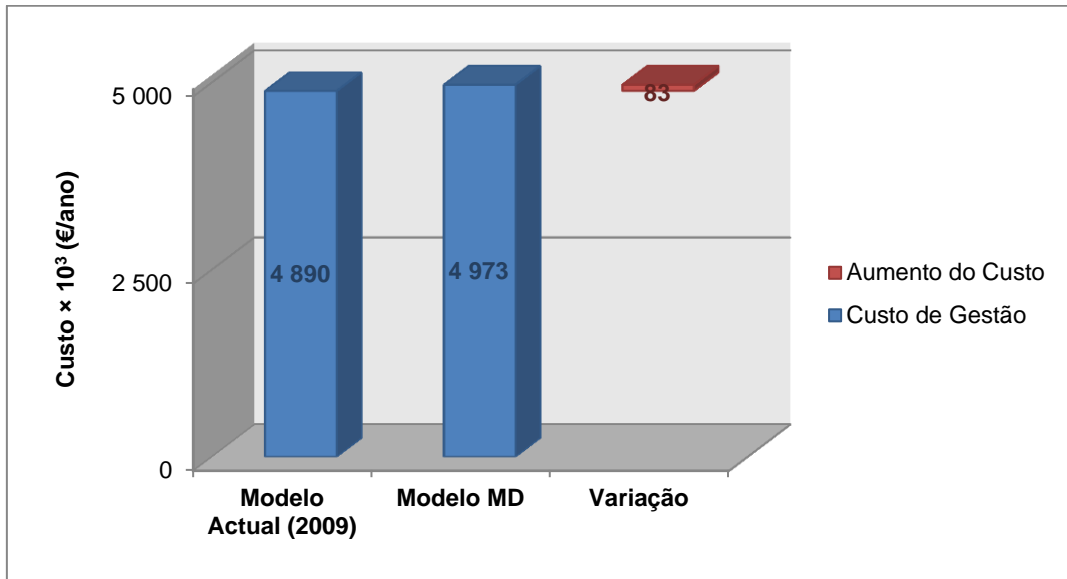


Figura 5.8: Custo de gestão do modelo actual (2009) e modelo MD.

A importância relativa dos custos parciais (permanência dos contentores nos CR, transporte entre os CR e as UTV e tratamento nas UTV) associados ao modelo MD é apresentada na Figura 5.9.

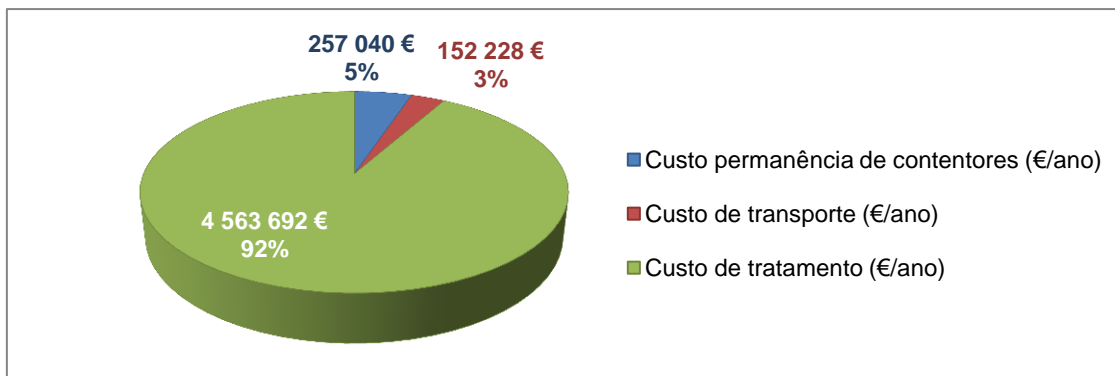


Figura 5.9: Custos parciais de gestão para o modelo MD.

A análise da Figura 5.9 permite constatar que o custo de tratamento é o que apresenta uma maior importância relativa, representando 92% do custo de gestão associado ao modelo MD. O custo de transporte por sua vez, corresponde a 3% do custo de gestão. O custo de permanência dos contentores nos CR é de cerca de 257 mil euros, equivalendo a 5% do custo de gestão do modelo MD.

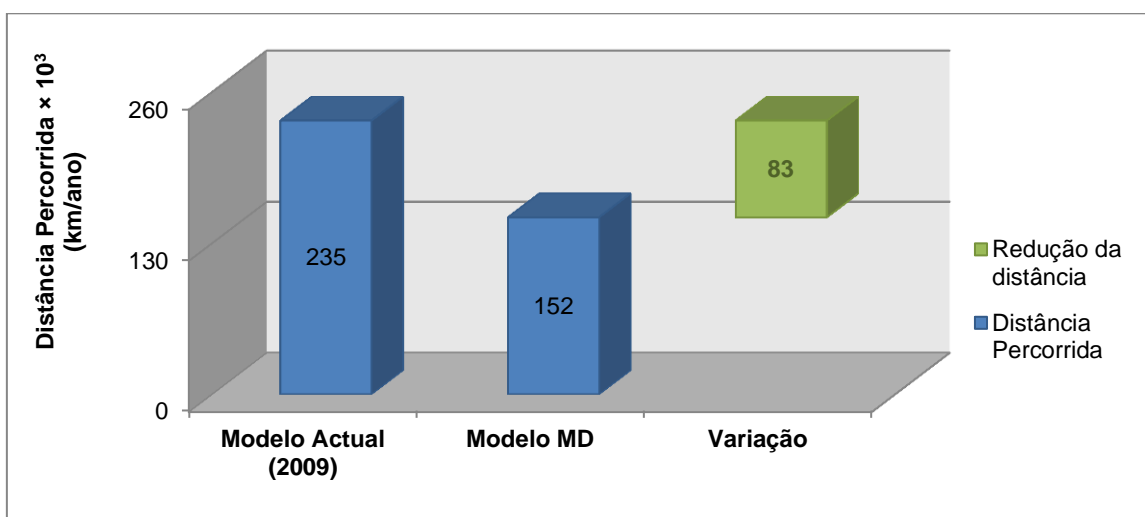
A variação dos custos parciais relativamente ao custo de gestão associado ao modelo actualmente adoptado (2009) é apresentada da Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Variação percentual dos custos parciais associados ao modelo MD relativamente ao custo de gestão do modelo actual (2009).

Custo	Contentor	Transporte	Tratamento	Gestão
Varição	(+) 1,8%	(-) 1,7%	(+) 1,6%	(+) 1,7%

Da análise da Tabela 5.3 conclui-se que o aumento do custo de gestão de 1,7% se deve a um aumento do custo de permanência dos contentores nos CR e do custo de tratamento, correspondentes cada um a 1,8% e 1,6% do custo de gestão do modelo actual e a uma redução do custo de transporte de 1,7%. Estes resultados devem-se ao facto de a minimização da distância originar uma redução no custo de transporte em detrimento dos outros custos parciais.

A distância total percorrida associada aos modelos actual (2009) e MD apresenta-se na Figura 5.10.

**Figura 5.10: Distância percorrida em 2009 segundo o modelo actual e o modelo MD.**

Pela análise da Figura 5.10 verifica-se que os resultados do modelo MD correspondem a uma redução de cerca de 83 mil quilómetros na distância média percorrida, equivalente a cerca de 35% da distância percorrida, em 2009, no transporte de REEE dos CR para as UTV. Segundo este modelo, a UTV de destino seleccionada corresponde à UTV mais próxima de cada CR, pelo que esta redução da distância percorrida corresponde ao esperado. No entanto, não se verifica a redução da distância percorrida para todos os CR.

Na Tabela XIV (Anexo C) é possível identificar 13 CR cuja distância média percorrida é superior à do modelo actual. Tal como no caso do modelo MC (p. 93), esta situação deve-se ao facto do número médio de transportes determinado pelo modelo MD ser superior ao número de

transportes realizados, efectivamente, em 2009. Esta diferença é originada pelo erro associado aos valores estimados da capacidade dos veículos, em peso, para os tipos de fluxo a transportar. Através da análise da Tabela XV (Anexo C), verifica-se que o aumento relativo da distância percorrida entre os CR e as UTV é tanto maior quanto menor é o número de transportes que lhe está associado. A diferença de 1 transporte entre o número real de transportes efectuado e o número de transportes calculado tem uma importância relativa tanto maior quanto menor for o número de transportes efectuado. Por exemplo, a diferença entre o número real de transportes e o calculado pelo modelo MD para os CR₁₄ e CR₁₅ é aproximadamente igual, respectivamente, 4,9 e 4,5 transportes. No entanto, o número real de transportes associado ao CR₁₅ é muito inferior (12 transportes) ao associado ao CR₁₄ (375 transportes), o que resulta numa variação da distância superior (24%) à variação determinada para o CR₁₄ (1%).

No que respeita à análise dos cenários adoptados nos CR, na Figura 5.11 é apresentada a frequência dos cenários adoptados em 2009 e seleccionados segundo o modelo MD.

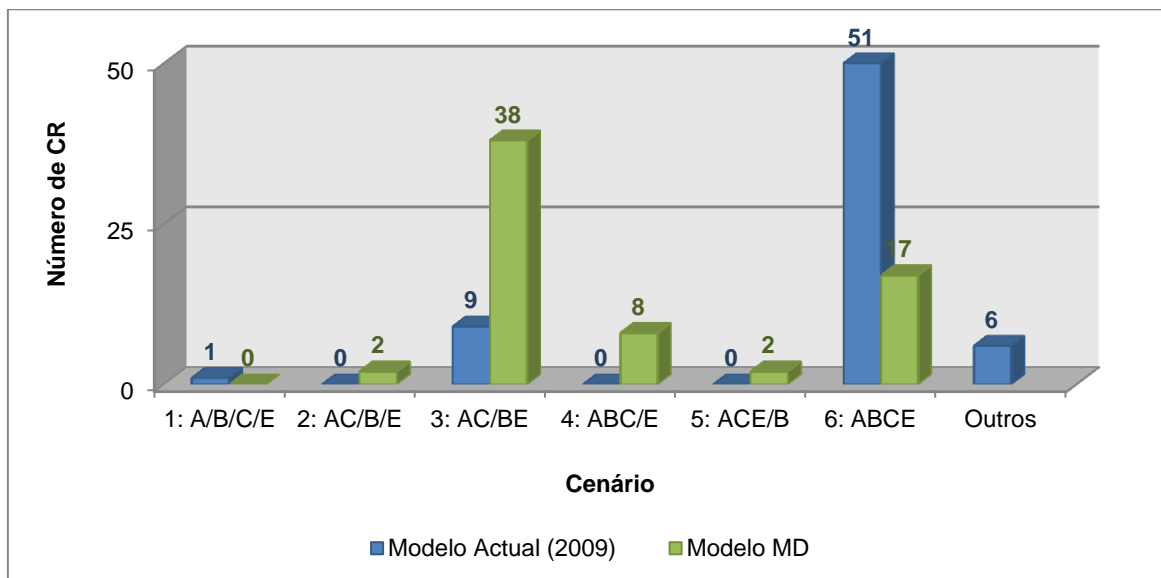


Figura 5.11: Frequência dos cenários adoptados nos CR em 2009 e segundo o modelo MD.

Da análise da Figura 5.11 constata-se que o cenário seleccionado com mais frequência (cerca de 57% das vezes) pelo modelo MD é o cenário 3 (AC/BE), enquanto em 2009 a maioria dos CR (cerca de 76%) considerou o cenário 6 (ABCE). O cenário 6 é seleccionado pelo modelo para 17 CR, correspondendo a uma importância relativa de 25%. O modelo MD não afecta o cenário 1, transporte monofluxo A/B/C/E, a qualquer CR.

O número de CR afectos às UTV, por tipo de fluxo, segundo o modelo actual e o modelo MD é apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Afecção dos CR às UTV, por tipo de fluxo, para o modelo actual e modelo MD.

UTV \ Fluxo	Número de CR afectos							
	Modelo Actual (2009)				Modelo MD			
	A	B	C	E	A	B	C	E
UTV ₁	5	-	6	7	3	-	3	6
UTV ₂	1	-	1	-	5	-	5	-
UTV ₃	1	-	1	-	8	-	10	-
UTV ₄	1	-	0	-	10	-	12	-
UTV ₅	17	29	24	29	2	28	4	26
UTV ₆	19	27	23	30	8	29	10	33
UTV ₇	1	-	1	-	6	-	6	-
UTV ₈	9	2	9	2	5	-	6	-
UTV ₉	1	-	1	-	2	-	2	-
UTV ₁₀	3	-	3	-	4	-	4	-

De notar que a análise detalhada do número de CR afectos às UTV, por tipo de fluxo, actualmente (2009) encontra-se na secção 3.3.2 do Capítulo 3 (Tabela 3.4). A análise da Tabela 5.4 permite identificar diferenças significativas nos dois modelos de gestão. Estas diferenças são mais notórias relativamente à afecção dos CR às UTV para os tipos de fluxo A e C. Analisando a afecção dos CR para estes tipos de fluxo (A e C) constata-se que, em 2009, as UTV₅ e UTV₆ correspondiam às UTV com maior número de CR afectos (UTV₅: 17 e 24 e UTV₆: 19 e 23, para os tipos de fluxo A e C, respectivamente) existindo uma diferença significativa relativamente às restantes UTV, que apresentam um número médio de 2,75 CR afectos para estes tipos de fluxo. Relativamente ao modelo MD, a diferença entre o número de CR afectos às UTV para estes tipos de fluxo é bastante menor. É possível verificar que, para o fluxo A e C, as UTV seleccionadas com maior frequência têm 10 CR (UTV₄) e 12 CR (UTV₄) afectos, respectivamente, e as seleccionadas com menor frequência, UTV₅ e UTV₉ relativamente ao tipo de fluxo A e UTV₉ em relação ao fluxo C, têm 2 CR afectos.

A Figura 5.12 apresenta a quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009 e quando é aplicado o modelo MD.

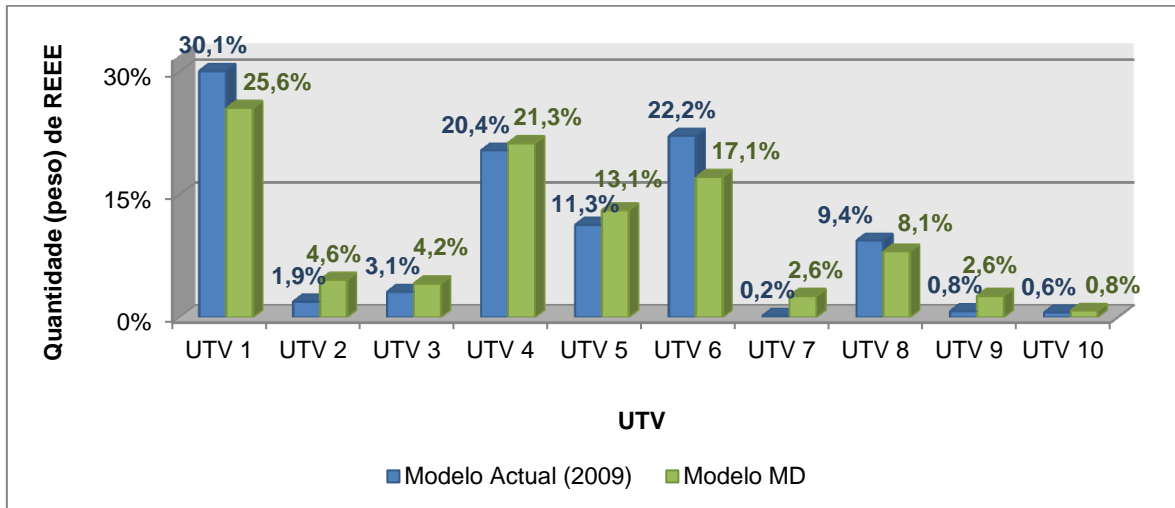


Figura 5.12: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV em 2009 e definida pelo modelo MD.

Da análise da Figura 5.12 é possível constatar que, tanto para o modelo actual (2009) como para o modelo MD, as UTV que recebem mais quantidade de REEE são a UTV₁, UTV₄ e UTV₆, correspondente a 30,1% e 25,6%, 20,4% e 21,3% e 22,2% e 17,1% respectivamente. No entanto, segundo o modelo MD, a UTV₁ e UTV₆ registaram uma diminuição da quantidade de REEE recebida comparativamente com a quantidade recebida em 2009. A UTV₂, UTV₃, UTV₇, UTV₉ e UTV₁₀, por aplicação do modelo MD, recebem quantidades de REEE superiores ao registado em 2009.

5.3. Análise Comparativa

Com o intuito de realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos considerando os modelos MC e MD, apresenta-se na Tabela 5.5 a variação percentual do custo de gestão ($\Delta C_{Gestão}$) e da distância percorrida (ΔD), relativamente ao modelo actual.

Tabela 5.5: Variação percentual do custo de gestão e da distância percorrida relativamente ao modelo actual.

Modelo	$\Delta C_{Gestão}$	ΔD
MC	(-) 7,5%	(+) 8,9%
MD	(+) 1,7%	(-) 35,3%

Na Tabela 5.5 verifica-se que o modelo MC conduz a uma redução de cerca 7,5% no custo de gestão e a um aumento de aproximadamente 9% na distância média percorrida em relação à situação do SIGREEE em 2009. Relativamente ao modelo MD, verifica-se que este resulta num

aumento de 1,7% no custo de gestão e numa redução de cerca de 35% da distância percorrida relativamente ao modelo actual. Esta situação deve-se ao facto do custo de tratamento representar cerca de 92% do custo de gestão, enquanto o custo de transporte corresponde a cerca de 3% (Figura 5.9). Apesar do custo de transporte depender da distância percorrida, a redução da distância em 35% traduz-se num aumento de 1,7% no custo de gestão.

A análise da Figura 5.13, onde se apresenta a frequência dos cenários seleccionados pelos modelos MC e MD permite concluir que existem diferenças significativas entre os modelos.

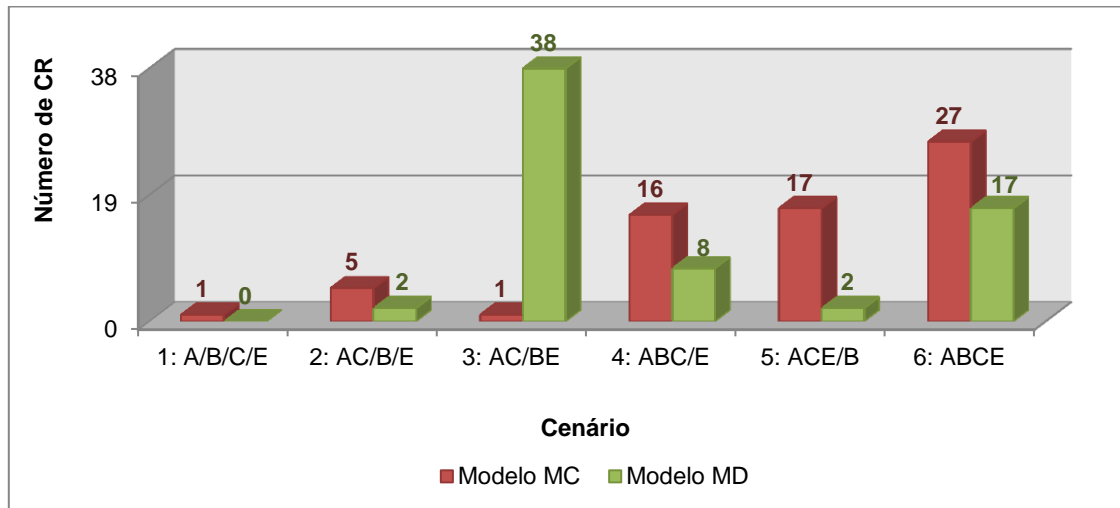


Figura 5.13: Frequência dos cenários seleccionados pelos modelos MC e MD.

Segundo o modelo MC todos os cenários são seleccionados. Os cenários seleccionados com maior frequência são os cenários 4, 5 e 6 (ABC/E, ACE/B e ABCE), que apresentam, respectivamente, uma importância relativa de 24%, 25% e 40% dos CR integrados no SIGREEE. Os cenários 1 e 3, transporte monofluxo A/B/C/E e misto AC/BE, foram seleccionados apenas para 1 CR.

Relativamente ao modelo MD, verifica-se uma maior desigualdade na frequência da selecção dos cenários relativamente ao modelo MC, uma vez que, segundo o modelo MD o cenário seleccionado com maior frequência é o cenário 3 (AC/BE), seleccionado para 57% dos CR. No entanto, o modelo não afecta o cenário 1, transporte monofluxo A/B/C/E, a qualquer CR.

Da análise dos cenários seleccionados pelos dois modelos propostos (MC e MD) verifica-se que, para 11 CR (Tabela XVI, Anexo C) o cenário e as UTV de destino seleccionados coincidem. De notar que, apesar dos resultados relativos ao número de contentores a permanecer no CR, ao cenário de transporte a adoptar e às UTV de destino serem iguais pelos dois modelos para os 11 CR, destes, 7 apresentam valores distintos para o custo de gestão. Da análise da Tabela XVI (Anexo C) verifica-se que estes CR:

- i. Envia pelo menos um tipo/agregação de fluxo para a UTV₆ e
- ii. O custo de tratamento é a única parcela do custo de gestão que difere nos dois critérios de gestão.

Este facto deve-se à diferença no custo de tratamento unitário dos REEE por tonelada nos dois modelos. Como verificado anteriormente (Tabela 4.11 e Tabela 4.15, Capítulo 4), os custos de tratamento dos fluxos C e E na UTV₆ são diferentes nos dois modelos. Desta forma, apesar da solução encontrada pelos modelos para estes 7 CR ser semelhante, o custo de tratamento e, conseqüentemente, o de gestão difere nos dois casos.

Dos 67 CR considerados na implementação dos modelos, 10 são também UTV responsáveis pelo tratamento e valorização dos REEE. Da análise da Tabela XVII (Anexo C) conclui-se que, segundo o modelo MD, nestes 10 centros (CR/UTV) é realizado o tratamento dos fluxos para os quais possuem licença de tratamento, sendo os restantes fluxos enviados para a UTV mais próxima, que possui a respectiva licença de tratamento.

Pelo modelo MC os resultados obtidos são distintos para a maioria dos referidos 10 CR (com excepção do CR₁/UTV₁, CR₂₅/UTV₄ e CR₄₄/UTV₇) uma vez que o modelo privilegia a minimização do custo de tratamento. As UTV seleccionadas correspondem às que têm associado um menor custo de tratamento. Por exemplo, observa-se que, o CR₄₃, apesar da UTV₆ ter licença para tratar todos os tipos de fluxo, envia fluxo E para a UTV₁, uma vez que esta tem um menor custo de tratamento unitário (Tabela 3.2 no Capítulo 3).

A situação das UTV em termos de CR afectos e da quantidade de REEE recebida também difere para os dois modelos implementados, Tabela 5.6.

Segundo o modelo MC a UTV₁, UTV₅ e UTV₆ são as UTV que têm mais CR afectos. No que respeita o modelo MD, a afectação resultante é mais equilibrada entre as UTV. Todas as UTV recebem REEE de mais do que um CR, por tipo de fluxo. Este facto deve-se à distribuição geográfica dos CR e das UTV e era expectável uma vez que o modelo selecciona a UTV mais próxima, e tanto os CR como as UTV estão dispersos geograficamente, de um modo homogéneo, pelo território continental português.

Tabela 5.6: Afecção dos CR às UTV, por tipo de fluxo, por modelo proposto.

UTV \ Fluxo	Número de CR afectos							
	Modelo MC				Modelo MD			
	A	B	C	E	A	B	C	E
UTV ₁	17	-	21	44	3	-	3	6
UTV ₂	4	-	4	-	5	-	5	-
UTV ₃	0	-	0	-	8	-	10	-
UTV ₄	1	-	0	-	10	-	12	-
UTV ₅	1	22	2	3	2	28	4	26
UTV ₆	26	35	31	18	8	29	10	33
UTV ₇	4	-	4	-	6	-	6	-
UTV ₈	1	-	0	-	5	-	6	-
UTV ₉	0	-	0	-	2	-	2	-
UTV ₁₀	0	-	0	-	4	-	4	-

Também se verificam diferenças entre os modelos propostos no que respeita à quantidade de REEE enviada para as UTV. A Figura 5.14 apresenta a distribuição da quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV, quando são utilizados o modelo MC e modelo MD.

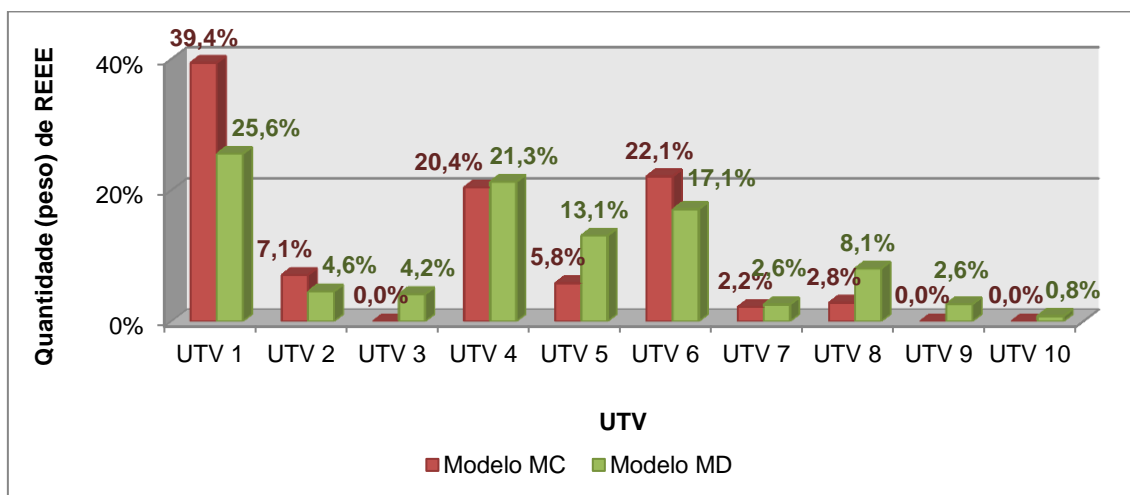


Figura 5.14: Quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV por modelo.

A análise da quantidade (peso total) de REEE enviada para as UTV (Figura 5.14) é concordante com a análise, realizada anteriormente, à afecção dos CR às UTV. O modelo MC afecta os CR às UTV de tal modo que a quantidade total de REEE enviada para as UTV é

bastante variável, entre 39,4% e 0,0%. De acordo com o modelo MD, a quantidade de REEE distribuída pelas UTV é menos variável, variando entre 25,6% e 0,8% da quantidade total de REEE. No entanto, independentemente do modelo, MC ou MD, a UTV₁, UTV₄ e UTV₆ são as UTV que recebem maiores quantidades de REEE, 39,4% e 25,6%, 20,4% e 21,3%, 22,1% e 17,1% da quantidade total enviada para as UTV, respectivamente.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1. Considerações Finais

Dada a crescente preocupação ambiental e as conseqüentes obrigações legais de gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE), foram licenciadas entidades gestoras cuja função é gerir um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (SIGREEE). A gestão do SIGREEE consiste, entre outras realidades, na gestão do percurso de REEE desde a sua recolha, nos consumidores, até ao seu tratamento e valorização.

Através da análise bibliográfica realizada concluiu-se que cada vez mais países adoptam leis específicas de gestão de REEE e, conseqüentemente, implementam sistemas de gestão deste tipo de resíduos. A implementação destes sistemas requer uma gestão logística dos resíduos, desde a sua recolha até ao seu destino final. No entanto, através da análise bibliográfica realizada, concluiu-se que existe uma escassez de trabalhos de investigação desenvolvidos no âmbito da gestão logística de REEE. Este facto deve-se à actualidade do tema, uma vez que se verificou um aumento gradual do número de artigos publicados em revistas da especialidade a partir de 2005.

Foi desenvolvida uma *framework* para análise dos artigos recolhidos, na fase de pesquisa bibliográfica, relativos à gestão logística de REEE que tem por base a identificação do tipo de artigo, o âmbito do trabalho desenvolvido, as actividades logísticas em foco, o modelo desenvolvido e/ou aplicado e os critérios de gestão considerados na tomada de decisão.

A maioria dos artigos analisados:

- i. Corresponde a casos de estudo ou apresenta uma aplicação prática do trabalho desenvolvido;
- ii. Considera REEE no geral não especificando tipos específicos de REEE;
- iii. Refere-se a logística inversa, não particularizando a tipologia da rede logística (circuito aberto/fechado);
- iv. Não foram encontradas diferenças consideráveis no número de artigos direccionados a determinada região ou país.

No que respeita à análise das actividades logísticas em foco, concluiu-se que a configuração da rede logística e a previsão da quantidade de REEE produzida são as actividades mais consideradas nos artigos analisados.

A maioria dos artigos apresenta modelos matemáticos. No caso particular da gestão de transporte de REEE, a maioria dos modelos propostos corresponde a modelos de programação linear mista.

No que respeita ao critério utilizado na tomada de decisão, verifica-se que a maioria dos autores considera critérios económicos, ainda que alguns incluam também critérios ambientais.

Posteriormente, realizou-se uma análise do caso em estudo, relativo a uma entidade gestora de SIGREEE portuguesa. O SIGREEE gerido por esta entidade gestora é constituído por:

- i. Locais de recolha de REEE,
- ii. Centros de Recepção (CR), e
- iii. Unidades de Tratamento e Valorização (UTV).

O estudo realizado foca-se na gestão de REEE entre 67 CR e 10 UTV, localizados em Portugal Continental.

Da análise realizada ao modelo de gestão de REEE entre os CR e as UTV praticado pela entidade gestora em análise, concluiu-se que não existe um critério de gestão bem definido e verificou-se existir a possibilidade de reduzir o custo de gestão e/ou a distância percorrida no transporte de REEE entre os CR e as UTV, melhorando o modelo actual de gestão. Desta forma, considerou-se pertinente desenvolver um modelo de apoio à gestão de REEE entre os CR e as UTV.

Assim, foram analisados numa fase preliminar 4 modelos. Os modelos foram analisados em termos de benefícios resultantes e possibilidade de implementação. Devido à complexidade do sistema em estudo, nomeadamente, a variabilidade da taxa de recepção dos REEE nos CR, restrições de tratamento de tipos de REEE em algumas UTV e respectiva localização, concluiu-se que alguns modelos não seriam possíveis de implementar (modelo de gestão conjunta de 2 CR e 1 UTV) ou seriam de complexa implementação (modelo de gestão conjunta de vários CR e 1 UTV).

Analisadas as vantagens e desvantagens de cada modelo, foram seleccionados para desenvolvimento e implementação, dois modelos de apoio à gestão mono/multifluxo de REEE:

- i. Modelo de Minimização do Custo (modelo MC) de gestão e
- ii. Modelo de Minimização da Distância (modelo MD) percorrida.

Os modelos considerados (modelo MC e modelo MD) têm por base o mesmo modelo conceptual, diferindo na função objectivo. Pretendeu-se, então, estudar dois critérios de gestão, um critério económico cujo objectivo corresponde à minimização do custo (modelo MC) e um critério ambiental associado à minimização da distância (modelo MD) percorrida e, consequentemente, à minimização das emissões de CO₂ e consumo de energia.

Foram identificados 6 cenários de transporte de combinações de tipos de fluxo de REEE. Cada combinação de tipos de fluxo é armazenada e transportada em contentores e, posteriormente, tratada na mesma UTV. Os modelos desenvolvidos seleccionam o cenário a adoptar e as UTV de destino para cada combinação de tipos de fluxo definida, de acordo com o objectivo de cada modelo. Ao seleccionar o cenário a adoptar, os modelos também definem o número de contentores que é necessário manter em cada CR.

Os modelos foram desenvolvidos com base em *Macros* em *Excel*, de forma a obter os seguintes *outputs* definidos:

- i. Combinações de tipos de fluxo de REEE a armazenar e transportar, por CR;
- ii. Número de contentores necessários para armazenar os REEE no CR, por CR;
- iii. UTV de destino de cada combinação de tipos de fluxo de REEE, por CR, e respectivos custos e distâncias.

Após a implementação, verificação e validação dos modelos foi, então, possível obter os respectivos resultados. Os resultados obtidos pelos dois modelos implementados (modelo MC e modelo MD) foram analisados comparativamente com os valores obtidos pelo modelo de gestão actualmente praticado pela entidade gestora em estudo.

Concluiu-se que, relativamente ao modelo actual, o modelo MC resulta numa diminuição de cerca de 7% do custo de gestão, que engloba o custo de aluguer dos contentores nos CR, de transporte entre os CR e as UTV e de tratamento nas UTV, enquanto o modelo MD conduz a um aumento de cerca de 2% do custo de gestão.

Relativamente à distância percorrida no transporte dos REEE entre os CR e as UTV, concluiu-se que o modelo MC resulta num aumento da distância de cerca de 9%, relativamente ao modelo de gestão actual, enquanto o modelo MD apresenta uma redução de aproximadamente 35% da distância percorrida. Esta redução conduz a um aumento de 2% no custo de gestão anual, devido ao facto do custo de tratamento representar uma parcela bastante significativa (modelo MC: 89%; modelo MD: 92%) do custo de gestão, e o custo de transporte corresponder a uma parcela reduzida (modelo MC: 5%; modelo MD: 3%) para os dois modelos implementados. A importância de cada uma das parcelas dos custos explica o facto do modelo MC seleccionar UTV mais distantes dos CR, quando estas apresentam um custo de tratamento inferior às restantes.

No que respeita ao cenário de transporte, concluiu-se que pelo modelo MC, transporte multifluxo ABCE (cenário 6), é o mais seleccionado, enquanto pelo modelo MD, o transporte misto AC e BE (cenário 3) é o seleccionado com mais frequência.

A selecção do modelo a adoptar depende da política de gestão da entidade gestora. Contudo, conclui-se que ambos os modelos apresentam resultados benéficos para a gestão de REEE, sendo um modelo mais eficiente (modelo MC) e outro mais amigo do ambiente (modelo MD).

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Algumas sugestões de desenvolvimentos futuros são apresentadas, na medida em que se considera que existem outros estudos que podem complementar o presentemente desenvolvido.

Um dos aspectos apresentados na conclusão deste estudo diz respeito ao custo de tratamento de REEE, uma vez que se verificou tratar-se da parcela mais significativa do custo de gestão. Assim, considera-se pertinente a análise do processo de tratamento de REEE, com o intuito de identificar melhorias que possam provocar uma diminuição de desperdícios e gastos energéticos e, conseqüentemente, tornar o processo mais eficiente e com menor impacto ambiental.

Relativamente ao caso de estudo abordado, não foram considerados no âmbito deste trabalho dois factores:

- i. Tipo de fluxo D (lâmpadas) e,
- ii. Selecção do Operador Logístico.

O tipo de fluxo D apresenta características muito diferentes dos restantes tipos de fluxo de REEE, pelo que se torna importante adoptar uma gestão logística distinta da adoptada para os tipos de fluxo analisados. Desta forma, considera-se interessante o estudo do modelo de gestão actualmente adoptado para este tipo de fluxo e, caso se demonstre ser necessário, o desenvolvimento de um modelo alternativo cuja implementação traga mais benefícios.

A selecção do operador logístico responsável pelo transporte dos REEE entre os CR e as UTV também não foi considerada nos modelos propostos pelo que seria interessante integrar este factor num modelo de gestão a desenvolver, considerando vários critérios de gestão.

BIBLIOGRAFIA

Abu Bakar, M.S., Rahimifard, S. (2008). An integrated framework for planning of recycling activities in electrical and electronic sector. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21 (6), 617-630.

Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch., Moussiopoulos, N., Baniyas, G. (2010). Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: a case study in Greece. *Waste Management*, 30, 870-879.

Albright, S.C. (2007). VBA for Modelers: Developing Decision Support Systems with Microsoft® Excel. Second Edition, Thomson Brooks/Cole, Duxbury. ISBN 0-495-10683-6.

Alfalla-Luque, R., Medina-López, C. (2009). Supply chain management: unheard of in the 1970s, core to today's company. *Business History*, 51 (2), 202-221.

Amb3E. (2010). História. Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos. Disponível em: http://www.amb3e.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=5&name=Historia (Acedido a 4 de Agosto de 2010).

ANREEE. (2008a). Home. Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos. Disponível em: <http://www.anreee.pt/home> (Acedido a 23 Julho de 2010).

ANREEE. (2008b). O que são ecovalores ou ecoREEE? Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos. Disponível em: <http://www.anreee.pt/index.php?content=55> (Acedido a 23 de Julho de 2010).

Arshinder, Kanda, A., Deshmukh, S.G. (2008). Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. *International Journal of Production Economics*, 115, 316-335.

Ayers, J. B. (2001). Handbook of Supply Chain Management. CRC Press LLC, New York. ISBN:1-57444-273-2

Barroso, A.P., Machado, V.H. (2005). A gestão logística dos resíduos em Portugal. *Investigação Operacional*, 25, 1-16.

Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper M. B. (2007). *Supply Chain Logistics Management*. Second Edition, McGraw-Hill, New York. ISBN 007-125414-5

Carter, C., Ellram, L. (1998). Reverse logistics: a review of literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19 (1), 85-102.

Carvalho, M. (2008). *Avaliação da situação nacional em matéria de gestão de REEE*. Dissertação de Mestrado, FCT/UNL, Lisboa.

Chan, F. T. S., Chan, H. K. (2008). A survey on reverse logistics system of mobile phone industry in Hong Kong. *Management Decision*, 46 (5), 702-708.

Chang, X., Huo, J., Chen, S. (2006). Study on integrated logistics network model and network design for waste electrical and electronic equipment. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Shanghai, 654-658.

Chopra, S., Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management - Strategy, Planning and Operations*. Second Edition, Pearson International Editions, New Jersey.

Christopher, M. (2005). *Logistics and supply chain management: creating value-added networks*. Third Edition, Pearson Education Limited, London. ISBN-10: 0-273-68176-1

CSCMP. (2010). *Glossary of Terms*. Council of Supply Chain Management Professionals. Disponível em: <http://cscmp.org/digital/glossary/document.pdf> (Acedido a 23 de Julho de 2010)

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

de Brito M. P., Dekker, R. (2004). A framework for reverse logistics. *Reverse Logistics Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains (cap.1)*. Springer, 3-27. ISBN 3-540-4069-4.

Decreto-Lei nº. 20/2002, de 30 de Janeiro, estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE). *Diário da República*, I Série – A, 25, 832-836.

Decreto-Lei n.º 174/2005, de 25 de Outubro, altera o Decreto-Lei n.º 230/2004, de 10 de Dezembro, que estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE). Diário da República, I Série – A, 205, 6188.

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 – A, 288, 7050-7062.

Despacho conjunto n.º 1262/2010 do Gabinete do Secretário de Estado do Ambiente, de 19 de Janeiro, estabelece a licença para gerir um sistema integrado de gestão de resíduos de pilhas e acumuladores. Diário da República, II Série, 12, 2529-2533.

Despacho conjunto n.º 354/2006 do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e do Ministério da Economia e da Inovação, de 27 de Abril, estabelece a licença de licenciamento de uma entidade gestora de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE). Diário da República, II Série, 82, 6142-6148.

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, 24-38.

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, 106-107.

Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30 (3), 143-154.

Dwivedy, M., Mittal, R.K. (2010). Estimation of future outflows of e-waste in India. *Waste Management*, 30, 483-491.

ERP Portugal. (2010). Quem Somos. European Recycling Platform – Portugal. Disponível em: <http://www.erp-portugal.pt/categorias> (Acedido a 23 de Julho de 2010).

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Laan, E., Nunen, J., Wassenhove L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal of Operational Research*, 103, 1-17.

Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *OMEGA, The International Journal of Management Science*, 28 (6), 653-666.

Gamberini, R., Gebennini, E., Manzini, R., Ziveri, A. (2010). On the integration of planning and environmental impact assessment for a WEEE transportation network – A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, doi:10.1016/j.resconrec.2010.02.001.

Gamberini, R., Gebennini, E., Rimini B. (2009). An innovative container for WEEE collection and transport: Details and effects following the adoption. *Waste Management*, 29, 2846-2858.

Gamberini, R., Gebennini, E., Rimini, B. (2009). An innovative container for WEEE collection and transport: Details and effects following the adoption. *Waste Management*, 29, 2846-2858.

Georgiadis, P., Besiou, M. (2008). Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: a System Dynamics approach. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1665-1678.

Georgiadis, P., Besiou, M. (2010). Environmental and economical sustainability of WEEE closed-loop supply chains with recycling: a system dynamics analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 475-493.

Geyer, R., Blass, V.D. (2010). The economics of cell phone reuse and recycling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 515-525.

Grunow M., Gobbi C. (2009). Designing the reverse network for WEEE in Denmark. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 58, 391-394.

Hanafi, J., Kara, S., Kaebernick, H. (2008). Reverse Logistics strategies for end-of-life products. *The International Journal of Logistics Management*, 19 (3), 367-388.

He, K., Li, L., Ding, W. (2008). Research on recovery logistics network of waste electronic and electrical equipment in China. *3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Singapore, 1797-1802.

Herat, S. (2007). Sustainable Management of Electronic Waste (e-Waste). *Clean*, 35 (4), 305-310.

Hui, M., Xueqing, W., Peng, C., Lin, J. (2009). Establishing the Recycled Supply Chain Network of Waste Electrical and Electronic Equipment. *International Conference on Management and Service Science (MASS)*, Wuhan, 1-4.

Jain, A., Sareen, R. (2006). E-waste assessment methodology and validation in India. *Journal of Material Cycles & Waste Management*, 8, 40-45.

Janse, B., Schuur, P., De Brito, M.P. (2010). A reverse logistics diagnostic tool: the case of the consumer electronics industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 495-513.

Kahhat, R., Kim, J., Xu, M., Allenby, B., Williams, E., Zhang, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 955-964.

Kang, H.-Y., Schoenung, J.M. (2006). Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computers systems in California. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 1165-1174.

Khetriwal, D. S., Kraeuchi, P., Widmer, R. (2009). Producer responsibility for e-waste management: key issues for consideration – learning from the Swiss experience. *Journal of Environmental Management*, 90, 153-165.

Kim, H., Yang, J., Lee, K.-D. (2009). Vehicle routing in reverse logistics for recycling end-of-life consumer electronic goods in South Korea. *Transportation Research Part D*, 14, 291-299.

Knemeyer, A.M., Ponzurick, T.G., Logar, C.M. (2002). A qualitative examination of factors affecting reverse logistics systems for end-of-life computers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32 (6), 455-479.

Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., Van Wassenhove, L.N. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International Journal of Production Research*, 41 (16), 3689-3719.

Kumar, P., Shrihari, S. (2007). Estimation and material flow analysis of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) – a case study of Mangalore City, Karnataka, India. *International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, Chennai, India, 148-154.

Lambert, D.M., Stock, J.R., Ellram, L.M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Irwin MacGraw-Hill. ISBN 0-07-115752-2.

Lau, K.H., Wang, Y. (2009). Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14 (6), 447-465.

Lehtinen, U., Poikela, K. (2006). Challenges of WEEE on reverse logistics: a case study on a collection network in Finland. *Logistics Research Network Annual Conference*, The Chartered Institute of Logistics and Transport (UK), Newcastle.

Leigh, N.G., Realff, M.J., Ai, N., French, S.P., Ross, C.L., Bras, B. (2007). Modeling obsolete computer stock under regional data constraints: an Atlanta case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 51, 847-869.

Loureiro, H. (2007). *Excel 2007 Macros & VBA – Curso Completo*. Segunda edição, FCA – Editora de Informática. ISBN 978-972-722-609-2.

Machado, V. H., Barroso, A. P., Barros, A. R., Cruz Machado, V. (2010). Waste electrical and electronic equipment management. A case study. *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 7-10 Dezembro, Macau.

McKerlie, K., Knight, N., Thorpe B. (2006). Advancing Extended Producer Responsibility in Canada. *Journal of Cleaner Production*, 14, 616-628.

Mester, D., Bräysy, O., Dullaert, W. (2007). A multi-parametric evolution strategies algorithm for vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*, 32, 508-517.

Nagurney, A., Toyasaki, F. (2005). Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling. *Transportation Research Part E*, 41, 1-28.

Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalaksmi, R., Parthiban, P. (2009). Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 1 (3), 129-135.

Neto, J.Q.F., Walthe, G., Bloemhof, J., van Nunen, J.A.E.E., Spengler, T. (2010). From closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case. *International Journal of Production Research*, 48 (15), 4463-4481.

Nnorom, I.C., Osibanjo, O. (2008). Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries. *Resources Conservation and Recycling*, 52, 843-858.

OCDE. (2001). Extended Producer Responsibility: a guidance manual for governments. OCDE, Paris.

Peralta, G.L., Fontanos, P.M. (2006). E-waste issues and measures in the Philippines. *Journal of Material Cycles & Waste Management*, 8, 34-39.

Queiruga, D., Walther, G., González-Benito, J., Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Management*, 28, 181-190.

Ravi, V., Shankar, R., Tiwari, M.K. (2005). Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Computers & Industrial Engineering*, 48, 327-356.

RLEC. Glossary: What is Reverse Logistics? Reverse Logistics Executive Council. Disponível em: <http://www.rlec.org/glossary.html> (Acedido a 17 de Setembro de 2010)

Rønningen, B. (2005). Competitors together in PRO (Producers Responsibility Organisation) – a case study of the PRO-system in Norway. *International Symposium on Electronics and Environment*, 45-48. ISBN: 0-7803-8910-7

SAEFL. (1998). Ordinance on the return, take-back and disposal of electrical and electronic appliances of 14 January. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape. Disponível em: http://www.basel.int/industry/mppi2/MPPI2_1_Res_ordea_e.pdf (Acedido a 23 de Julho de 2010).

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077.

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2008a). Design of a recovery network in Portugal: the electric and electronic equipment case. *IEEE International Engineering Management Conference*, Estoril.

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2008b). Analysis and retrofit of the EEE Portuguese recovery network. *POMS 19th Annual Conference*, California.

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2010). Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: a generic modelling framework. *European Journal of Operational Research*, 203, 336-349.

Shih, L.-H. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 55-72.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (2004). *Managing the supply chain: the definitive guide for the business*. McGraw-Hill, New York. ISBN: 0-07-141031-7.

Sinha- Khetriwal, D., Kraeuchi, P., Schwaninger, M. (2005). A comparison of electronic waste in Switzerland and in India. *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 492-504.

Sinha, D. (2004). *The management of electric waste: a comparative study on India and Switzerland*. Master Thesis, University of St. Gallen, St. Gallen.

Steubing, B., Böni, H., Schluep, M., Silva, U., Ludwig, C. (2010). Assessing computer waste generation in Chile using material flow analysis. *Waste Management*, 30, 473-482.

Tsai, W.-H., Hung, S.-J. (2009). Treatment and recycling system optimization with activity-based costing in WEEE reverse logistics management: an environmental supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 47 (19), 5391-5420.

Turner, M., Callaghan, D. (2007). UK to finally implement the WEEE Directive. *Computer Law and Security Report*, 23, 73-76.

Veenstra, A., Wang, C., Fan, W., Ru, Y. (2010). An analysis of E-waste flows in China. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47 (5-8), 449-459.

ViaMichelin. Disponível em: <http://www.viamichelin.pt> (Acedido entre Janeiro e Setembro de 2010).

Walther, G., Spengler, T., Impact of WEEE-directive on reverse logistics in Germany. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35 (5), 337-361.

Yoshida, A., Tasaki, T., Terazono, A. (2009). Material flow analysis of used personal computers in Japan. *Waste Management*, 29, 1602-1614.

ANEXOS

ÍNDICE DE MATÉRIAS

Anexo A	127
Anexo B	132
Anexo C	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I: Taxa mensal de recepção de alguns CR (ilustrativo e não exaustivo) em 2009.	133
Figura II: Histograma da quantidade de fluxo A à saída do CR ₂ por transporte monofluxo.	138
Figura III: Histograma da quantidade de fluxo A à saída do CR ₁₄ por transporte monofluxo...	138
Figura IV: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR ₆ por transporte monofluxo....	139
Figura V: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR ₁₂ por transporte monofluxo. ..	139
Figura VI: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR ₁₃ por transporte monofluxo. .	139
Figura VII: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR ₁₄ por transporte monofluxo.	140
Figura VIII: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR ₆₃ por transporte monofluxo.	140
Figura IX: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR ₆₈ por transporte monofluxo. .	140
Figura X: Histograma da quantidade de fluxo C à saída do CR ₂ , em transporte monofluxo....	141
Figura XI: Histograma da quantidade de fluxo C à saída do CR ₁₂ , em transporte monofluxo.	142
Figura XII: Histograma da quantidade de fluxo C à saída do CR ₁₄ , em transporte monofluxo.	142
Figura XIII: Resposta do IMTT à dúvida sobre transporte de REEE de fluxo B e E.....	143

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I: Análise Bibliográfica (parte I).	127
Tabela II: Análise Bibliográfica (parte II).	129
Tabela III: Coeficiente de Variação da taxa de recepção mensal.....	132
Tabela IV: Quantidade de REEE (peso) recebida nos CR em 2009, por tipo de fluxo.	134
Tabela V: Matriz de distâncias (km) entre CR e UTV.	136
Tabela VI: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo A.....	138
Tabela VII: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo B.....	141
Tabela VIII: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo C.	142
Tabela IX: Dados relativos ao modelo de gestão actual, correspondente ao ano 2009.	153
Tabela X: Resultados do modelo MC.	157
Tabela XI: CR com custo de gestão superior ao do modelo actual, segundo o modelo MC. ..	161
Tabela XII: Análise comparativa entre os resultados do modelo actual e do modelo MC para os CR com resultados imprevistos.....	162
Tabela XIII: Resultados do modelo MD.	164
Tabela XIV: CR com distância percorrida superior à do modelo actual, segundo o modelo MD.	168
Tabela XV: Análise comparativa entre os resultados do modelo actual e do modelo MD para os CR com resultados imprevistos.....	169
Tabela XVI: Análise dos CR cujos resultados dos modelos coincidem.....	171
Tabela XVII: Análise aos CR que correspondem a UTV.	172

Anexo A

Tabela I: Análise Bibliográfica (parte I).

No	Referência	Tipo de artigo		Âmbito						
		Conceptual	Caso de Estudo	Tipo de REEE		Rede Logística				Geográfico
				REEE	Específico	Parte da rede	Circuito aberto	Circuito fechado	Logística Inversa	
1	Shih, 2001		✓		Electrodomésticos e computadores		✓			Taiwan, China
2	Knemeyer <i>et al.</i> , 2002		✓		Computadores				✓	
3	Krikke <i>et al.</i> , 2003		✓		Frigoríficos			✓		Europa
4	Barroso e Machado, 2005	✓		✓					✓	Portugal
5	Nagurney e Toyasaki, 2005	✓		✓					✓	
6	Ravi <i>et al.</i> , 2005		✓		Computadores				✓	
7	Walther e Spengler, 2005	✓		✓					✓	Alemanha
8	Chang <i>et al.</i> , 2006		✓	✓					✓	China
9	Jain e Sareen, 2006		✓		PCs e TVs					Estado de Delhi, Índia
10	Kang e Schoenung, 2006		✓		CPUs, Monitores CRT e LCDs					Estado da Califórnia, EUA
11	Lehtinen e Poikela, 2006		✓	✓					✓	Região de Oulu (Norte de Finlândia)
12	Peralta e Fontanos, 2006	✓			TV, frigoríficos, ar condicionado, máquinas de lavar e rádios					Filipinas
13	Kumar e Shrihari, 2007	✓			PCs, TVs, frigoríficos, telemóveis e máquinas de lavar					Cidade Manalore, Índia
14	Leigh <i>et al.</i> , 2007		✓		Computadores					Área metropolitana de Atlanta, EUA
15	Chan e Chan, 2008		✓		Telemóveis				✓	Hong Kong, China
16	Georgiadis e Besiou, 2008	✓		✓				✓		Grécia
17	Hanafi <i>et al.</i> , 2008	✓			Telemóveis				✓	Austrália

No	Referência	Tipo de artigo		Âmbito						Geográfico
				Tipo de REEE		Rede Logística				
		Conceptual	Caso de Estudo	REEE	Específico	Parte da rede	Circuito aberto	Circuito fechado	Logística Inversa	
18	He <i>et al.</i> , 2008	✓		✓			✓			China
19	Queiruga <i>et al.</i> , 2008		✓	✓						Espanha
20	Salema <i>et al.</i> , 2008	✓		✓				✓		Portugal
21	Salema <i>et al.</i> , 2008		✓	✓				✓		Portugal
22	Gamberini <i>et al.</i> , 2009		✓		Monitores CRT e frigoríficos	✓				Norte de Itália
23	Grunow e Gobbi, 2009		✓	✓			✓			Dinamarca
24	Hui <i>et al.</i> , 2009		✓	✓				✓		China
25	Kim <i>et al.</i> , 2009		✓	✓		✓				Coreia do Sul
26	Lau e Wang, 2009		✓	✓					✓	China
27	Tsai e Hung, 2009		✓	✓			✓			
28	Yoshida <i>et al.</i> , 2009		✓		PCs					Japão
29	Achillas <i>et al.</i> , 2010	✓		✓						Grécia
30	Dwivedy and Mittal, 2010		✓		Monitores CRT de TVs e PCs					Índia
31	Gamberini <i>et al.</i> , 2010		✓	✓		✓				Distrito Reggio Emilia (Norte de Itália)
32	Georgiadis e Besiou, 2010		✓	✓				✓		Grécia
33	Geyer e Blass, 2010		✓		Telemóveis			✓		EUA e Reino Unido
34	Janse <i>et al.</i> , 2010		✓	✓					✓	
35	Machado <i>et al.</i> , 2010		✓	✓		✓				Portugal
36	Neto <i>et al.</i> , 2010		✓	✓				✓		
37	Steubing <i>et al.</i> , 2010	✓			Computadores, Monitores CRT e LCDs					Chile

No	Referência	Tipo de artigo		Âmbito						
				Tipo de REEE		Rede Logística				Geográfico
		Conceptual	Caso de Estudo	REEE	Específico	Parte da rede	Circuito aberto	Circuito fechado	Logística Inversa	
Total		12	25	21	16	4	4	8	11	

Tabela II: Análise Bibliográfica (parte II).

No	Referência	Área Logística					Modelo				Critério		
		Gestão da Procura	Gestão de Stocks	Gestão do Transporte	Armazenagem	Configuração da Rede Logística	Conceptual	Matemático	Simulação	Outro	Económico	Ambiental	Outro
1	Shih, 2001			✓		✓		✓			✓		
2	Knemeyer <i>et al.</i> , 2002					✓	✓						
3	Krikke <i>et al.</i> , 2003					✓		✓			✓	✓	
4	Barroso e Machado, 2005					✓	✓						
5	Nagurney e Toyasaki, 2005			✓				✓					
6	Ravi <i>et al.</i> , 2005									✓			
7	Walther e Spengler, 2005			✓		✓		✓			✓		
8	Chang <i>et al.</i> , 2006					✓		✓			✓		
9	Jain e Sareen, 2006	✓						✓					
10	Kang e Schoenung, 2006	✓						✓					
11	Lehtinen e Poikela, 2006					✓	✓						

No	Referência	Área Logística					Modelo				Critério		
		Gestão da Procura	Gestão de Stocks	Gestão do Transporte	Armazenagem	Configuração da Rede Logística	Conceptual	Matemático	Simulação	Outro	Económico	Ambiental	Outro
12	Peralta e Fontanos, 2006	✓						✓					
13	Kumar e Shrihari, 2007	✓						✓					
14	Leigh <i>et al.</i> , 2007	✓					✓						
15	Chan e Chan, 2008					✓							
16	Georgiadis e Besiou, 2008								✓				
17	Hanafi <i>et al.</i> , 2008	✓				✓				✓	✓	✓	
18	He <i>et al.</i> , 2008					✓	✓						
19	Queiruga <i>et al.</i> , 2008					✓		✓			✓	✓	✓
20	Salema <i>et al.</i> , 2008a		✓	✓		✓		✓			✓		
21	Salema <i>et al.</i> , 2008b		✓	✓		✓		✓			✓		
22	Gamberini <i>et al.</i> , 2009			✓	✓						✓	✓	
23	Grunow e Gobbi, 2009					✓		✓			✓		
24	Hui <i>et al.</i> , 2009					✓	✓						
25	Kim <i>et al.</i> , 2009			✓				✓				✓	
26	Lau e Wang, 2009												
27	Tsai e Hung, 2009					✓		✓			✓	✓	✓
28	Yoshida <i>et al.</i> , 2009	✓						✓					
29	Achillas <i>et al.</i> , 2010					✓		✓			✓		✓

No	Referência	Área Logística					Modelo				Critério		
		Gestão da Procura	Gestão de Stocks	Gestão do Transporte	Armazenagem	Configuração da Rede Logística	Conceptual	Matemático	Simulação	Outro	Económico	Ambiental	Outro
30	Dwivedy and Mittal, 2010	✓						✓					
31	Gamberini <i>et al.</i> , 2010	✓		✓				✓	✓			✓	✓
32	Georgiadis e Besiou, 2010									✓	✓	✓	
33	Geyer e Blass, 2010										✓		
34	Janse <i>et al.</i> , 2010												
35	Machado <i>et al.</i> , 2010			✓			✓				✓		
36	Neto <i>et al.</i> , 2010											✓	
37	Steubing <i>et al.</i> , 2010	✓						✓					
Total		10	2	9	1	17	7	20	1	4	15	9	4

Anexo B

Análise das taxas de recepção dos CR

Com o intuito de compreender se os 68 CR, integrados no SIGREEE e localizados em Portugal Continental, apresentam uma taxa mensal de recepção de REEE semelhante, determinou-se o respectivo coeficiente de variação apresentado na Tabela III.

Tabela III: Coeficiente de Variação da taxa de recepção mensal.

Média mensal (t)	Desvio padrão (t)	Coeficiente de variação
39	106	2,7

Pela Tabela III verifica-se que o coeficiente de variação corresponde a 2,7, sendo bastante elevado uma vez que indica que o desvio padrão é aproximadamente 3 vezes superior à média mensal da taxa de recepção dos CR.

Para que a diferença entre as taxas de recepção dos CR se torne mais perceptível, na Figura I apresentam-se gráficos da quantidade mensal de REEE recepcionada em alguns (20) CR.

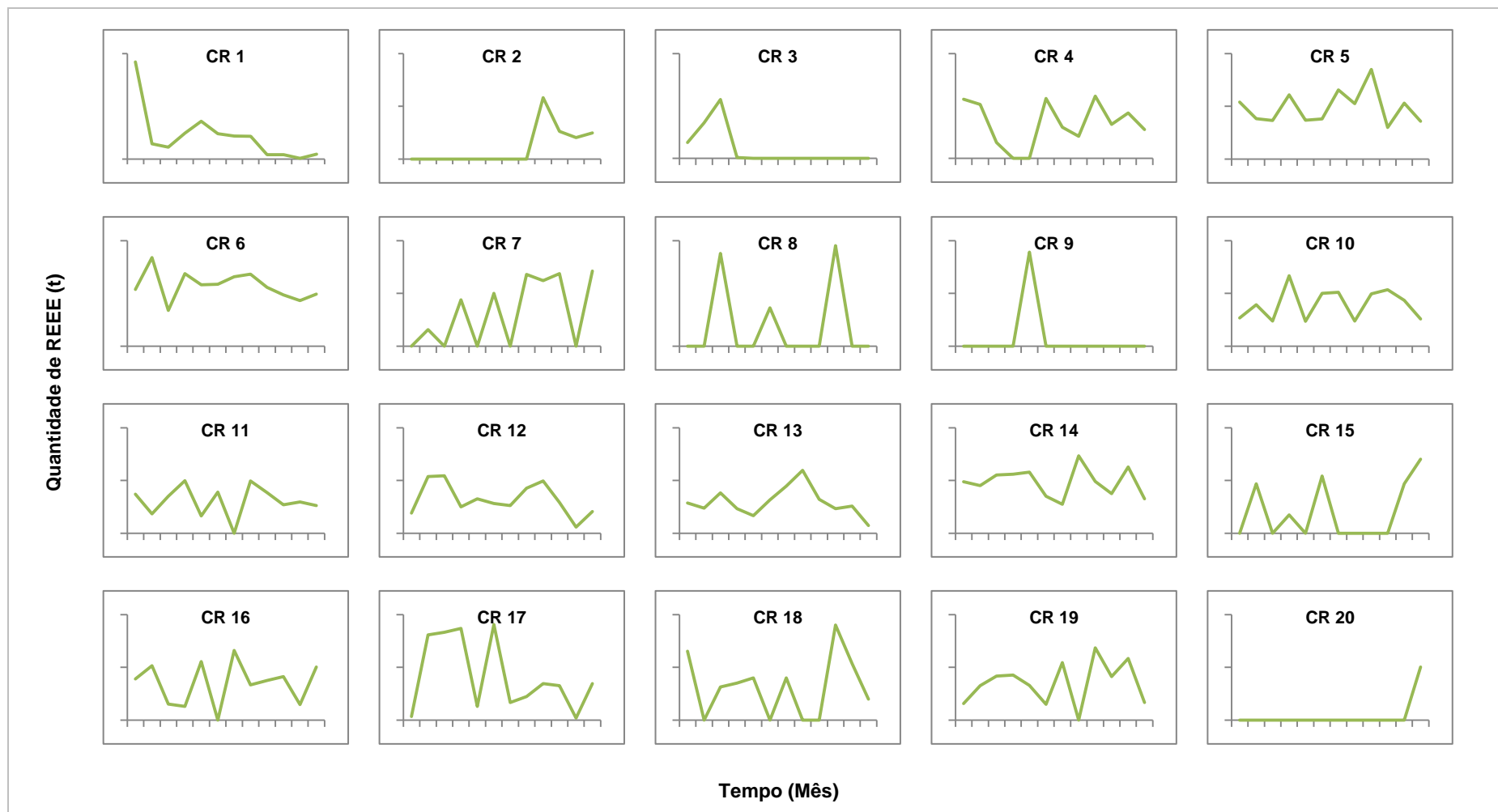


Figura I: Taxa mensal de recepção de alguns CR (ilustrativo e não exaustivo) em 2009.

Tabela IV: Quantidade de REEE (peso) recebida nos CR em 2009, por tipo de fluxo.

CR \ Fluxo	Quantidade de REEE recebida em 2009 (t)			
	A	B	C	E
1	376,678	0	4747,991	2638,851
2	391,258	0	414,981	486,614
3	42,516	0	564,374	449,463
4	2,150	32,261	15,884	28,238
5	63,100	63,400	64,700	43,240
6	70,780	144,500	57,560	71,220
7	0,070	0	36,497	1,400
8	1,810	0	7,260	1,900
9	0,588	0,010	0,520	2,450
10	76,360	76,360	19,090	19,090
11	21,719	47,701	30,943	46,440
12	90,960	187,880	321,508	173,612
13	89,695	228,388	219,680	171,498
14	227,960	449,252	1215,187	432,411
15	30,820	24,280	14,820	24,320
16	46,580	66,676	15,520	38,044
17	185,705	1,760	804,903	8,740
18	0	0	52,043	22,947
19	37,092	30,068	58,430	47,683
20	2,686	87,110	36,244	41,781
21	0	0	2,775	2,255
22	0	13,810	23,275	7,060
23	5,559	0,327	39,735	0,182
24	0,640	0,420	2,380	3,620
25	6480,790	0	0	0
26	10,699	7,641	4,300	12,720
27	3,340	22,120	46,960	48,950
28	1,137	3,424	76,947	45,960
29	17,620	33,120	7,600	11,720
30	0	40,400	25,560	30,770
31	3,900	16,130	0	0
32	2,016	4,668	5,990	3,624
33	20,015	18,178	46,103	1,655
34	13,993	11,560	19,158	19,843
35	0	0,115	0,288	1,654
36	15,971	654,728	583,931	285,705
37	0	2,420	5,040	1,480
38	0	20,070	4,450	5,200

CR \ Fluxo	Quantidade de REEE recebida em 2009 (t)			
	A	B	C	E
39	0	86,540	0	58,360
40	7,992	0	13,599	8,296
41	7,684	10,280	13,562	13,304
42	0	2,650	19,729	13,051
43	2,442	17,868	198,614	57,068
44	37,090	26,882	95,106	22,278
45	901,925	193,797	1314,179	186,936
46	146,540	92,342	276,326	107,070
47	22,720	34,740	8,960	26,460
48	34,880	58,500	32,960	33,260
49	0	5,700	12,200	1,840
50	5,920	11,100	6,880	5,920
51	20,862	25,168	106,960	7,540
52	57,780	88,600	48,900	64,820
53	18,260	37,740	36,960	37,900
54	0	18,080	0	11,040
55	2,920	27,020	26,640	27,000
56	4,678	20,772	24,451	21,826
57	0	77,810	1,900	23,776
58	0	4,860	0	9,619
X	0	0	0	0
59	6,861	3,621	6,459	11,404
60	1,195	9,890	8,588	15,286
61	0	2,300	60,219	36,240
62	31,880	142,380	55,840	26,760
63	0,060	0	3,620	1,200
64	17,220	85,770	37,410	40,780
65	3,530	17,220	24,340	9,530
66	13,244	12,016	18,505	14,425
67	24,960	157,720	136,480	129,740

Estimativa da Distância entre CR e UTV

Tabela V: Matriz de distâncias (km) entre CR e UTV.

CR	UTV									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	119	230	127	44	300	485	265	120	289
2	119	2	249	18	86	318	513	279	6	332
3	119	0	250	14	86	318	513	279	4,5	332
4	288	302	52	314	299	33	274	28	300	178
5	513	549	292	560	533	271	34	285	546	291
6	506	542	285	553	526	264	26	278	539	296
7	296	310	60	322	307	16	239	54	308	149
8	294	309	58	320	305	7	248	35	306	168
9	314	328	78	340	325	19	243	55	326	169
10	372	407	151	419	392	130	117	144	405	171
11	133	35	303	24	140	372	395	333	37	355
12	81	42	222	47	48	291	486	252	35	276
13	519	555	295	563	536	274	37	288	549	294
14	303	328	82	340	324	35	209	60	326	136
15	368	407	189	411	379	168	142	212	406	133
16	134	247	194	254	212	240	398	225	244	121
17	230	250	0	263	241	69	264	30	251	141
18	257	277	27	290	268	36	276	13	278	162
19	309	347	124	353	323	124	203	130	348	78
20	204	83	334	75	172	404	598	365	88	417
21	156	176	75	188	146	135	339	113	176	181
22	134	19	268	7	101	337	532	298	20	316
23	262	277	27	286	273	41	270	4,5	274	153
24	304	319	68	328	315	23	219	50	316	142
25	127	14	262	0	95	331	526	292	14	310
26	197	234	41	240	210	97	286	73	235	121
27	139	161	92	173	150	161	356	122	161	171
28	274	294	43	306	285	19	260	21	294	171
29	90	40	214	53	57	283	478	244	41	274
30	80	98	156	113	91	225	417	186	99	207
31	117	116	135	129	133	204	399	165	117	224
32	211	95	345	87	184	414	609	375	100	428
33	252	267	16	276	263	46	265	14	264	142
34	152	35	282	27	120	351	546	313	39	365
35	276	296	46	308	287	20	261	23	297	173
36	44	85	242	94	0	311	506	272	82	294

CR	UTV									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37	78	91	172	101	81	241	436	203	92	224
38	173	52	303	44	141	373	567	334	57	386
39	178	179	406	164	173	475	636	436	180	359
40	122	44	288	41	111	357	552	318	42	337
41	135	155	98	162	146	167	362	129	156	165
42	165	205	81	211	179	138	327	111	206	110
43	296	312	61	321	307	0	243	38	309	163
44	485	521	264	530	505	243	0	257	518	267
45	265	280	30	289	276	38	269	0	277	155
46	120	4,5	250	15	87	319	514	280	0	333
47	376	414	189	455	390	168	123	182	443	153
48	94	234	225	243	174	279	433	258	230	156
49	175	179	427	165	181	496	691	457	180	441
50	152	104	352	99	158	421	616	382	105	404
51	87	144	304	119	90	373	568	334	141	331
52	223	243	27	255	234	96	291	48	243	168
53	172	210	71	216	185	119	314	100	210	105
54	248	129	378	128	219	448	642	409	133	461
55	209	88	339	79	176	408	603	369	92	422
56	164	180	98	194	175	141	344	110	181	160
57	120	2	250	12	87	319	514	280	2,5	333
58	169	207	114	211	183	157	345	138	208	76
59	67	64	194	77	44	263	458	224	64	246
60	102	52	201	65	60	270	465	231	53	263
61	299	314	63	323	310	3,5	241	40	311	164
62	295	310	59	319	306	40	281	38	307	185
63	148	37	283	29	116	352	547	313	39	335
64	268	306	140	312	282	164	276	156	306	0
65	143	162	89	175	154	159	353	120	163	175
66	257	136	387	128	225	457	651	418	141	470
67	271	291	41	304	282	27	265	15	292	168

Estimativa da Capacidade

A) Estimativa da capacidade do veículo para transportar tipo de fluxo A

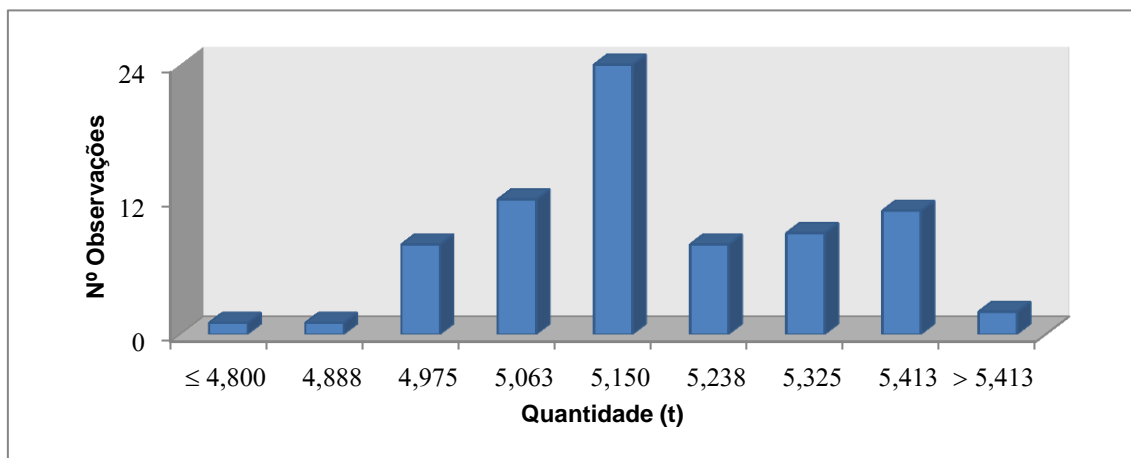


Figura II: Histograma da quantidade de fluxo A à saída do CR₂ por transporte monofluxo.

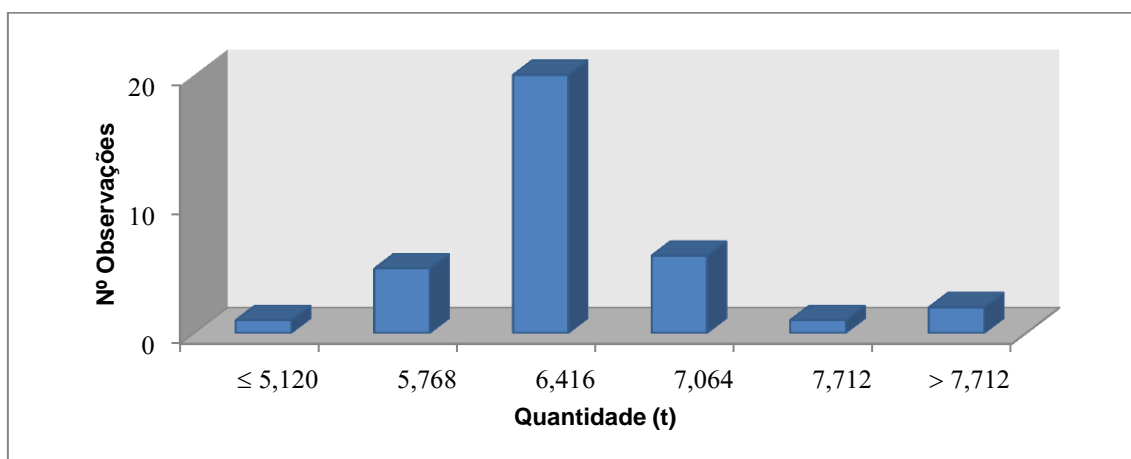
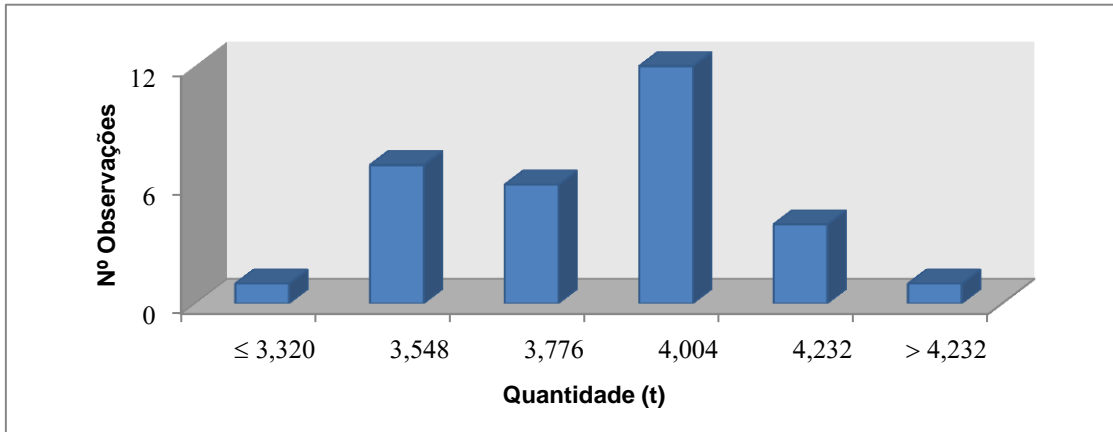
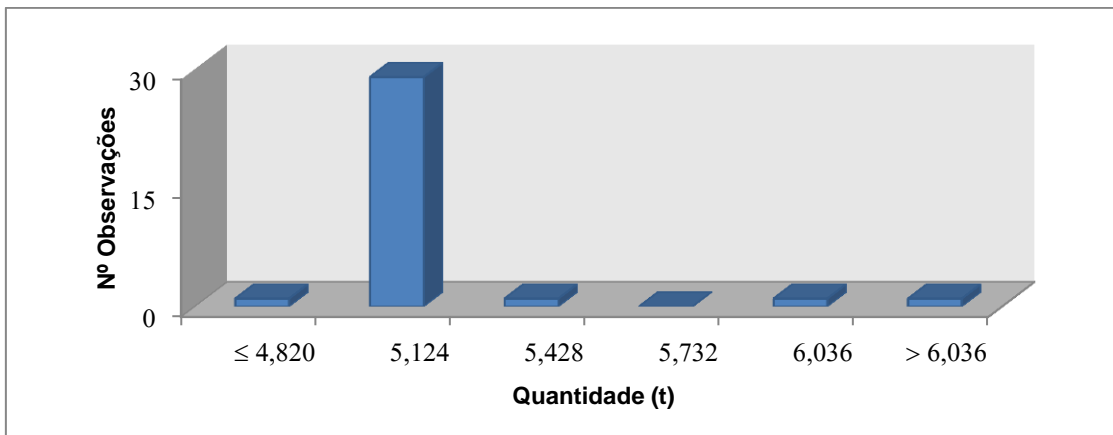
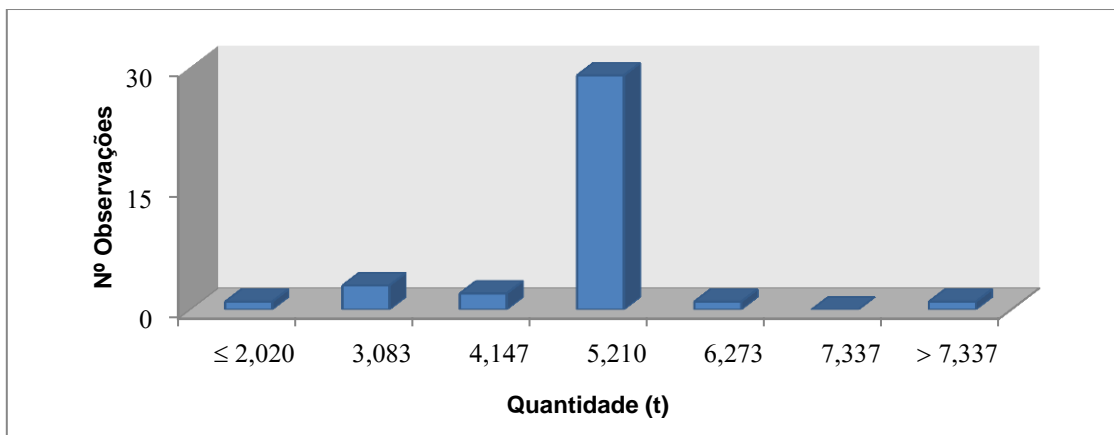


Figura III: Histograma da quantidade de fluxo A à saída do CR₁₄ por transporte monofluxo.

Tabela VI: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo A.

CR	Nº obs.	Máximo	Mínimo	Nº classes	Classe modal	Ampl. classe	Limite inferior	Limite superior	Ponto médio
2	76	5,500	4,800	9	5	0,088	5,063	5,150	5,106
14	35	8,360	5,120	6	3	0,648	5,768	6,416	6,092
Média									5,599
Mínimo									5,106
Máximo									6,092
Desvio Padrão									0,697
Estimativa da capacidade (t)									5,599

B) Estimativa da capacidade do veículo para transportar tipo de fluxo B

Figura IV: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR₆ por transporte monofluxo.Figura V: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR₁₂ por transporte monofluxo.Figura VI: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR₁₃ por transporte monofluxo.

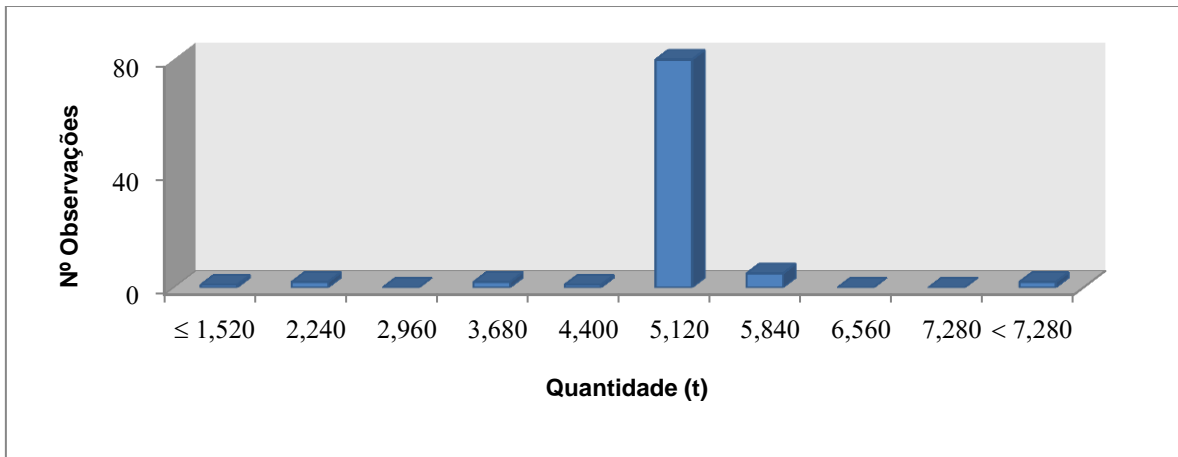


Figura VII: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR₁₄ por transporte monofluxo.

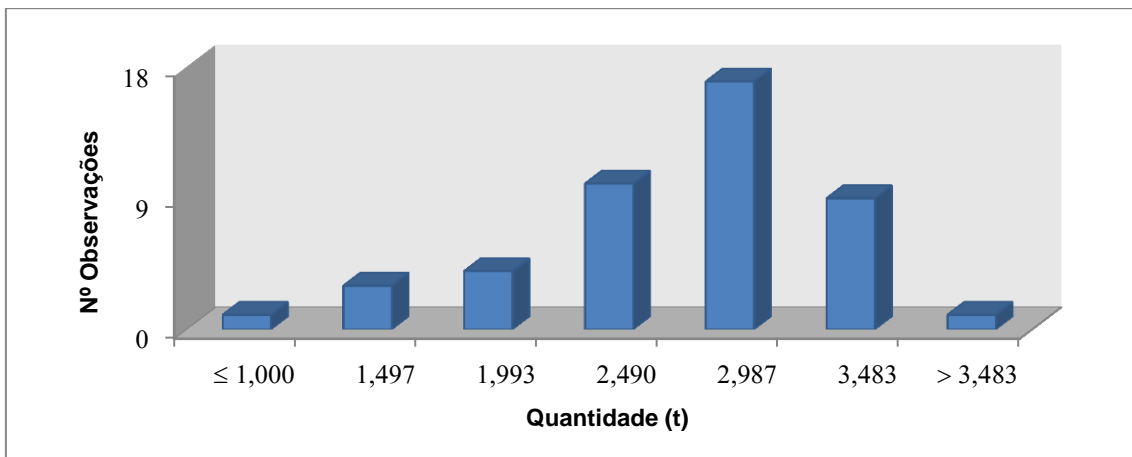


Figura VIII: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR₆₃ por transporte monofluxo.

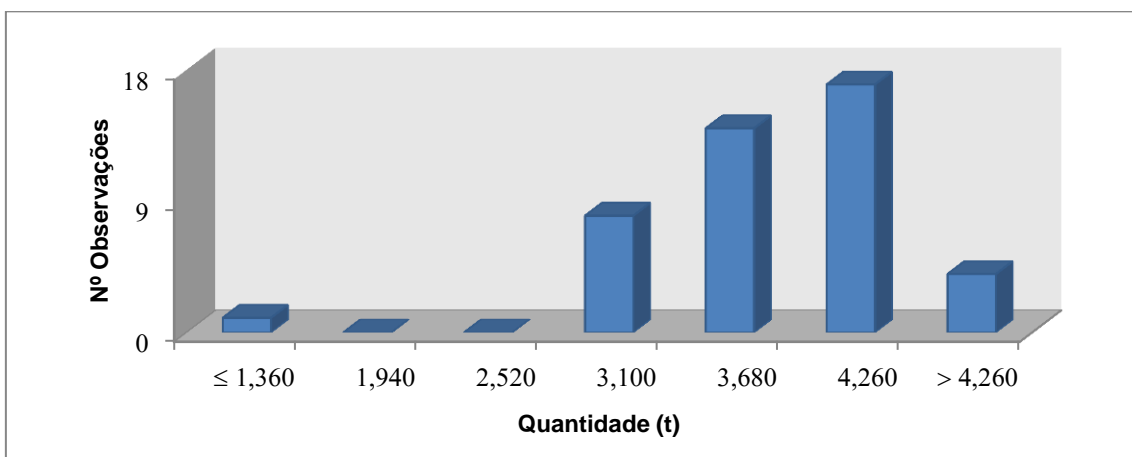


Figura IX: Histograma da quantidade de fluxo B à saída do CR₆₈ por transporte monofluxo.

Tabela VII: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo B.

CR	Nº obs.	Máximo	Mínimo	Nº classes	Classe modal	Ampl. classe	Limite inferior	Limite superior	Ponto médio	**
6	31	4,460	3,320	6	4	0,228	3,776	4,004	3,890	3,890
12	33	6,340	4,820	6	2	0,304	4,820	5,124	4,972	-
13	37	8,400	2,020	7	4	1,063	4,147	5,210	4,679	4,679
14	93	7,650	1,520	10	6	0,720	4,400	5,120	4,760	4,760
63	45	3980	1000	7	5	0,497	2,490	2,987	2,739	-
68	44	4,840	1,360	7	6	0,580	3,68	4,26	3,970	3,970
Média									4,168	4,443
Mínimo									2,739	3,890
Máximo									4,972	4,760
Desvio Padrão									0,827	0,480
Estimativa da capacidade (t)									4,443	

** Ponto médio excluindo o valor mais baixo e mais elevado

C) Estimativa da capacidade do veículo para transportar tipo de fluxo C

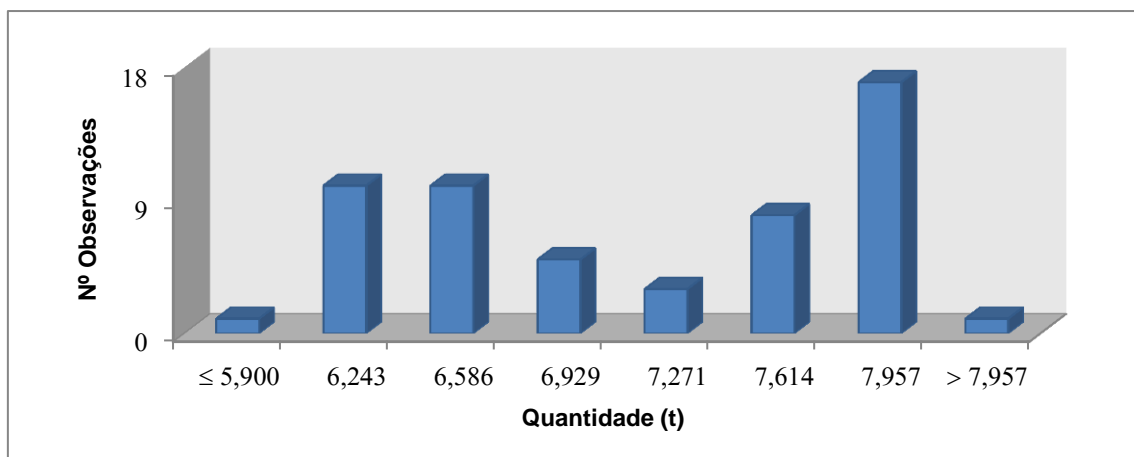


Figura X: Histograma da quantidade de fluxo C à saída do CR₂, em transporte monofluxo.

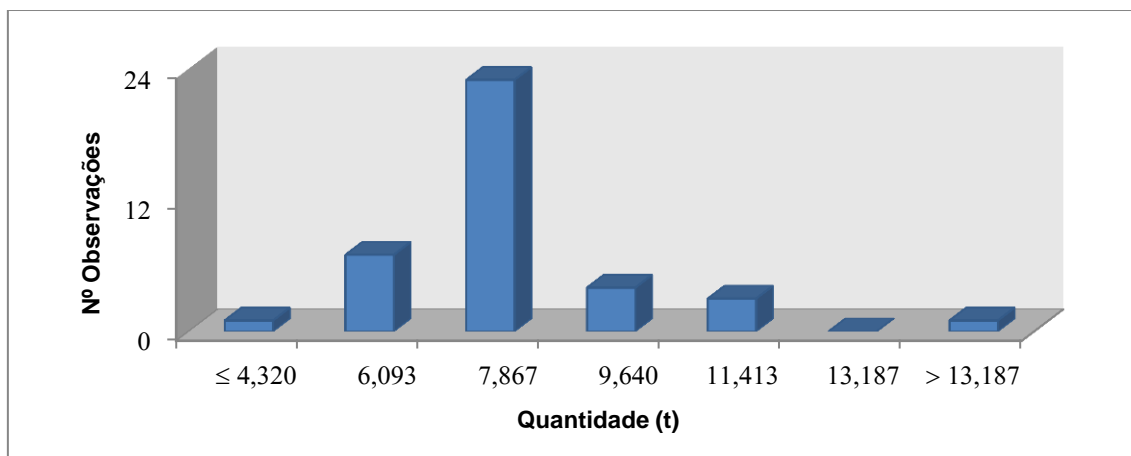


Figura XI: Histograma da quantidade de fluxo C à saída do CR₁₂, em transporte monofluxo.

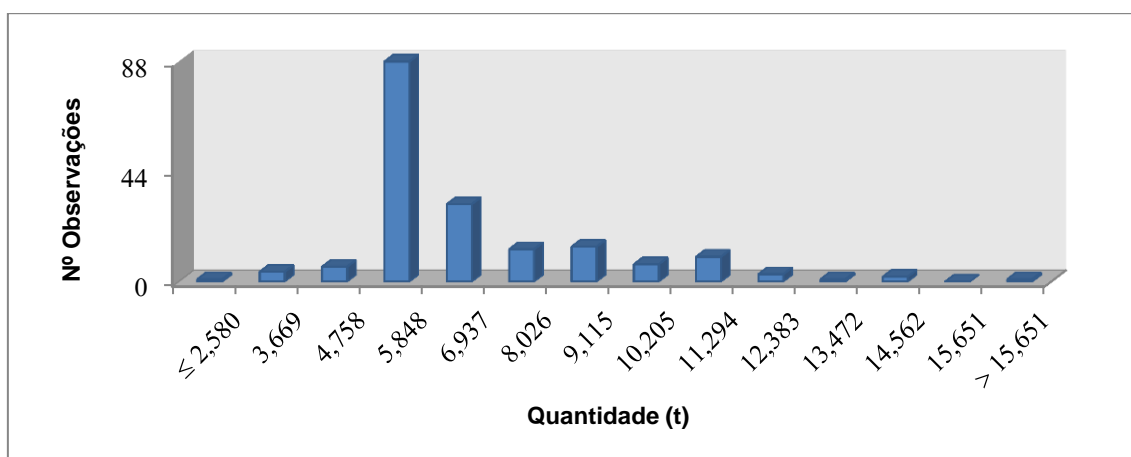




Figura XII: Histograma da quantidade de fluxo C à saída do CR₁₄, em transporte monofluxo.

Tabela VIII: Estimativa da capacidade, em peso, do veículo para transportar fluxo C.

CR	Nº obs.	Máximo	Mínimo	Nº classes	Classe modal	Ampl. classe	Limite inferior	Limite superior	Ponto médio
2	55	8,300	5,900	8	7	0,343	7,614	7,957	7,786
12	39	14,960	4,320	7	3	1,773	6,093	7,867	6,980
14	181	16,740	2,580	14	4	1,089	4,758	5,848	5,303
Média									6,689
Mínimo									5,303
Máximo									7,786
Desvio Padrão									1,267
Estimativa da capacidade (t)									6,689


3- Dúvida sobre transporte de resíduos

Back to messages |  

Imtt Mail Geral [Add to contacts](#)
To: ritabarros13@hotmail.com

7/19/2010
[Reply](#)

From: **Margarida Alexandre** (malexandre@imtt.pt) on behalf of **Imtt Mail Geral** (imtt@imtt.pt)
Sent: Monday, July 19, 2010 8:30:42 AM
To: ritabarros13@hotmail.com

 Attachments, pictures and links in this message have been blocked for your safety.
[Show content](#) | [Always show content from imtt@imtt.pt](#)

Boa tarde

Em resposta ao solicitado, informa-se que, do ponto de vista destes serviços não existem incompatibilidades entre os diferentes tipos de resíduos indicados.

Contudo, deverão sempre consultar a autoridade competente que é a **Agência Portuguesa do Ambiente**.

Com os melhores cumprimentos

12

Margarida Alexandre

Direção de Serviços de Processamento e Atendimento

IMTT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres

Call center: 808 50 20 20

www.imtt.pt

De: Ana Rita Barros [mailto:ritabarros13@hotmail.com]

Enviada: sexta-feira, 16 de Julho de 2010 15:09

Para: Imtt Mail Geral

Assunto: Dúvida sobre transporte de resíduos

Boa tarde.

Gostaria de esclarecer uma dúvida sobre transporte de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE).
Gostaria de saber se é permitido transportar juntamente monitores contendo CRT (tubos de raios catódicos) e refrigeradores contendo CFCs e se é permitido juntar estes tipos de resíduos com outros tipos de REEE que não contenham estas substâncias.

Atenciosamente,

Ana Rita Barros

Figura XIII: Resposta do IMTT à dúvida sobre transporte de REEE de fluxo B e E.

Implementação do Modelo

A) Código da Macro "Cenario2_MMC"

```

Sub Cenario2_MMC()
    Tempo_inicial = Time

    Dim centro_recepcao As String
    Dim num_utv As Integer
    Dim num_cr As Integer

    windows("Input.xlsx").Activate

    num_utv = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(3, 2).Value
    num_cr = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(4, 2).Value
    linha_CR_f = num_cr + 4

    windows("MMC.xlsm").Activate
    linha = 10
    num_colunas = 11 + 4 * num_utv

    For linha_CR = 5 To linha_CR_f
        'Escrita e Formatação do CR

        centro_recepcao = workbooks("Input").Sheets("Quantidades").Cells(linha_CR,
1).Value
        workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, 1).Value =
centro_recepcao
        Range(Cells(linha, 1), Cells(linha, num_colunas)).Select
        With Selection.Font
            .Bold = True
            .Name = "Calibri"
            .Size = 9
            .Strikethrough = False
            .Superscript = False
            .Subscript = False
            .OutlineFont = False
            .Shadow = False
            .Underline = xlUnderlineStyleNone
        End With

        With Selection.Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorAccent3
            .TintAndShade = 0
            .PatternTintAndShade = 0
        End With

        With Selection
            .HorizontalAlignment = xlLeft
            .VerticalAlignment = xlCenter
            .WrapText = False
            .Orientation = 0
            .AddIndent = False
            .IndentLevel = 0
            .ShrinkToFit = False
            .ReadingOrder = xlContext
            .MergeCells = False
        End With

        For fluxo = 1 To 3
            Select Case fluxo
                Case 1
                    Cells(linha + fluxo, 1).value = "AC"
            End Select
        Next fluxo
    Next linha_CR
End Sub

```

```

+ 28, 2).value      k_a = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(fluxo
+ 30, 2).value      k_c = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(fluxo
                    qtd_a = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(linha,
1), workbooks("Input").Sheets("Quantidades").Range("A5:F72"), fluxo + 2,
False)
                    qtd_c = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(linha,
1), workbooks("Input").Sheets("Quantidades").Range("A5:F72"), fluxo + 4,
False)
                    qtd_ac = qtd_a + qtd_c
                    If qtd_ac = 0 Then
fluxo, 2).value = 0      workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
fluxo, 4).value = 0      workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
                    Else
k_c)                    k_ac = ((qtd_a / qtd_ac) * k_a) + ((qtd_c / qtd_ac) *
fluxo, 2).value = k_ac      workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
fluxo, 4).value = qtd_ac / k_ac      workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
                    End If
                    Case 2
+ 28, 2).value      Cells(linha + fluxo, 1).value = "B"
                        k_b = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(fluxo
2).value = k_b          workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
                        qtd_b = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(linha,
1), workbooks("Input").Sheets("Quantidades").Range("A5:F72"), fluxo + 2,
False)
4).value = qtd_b / k_b      workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
                    Case 3
+ 29, 2).value      Cells(linha + fluxo, 1).value = "E"
                        k_e = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(fluxo
2).value = k_e          workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
                        qtd_e = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(linha,
1), workbooks("Input").Sheets("Quantidades").Range("A5:F72"), fluxo + 3,
False)
4).value = qtd_e / k_e      workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
                    End Select
                    workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo, 3).value = 2
                    workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Range(Cells(linha + fluxo, 2),
Cells(linha + fluxo, 4)).Select
                    With Selection.Font
                        .Name = "Calibri"
                        .Size = 9
                        .Strikethrough = False
                        .Superscript = False
                        .Subscript = False
                        .OutlineFont = False
                        .Shadow = False
                        .Underline = xlUnderlineStyleNone
                        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
                        .TintAndShade = 0
                        .ThemeFont = xlThemeFontMinor
                    End With
                    Selection.NumberFormat = "###0.000"
                    With Selection
                        .HorizontalAlignment = xlRight
                        .VerticalAlignment = xlCenter
                        .WrapText = False
                        .Orientation = 0
                        .AddIndent = False
                        .IndentLevel = 0
                        .ShrinkToFit = False

```

```

        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With

    Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo, 3).Select
    Selection.NumberFormat = "#,##0"

'cálculo do custo de transporte e tratamento associado a cada utv
coluna_utv = 11
For utv = 1 To 10

    Select Case fluxo

        Case 1

            Ctrat_a = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(7,
coluna_utv), Workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Range("A12:F21"), fluxo
+ 1, False)
            Ctrat_c = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(7,
coluna_utv), Workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Range("A12:F21"), fluxo
+ 3, False)

            If (Ctrat_a = "-" Or Ctrat_c = "-") Then

                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv).Value = "-"
                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 1).Value = "-"
                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2).Value = "-"

            Else

                C_Trat = (Ctrat_a * qtd_a) + (Ctrat_c * qtd_c)
                ct = Workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(7,
2).Value
                nt = Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
fluxo, 4).Value
                dist = Application.WorksheetFunction.HLookup(Cells(7,
coluna_utv), Workbooks("Input").Sheets("Distâncias").Range("A4:K72"), linha_CR
- 3, False)
                C_Trans = dist * ct * nt

                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv).Value = C_Trans
                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 1).Value = C_Trat
                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2).Value = C_Trans + C_Trat

            End If

        Case 2

            Ctrat_b = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(7,
coluna_utv), Workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Range("A12:E21"), fluxo
+ 1, False)

            If Ctrat_b = "-" Then

                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv).Value = "-"
                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 1).Value = "-"
                Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2).Value = "-"

            Else

                C_Trat = Ctrat_b * qtd_b
                ct = Workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(7,
2).Value
                nt = Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
fluxo, 4).Value

```

```

        dist = Application.WorksheetFunction.HLookup(Cells(7,
coluna_utv), workbooks("Input").Sheets("Distâncias").Range("A4:K72"), linha_CR
- 3, False)
        C_Trans = dist * ct * nt

        Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv).Value = C_Trans
        Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 1).Value = C_Trat
        Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2).Value = C_Trans + C_Trat

        End If

    Case 3

        Ctrat_e = Application.WorksheetFunction.VLookup(Cells(7,
coluna_utv), workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Range("A12:E21"), fluxo
+ 2, False)

        If Ctrat_e = "-" Then

            Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv).Value = "-"
            Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 1).Value = "-"
            Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2).Value = "-"

        Else

            C_Trat = Ctrat_e * qtd_e
            ct = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(7,
2).Value
            nt = Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha +
fluxo, 4).Value
            dist = Application.WorksheetFunction.HLookup(Cells(7,
coluna_utv), workbooks("Input").Sheets("Distâncias").Range("A4:K72"), linha_CR
- 3, False)
            C_Trans = dist * ct * nt

            Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv).Value = C_Trans
            Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 1).Value = C_Trat
            Workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2).Value = C_Trans + C_Trat

        End If

    End Select

    Range(Cells(linha + fluxo, coluna_utv), Cells(linha + fluxo,
coluna_utv + 2)).Select
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlRight
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With
    Selection.NumberFormat = "###0"
    With Selection.Font
        .Name = "Calibri"
        .Size = 9
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
    End With

```

```

        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontMinor
    End With

    coluna_utv = coluna_utv + 4

    Next utv

    'Afecção da utv com menor Custo transporte+Custo tratamento
    Minimo = Application.WorksheetFunction.Min(Cells(linha + fluxo, 13),
Cells(linha + fluxo, 17), Cells(linha + fluxo, 21), Cells(linha + fluxo, 25),
Cells(linha + fluxo, 29), Cells(linha + fluxo, 33), Cells(linha + fluxo, 37),
Cells(linha + fluxo, 41), Cells(linha + fluxo, 45), Cells(linha + fluxo, 49))
    Cells(linha + fluxo, 51).Value = Minimo
    Cells(linha + fluxo, 51).Select
        With Selection
            .HorizontalAlignment = xlRight
            .VerticalAlignment = xlCenter
            .WrapText = False
            .Orientation = 0
            .AddIndent = False
            .IndentLevel = 0
            .ShrinkToFit = False
            .ReadingOrder = xlContext
            .MergeCells = False
        End With

    Selection.NumberFormat = "###0"
    With Selection.Font
        .Name = "Calibri"
        .Size = 9
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontMinor
    End With

    coluna_utv = 11
    For utv = 1 To 10

        Select Case Cells(linha + fluxo, coluna_utv + 2).Value

            Case Cells(linha + fluxo, 51).Value

                'Registo da utv de destino
                Cells(linha + fluxo, coluna_utv + 3).Value = 1
                Cells(linha + fluxo, coluna_utv + 3).Select
                With Selection
                    .HorizontalAlignment = xlRight
                    .VerticalAlignment = xlCenter
                    .WrapText = False
                    .Orientation = 0
                    .AddIndent = False
                    .IndentLevel = 0
                    .ShrinkToFit = False
                    .ReadingOrder = xlContext
                    .MergeCells = False
                End With
                Application.WindowState = xlMaximized
                Selection.NumberFormat = "0"
                With Selection.Font
                    .Name = "Calibri"
                    .Size = 9
                    .Strikethrough = False
                    .Superscript = False
                    .Subscript = False
                    .OutlineFont = False
                    .Shadow = False
                    .Underline = xlUnderlineStyleNone
                    .ThemeColor = xlThemeColorLight1
                    .TintAndShade = 0
                    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
                End With
            End Case
        End Select
    Next utv

```

```

End With

Nome_utv = Cells(7, coluna_utv).Value
Cells(linha + fluxo, 10).Value = Nome_utv
Cells(linha + fluxo, 10).Select
With Selection.Font
    .Name = "Calibri"
    .Size = 9
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
    .TintAndShade = 0
    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlRight
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With

'cálculo da distância anual
dist = Application.WorksheetFunction.HLookup(Cells(7,
coluna_utv), workbooks("Input").Sheets("Distâncias").Range("A4:K72"), linha_CR
- 3, False)

Dist_anual = dist * nt
Cells(linha + fluxo, 5).Value = Dist_anual
Range(Cells(linha + fluxo, 4), Cells(linha + fluxo,
5)).Select

With Selection.Font
    .Name = "Calibri"
    .Size = 9
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ThemeColor = xlThemeColorLight1
    .TintAndShade = 0
    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With
Selection.NumberFormat = "###0.0"
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlRight
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With

'cálculo do custo de contentor
nc = Cells(linha + fluxo, 3).Value
cc = workbooks("Input").Sheets("DadosGerais").Cells(8,
2).Value

C_Cont = nc * cc
workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha + fluxo,
6).Value = C_Cont

'cálculo do custo de Transporte
C_Trans = Cells(linha + fluxo, coluna_utv)
Cells(linha + fluxo, 7).Value = C_Trans
'cálculo do custo de Tratamento
C_Trat = Cells(linha + fluxo, coluna_utv + 1)

```

```

Cells(linha + fluxo, 8).Value = C_Trat
'Cálculo do custo de gestão
C_Gestao = C_Cont + C_Trans + C_Trat
Cells(linha + fluxo, 9).Value = C_Gestao
Range(Cells(linha + fluxo, 6), Cells(linha + fluxo,
9)).Select
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlRight
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With
    Selection.NumberFormat = "###0"
    With Selection.Font
        .Name = "Calibri"
        .Size = 9
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontMinor
    End With
    Case Else
        Cells(linha + fluxo, coluna_utv + 3).Value = 0
        Cells(linha + fluxo, coluna_utv + 3).Select
        With Selection
            .HorizontalAlignment = xlRight
            .VerticalAlignment = xlCenter
            .WrapText = False
            .Orientation = 0
            .AddIndent = False
            .IndentLevel = 0
            .ShrinkToFit = False
            .ReadingOrder = xlContext
            .MergeCells = False
        End With
        Application.WindowState = xlMaximized
        Selection.NumberFormat = "0"
        With Selection.Font
            .Name = "Calibri"
            .Size = 9
            .Strikethrough = False
            .Superscript = False
            .Subscript = False
            .OutlineFont = False
            .Shadow = False
            .Underline = xlUnderlineStyleNone
            .ThemeColor = xlThemeColorLight1
            .TintAndShade = 0
            .ThemeFont = xlThemeFontMinor
        End With
    End Select
    coluna_utv = coluna_utv + 4

Next utv

If Range("D" & linha + fluxo).Value = 0 Then
    Range(Cells(linha + fluxo, 2), Cells(linha + fluxo, 51)).Value =
Null
    Range(Cells(linha + fluxo, 1), Cells(linha + fluxo, 51)).Select
    With Selection.Interior

```

```

        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent3
        .TintAndShade = 0.799981688894314
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
End If

Next fluxo

Range("A" & linha + 1 & ":" & "A" & linha + 3).Select
With Selection.Font
    .Name = "Calibri"
    .Size = 9
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ThemeColor = xlThemeColorLight1
    .TintAndShade = 0
    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With

For coln = 3 To 9
    workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, coln).Value =
Application.WorksheetFunction.Sum(Cells(linha + 1, coln), Cells(linha + 2,
coln), Cells(linha + 3, coln))
    workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, coln).Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .Name = "Calibri"
        .Size = 9
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
    End With
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlRight
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With

    If 3 < coln < 6 Then
        Selection.NumberFormat = "###0.0"
    ElseIf coln > 5 Then
        Selection.NumberFormat = "###0"
    End If

    Next coln

    workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, 3).Select
    Selection.NumberFormat = "###0"

    If (Cells(linha + 1, 10).Value = Cells(linha + 2, 10).Value And
Cells(linha + 2, 10).Value = Cells(linha + 3, 10).Value) Then
        workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, 10).Value =
Cells(linha + 1, 10).Value
    Else
        workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, 10).Value =
Cells(linha + 1, 10).Value & " / " & Cells(linha + 2, 10).Value & " / " &
Cells(linha + 3, 10).Value
    End If

```

```
workbooks("MMC").Sheets("Cenário 2").Cells(linha, 10).select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlRight
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With

    linha = linha + 4
Next linha_CR

Tempo_final = Time
MsgBox ("Tempo inicial =" & Tempo_inicial & " Tempo final =" & Tempo_final)
End Sub
```

Anexo C

Tabela IX: Dados relativos ao modelo de gestão actual, correspondente ao ano 2009.

CR	Modelo actual (2009)							
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)
1	ACE	UTV 1	2	2 160	0	1 266 454	1 268 614	0
2	A/C/E	UTV 1	6	6 480	24 038	187 482	218 000	24 038
3	AC/E	UTV 2 / UTV 1	4	4 320	8 806	191 276	204 402	8 806
4	ABCE	UTV 6	2	2 160	858	20 949	23 967	858
5	ABCE	UTV 6	2	2 160	8 401	39 616	50 177	8 401
6	AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	16 022	71 520	91 862	16 022
7	ACE	UTV 6	2	2 160	112	4 210	6 482	112
8	ACE	UTV 6	2	2 160	21	1 486	3 667	21
9	ABCE	UTV 6	2	2 160	19	1 035	3 214	19
10	ABCE	UTV 6	2	2 160	4 810	28 635	35 605	4 810
11	ABCE	UTV 5	2	2 160	3 360	40 243	45 763	3 360
12	ABCE	UTV 6	2	2 160	34 920	148 566	185 646	34 920
13	ABCE	UTV 6	2	2 160	29 592	147 664	179 416	29 592
14	ABCE	UTV 6	2	2 160	13 125	406 796	422 081	13 125
15	ABCE	UTV 6	2	2 160	2 016	17 280	21 456	2 016

CR	Modelo actual (2009)							
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)
16	AC/BE	UTV 10 / UTV 5	4	4 320	4 663	35 224	44 207	4 663
17	AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	207	100 524	105 051	207
18	CE	UTV 5	2	2 160	2 680	21 317	26 157	2 680
19	ABCE	UTV 6	2	2 160	2 852	32 433	37 445	2 852
20	ABCE	UTV 5	2	2 160	3 956	48 313	54 429	3 956
21	CE	UTV 6	2	2 160	270	1 180	3 610	270
22	BCE	UTV 5	2	2 160	1 010	11 678	14 848	1 010
23	ABCE	UTV 8	2	2 160	45	4 923	7 128	45
24	ABCE	UTV 6	2	2 160	46	1 791	3 997	46
25	A	UTV 4	2	2 160	0	0	2 160	0
26	ABCE	UTV 6	2	2 160	485	7 428	10 073	485
27	ABCE	UTV 5	2	2 160	4 650	37 221	44 031	4 650
28	ABCE	UTV 8	2	2 160	924	28 474	31 558	924
29	ACE/ABCE	UTV 1 / UTV 5	2	2 160	1 092	15 119	18 371	1 092
30	BCE	UTV 5	2	2 160	1 547	29 156	32 863	1 547
31	AB	UTV 5	2	2 160	665	4 347	7 172	665
32	ABCE	UTV 5	2	2 160	736	4 187	7 083	736
33	ABCE	UTV 6	2	2 160	1 058	9 817	13 035	1 058

CR	Modelo actual (2009)							
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)
34	ABCE	UTV 5	2	2 160	1 560	16 534	20 254	1 560
35	BCE	UTV 6	2	2 160	20	719	2 899	20
36	ABCE	UTV 5	2	2 160	0	419 232	421 392	0
37	CE/BCE	UTV 1 / UTV 5	2	2 160	159	1 909	4 228	159
38	BCE	UTV 5	2	2 160	846	8 333	11 339	846
39	BCE	UTV 5	2	2 160	4 671	47 163	53 994	4 671
40	ACE	UTV 1	2	2 160	854	3 849	6 863	854
41	ABCE	UTV 5	2	2 160	584	11 787	14 531	584
42	BCE	UTV 6	2	2 160	690	7 856	10 706	690
43	ABCE	UTV 6	2	2 160	0	47 156	49 316	0
44	AC/BE	UTV 7 e UTV 8 / UTV 6	4	4 320	3 743	27 044	35 107	3 743
45	AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	2 166	280 925	287 411	2 166
46	AC/BE	UTV 9 e UTV 8 / UTV 5	4	4 320	7 650	102 746	114 716	7 650
47	ABCE	UTV 6	2	2 160	3 024	20 165	25 349	3 024
48	AC/BE	UTV 10 / UTV 5	4	4 320	4 050	33 175	41 545	4 050
49	BCE	UTV 5	2	2 160	362	4 929	7 451	362
50	ABCE	UTV 5	2	2 160	790	7 245	10 195	790

CR	Modelo actual (2009)							
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)
51	ABCE	UTV 5	2	2 160	1 980	34 443	38 583	1 980
52	ABCE	UTV 6	2	2 160	3 648	52 968	58 776	3 648
53	ABCE/AC	UTV 6 / UTV 8	2	2 160	4 008	28 419	34 587	4 008
54	BE	UTV 5	2	2 160	1 533	9 358	13 051	1 533
55	ABCE	UTV 5	2	2 160	2 847	24 536	29 543	2 847
56	ABCE	UTV 5	2	2 160	1 225	20 342	23 727	1 225
57	BCE	UTV 5	2	2 160	2 784	30 483	35 427	2 784
58	BE	UTV 5 e UTV 6	2	2 160	523	5 259	7 942	523
59	ABCE	UTV 5	2	2 160	264	7 660	10 084	264
60	ABCE	UTV 5	2	2 160	420	11 056	13 636	420
61	BCE	UTV 6	2	2 160	56	21 093	23 309	56
62	ABCE/AC	UTV 6 / UTV 8	2	2 160	3 060	52 529	57 749	3 060
63	ACE	UTV 1	2	2 160	148	722	3 030	148
64	AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	3 936	42 244	50 500	3 936
65	ABCE	UTV 5	2	2 160	1 232	14 056	17 448	1 232
66	ABCE	UTV 5	2	2 160	1 800	14 133	18 093	1 800
67	AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	1 770	107 364	113 454	1 770
TOTAL				170 640	235 389	4483 771	4889 800	235 389

Tabela X: Resultados do modelo MC.

CR	Resultados do Modelo MC								Variação relativamente ao Modelo Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
1	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	0	1 266 454	1 268 614	0	0	0
2	4: ABC/E	UTV 2 / UTV 1	4	4 320	9 123	187 482	200 925	9 123	-8	-62
3	4: ABC/E	UTV 2 / UTV 1	4	4 320	8 185	191 276	203 781	8 185	0	-7
4	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	1 564	18 125	24 009	1 564	0	82
5	2: AC/B/E	UTV 7 / UTV 6 / UTV 1	6	6 480	7 968	36 586	51 034	7 968	2	-5
6	2: AC/B/E	UTV 7 / UTV 6 / UTV 1	6	6 480	14 649	64 398	85 527	14 649	-7	-9
7	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	91	4 252	6 503	91	0	-19
8	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	12	1 543	3 715	12	1	-44
9	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	11	1 108	3 279	11	2	-44
10	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	4 648	29 208	36 016	4 648	1	-3
11	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	3 570	29 190	37 079	3 570	-19	6
12	2: AC/B/E	UTV 2 / UTV 5 / UTV 1	6	6 480	6 868	132 144	145 492	6 868	-22	-80
13	2: AC/B/E	UTV 7 / UTV 6 / UTV 1	6	6 480	29 501	134 908	170 889	29 501	-5	0
14	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	31 043	363 555	398 918	31 043	-5	137
15	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	3 533	14 848	22 701	3 533	6	75

CR	Resultados do Modelo MC								Variação relativamente ao Modelo Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
16	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	5 373	29 968	39 660	5 373	-10	15
17	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	10 657	84 689	97 506	10 657	-7	5049
18	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	2 902	12 088	17 150	2 902	-34	8
19	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	4 926	27 665	36 911	4 926	-1	73
20	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	5 877	38 372	48 569	5 877	-11	49
21	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	119	954	3 233	119	-10	-56
22	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	925	7 967	13 212	925	-11	-8
23	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	287	4 134	6 581	287	-8	538
24	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	25	1 900	4 085	25	2	-45
25	6: ABCE	UTV 4	2	2 160	0	0	2 160	0	0	0
26	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	589	7 810	10 559	589	5	22
27	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 6	4	4 320	2 899	24 911	32 130	2 899	-27	-38
28	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	2 162	22 339	28 821	2 162	-9	134
29	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	968	12 722	18 010	968	-2	-11
30	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	1 510	22 089	27 919	1 510	-15	-2
31	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	875	4 033	7 068	875	-1	32
32	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	1 148	3 324	6 632	1 148	-6	56
33	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	664	9 866	12 690	664	-3	-37

CR	Resultados do Modelo MC								Variação relativamente ao Modelo Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
34	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	1 582	10 816	16 718	1 582	-17	1
35	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	6	769	2 935	6	1	-68
36	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	5 887	311 060	321 267	5 887	-24	5887km
37	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	356	1 745	4 261	356	1	124
38	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	814	8 333	11 307	814	0	-4
39	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	4 959	39 576	48 855	4 959	-10	6
40	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	574	3 849	6 582	574	-4	-33
41	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	1 260	9 647	13 067	1 260	-10	116
42	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	756	8 247	11 164	756	4	10
43	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	2 585	41 449	48 354	2 585	-2	2585km
44	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	2 216	27 713	34 249	2 216	-2	-41
45	1: A/B/C/E	UTV 8 / UTV 6 / UTV 6 / UTV 1	8	8 640	16 704	235 948	261 292	16 704	-9	671
46	2: AC/B/E	UTV 2 / UTV 5 / UTV 1	6	6 480	4 076	83 301	93 857	4 076	-18	-47
47	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	3 693	17 519	25 532	3 693	1	22
48	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	3 809	28 192	36 320	3 809	-13	-6
49	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	1 625	3 436	7 221	1 625	-3	349
50	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	840	7 245	10 245	840	0	6

CR	Resultados do Modelo MC								Variação relativamente ao Modelo Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contendor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
51	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	2 318	19 376	26 014	2 318	-33	17
52	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	5 718	46 486	56 524	5 718	-4	57
53	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	2 986	24 501	31 807	2 986	-8	-25
54	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	1 218	9 358	12 736	1 218	-2	-21
55	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	2 873	17 654	24 847	2 873	-16	1
56	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	1 793	14 186	20 298	1 793	-14	46
57	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	1 994	27 164	33 479	1 994	-6	-28
58	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	390	5 351	7 901	390	-1	-25
59	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	298	4 990	9 609	298	-5	13
60	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	524	7 967	12 811	524	-6	25
61	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	1 691	17 469	23 480	1 691	1	2920
62	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	2 996	49 207	56 523	2 996	-2	-2
63	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	109	722	2 991	109	-1	-26
64	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	6 115	37 418	47 852	6 115	-5	55
65	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	1 476	10 837	14 473	1 476	-17	20
66	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	2 484	9 242	16 046	2 484	-11	38
67	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	6 949	92 000	103 269	6 949	-9	293
TOTAL				246 240	256 344	4 022 677	4 525 260	256 344	-7	9

Tabela XI: CR com custo de gestão superior ao do modelo actual, segundo o modelo MC.

CR	Resultados do Modelo MC								Variação relativamente ao Modelo Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
4	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	1 564	18 125	24 009	1 564	0	82
5	2: AC/B/E	UTV 7 / UTV 6 / UTV 1	6	6 480	7 968	36 586	51 034	7 968	2	-5
7	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	91	4 252	6 503	91	0	-19
8	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	12	1 543	3 715	12	1	-44
9	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	11	1 108	3 279	11	2	-44
10	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	4 648	29 208	36 016	4 648	1	-3
15	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	3 533	14 848	22 701	3 533	6	75
24	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	25	1 900	4 085	25	2	-45
26	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	589	7 810	10 559	589	5	22
35	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	6	769	2 935	6	1	-68
37	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	356	1 745	4 261	356	1	124
42	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	756	8 247	11 164	756	4	10
47	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	3 693	17 519	25 532	3 693	1	22
50	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	840	7 245	10 245	840	0	6
61	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4	4 320	1 691	17 469	23 480	1 691	1	2920

Tabela XII: Análise comparativa entre os resultados do modelo actual e do modelo MC para os CR com resultados imprevisos.

CR	Modelo	Cenário	UTV(s) Destino	Custo Contendor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Nº médio de transportes
4	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	858	20 949	23 967	26
	MC	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4 320	1 564	18 125	24 009	14,0
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	UTV 6	2 160	456	21 796	24 412	13,8
5	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	8 401	39 616	50 177	31
	MC	2: AC/B/E	UTV 7 / UTV 6 / UTV 1	6 480	7 968	36 586	51 034	41,7
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	UTV 6	2 160	11 030	40 913	54 104	41
7	Actual	ACE	UTV 6	2 160	112	4 210	6 482	7
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	91	4 252	6 503	5,7
8	Actual	ACE	UTV 6	2 160	21	1 486	3 667	3
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	12	1 543	3 715	1,7
9	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	19	1 035	3 214	1
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	11	1 108	3 279	0,6
10	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	4 810	28 635	35 605	37
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	4 648	29 208	36 016	35,8
15	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	2 016	17 280	21 456	12
	MC	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4 320	3 533	14 848	22 701	16,6
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	UTV 6	2 160	2 771	18 010	22 940	16

CR	Modelo	Cenário	UTV(s) Destino	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Nº médio de transportes
24	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	46	1 791	3 997	2
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	25	1 900	4 085	1,1
26	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	485	7 428	10 073	5
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	589	7 810	10 559	6,1
35	Actual	BCE	UTV 6	2 160	20	719	2 899	1
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	6	769	2 935	0,3
37	Modelo Actual	CE/BCE	UTV 1 / UTV 5	2 160	159	1 909	4 228	2
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	356	1 745	4 261	1,5
42	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	690	7 856	10 706	4
	MC	6: ABCE	UTV 6	2 160	756	8 247	11 164	5,5
47	Actual	ABCE	UTV 6	2 160	3 024	20 165	25 349	18
	MC	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4 320	3 693	17 519	25 532	16,8
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	UTV 6	2 160	2 817	20 959	25 936	17
50	Actual	ABCE	UTV 5	2 160	790	7 245	10 195	5
	MC	6: ABCE	UTV 5	2 160	840	7 245	10 245	5,3
61	Actual	BCE	UTV 6	2 160	56	21 093	23 309	16
	MC	4: ABC/E	UTV 6 / UTV 1	4 320	1 691	17 469	23 480	15,0
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	UTV 6	2 160	53	22 180	24 393	15

Tabela XIII: Resultados do modelo MD.

CR	Resultados do Modelo								Variação relativamente à Situação Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
1	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	0	1 266 454	1 268 614	0	0	0
2	4: ABC/E	UTV 2 / UTV 5	4	4 320	6 666	250 742	261 727	6 666	20	-72
3	4: ABC/E	UTV 2 / UTV 5	4	4 320	5 915	249 706	259 941	5 915	27	-33
4	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	445	21 267	26 032	445	9	-48
5	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	6 168	40 910	51 398	6 168	2	-27
6	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	11 642	71 520	87 482	11 642	-5	-27
7	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	91	4 575	6 826	91	5	-19
8	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	12	1 559	3 730	12	2	-44
9	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	11	1 040	3 210	11	0	-44
10	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	4 472	29 017	37 809	4 472	6	-7
11	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	2 610	35 227	42 157	2 610	-8	-22
12	3: AC/BE	UTV 9 / UTV 5	4	4 320	5 424	161 144	170 887	5 424	-8	-84
13	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	22 314	152 058	178 692	22 314	0	-25
14	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	13 297	418 948	434 405	13 297	3	1
15	3: AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	2 507	17 576	24 403	2 507	14	24
16	2: AC/B/E	UTV 10 / UTV 5 / UTV 1	6	6 480	5 241	30 278	41 999	5 241	-5	12
17	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	117	100 524	104 962	117	0	-43

CR	Resultados do Modelo								Variação relativamente à Situação Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
18	4: ABC/E	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	228	15 424	19 972	228	-24	-92
19	3: AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	2 873	33 602	40 795	2 873	9	1
20	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	4 770	43 803	52 893	4 770	-3	21
21	4: ABC/E	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	78	1 235	5 633	78	56	-71
22	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	434	8 885	13 638	434	-8	-57
23	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	35	4 923	9 278	35	30	-22
24	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	25	1 815	4 000	25	0	-45
25	6: ABCE	UTV 4	2	2 160	0	0	2 160	0	0	0
26	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	448	7 514	12 282	448	22	-8
27	2: AC/B/E	UTV 3 / UTV 5 / UTV 1	6	6 480	2 487	25 961	34 928	2 487	-21	-47
28	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	369	27 704	30 233	369	-4	-60
29	3: AC/BE	UTV 2 / UTV 5	4	4 320	682	14 245	19 248	682	5	-38
30	4: ABC/E	UTV 5 / UTV 1	4	4 320	1 506	25 156	30 983	1 506	-6	-3
31	5: ACE/B	UTV 2 / UTV 5	4	4 320	564	4 113	8 997	564	25	-15
32	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	393	3 348	8 061	393	14	-47
33	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	343	10 739	15 402	343	18	-68
34	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	797	13 396	18 513	797	-9	-49
35	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	6	722	2 888	6	0	-68

CR	Resultados do Modelo								Variação relativamente à Situação Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
36	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	0	419 232	421 392	0	0	0
37	4: ABC/E	UTV 5 / UTV 1	4	4 320	119	2 170	6 609	119	56	-25
38	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	760	7 799	12 879	760	14	-10
39	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	4 743	47 163	54 065	4 743	0	2
40	4: ABC/E	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	282	4 927	9 529	282	39	-67
41	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 5	4	4 320	943	9 970	15 233	943	5	61
42	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	589	8 250	13 160	589	23	-15
43	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	0	49 142	51 302	0	4	0
44	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	2 216	27 044	33 580	2 216	-4	-41
45	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	2 645	280 925	287 890	2 645	0	22
46	3: AC/BE	UTV 9 / UTV 5	4	4 320	3 117	102 746	110 183	3 117	-4	-59
47	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	2 582	20 344	27 247	2 582	7	-15
48	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	3 809	28 192	36 320	3 809	-13	-6
49	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	576	3 465	8 361	576	12	59
50	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	725	6 064	11 109	725	9	-8
51	3: AC/BE	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	2 306	20 356	26 982	2 306	-30	16
52	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	3 237	53 946	61 503	3 237	5	-11
53	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	2 259	29 030	35 609	2 259	3	-44

CR	Resultados do Modelo								Variação relativamente à Situação Actual (2009)	
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
54	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	1 218	9 358	12 736	1 218	-2	-21
55	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	2 087	21 164	27 571	2 087	-7	-27
56	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	1 527	16 857	22 705	1 527	-4	25
57	3: AC/BE	UTV 2 / UTV 5	4	4 320	1 792	30 255	36 368	1 792	3	-36
58	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	390	5 063	7 612	390	-4	-25
59	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	205	7 660	10 025	205	-1	-22
60	3: AC/BE	UTV 2 / UTV 5	4	4 320	342	9 954	14 616	342	7	-19
61	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	53	21 695	23 908	53	3	-6
62	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	1 941	52 441	56 543	1 941	-2	-37
63	4: ABC/E	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	37	878	5 235	37	73	-75
64	3: AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	4 056	42 244	50 620	4 056	0	3
65	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 5	4	4 320	1 173	11 410	16 902	1 173	-3	-5
66	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	1 717	11 117	17 155	1 717	-5	-5
67	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	1 812	107 704	113 836	1 812	0	2
TOTAL				257 040	152 228	4 563 692	4 972 960	152 228	2	-35

Tabela XIV: CR com distância percorrida superior à do modelo actual, segundo o modelo MD.

CR	Resultados do Modelo							Variação relativamente ao Modelo Actual (2009)		
	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)	Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)	Distância média percorrida (km/ano)	Custo de Gestão (%)	Distância média percorrida (%)
14	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	13 297	418 948	434 405	13 297	3	1
15	3: AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	2 507	17 576	24 403	2 507	14	24
16	2: AC/B/E	UTV 10 / UTV 5 / UTV 1	6	6 480	5 241	30 278	41 999	5 241	-5	12
19	3: AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	2 873	33 602	40 795	2 873	9	1
20	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	4 770	43 803	52 893	4 770	-3	21
39	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	4 743	47 163	54 065	4 743	0	2
41	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 5	4	4 320	943	9 970	15 233	943	5	61
45	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	2 645	280 925	287 890	2 645	0	22
49	3: AC/BE	UTV 4 / UTV 5	4	4 320	576	3 465	8 361	576	12	59
51	3: AC/BE	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	2 306	20 356	26 982	2 306	-30	16
56	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	4	4 320	1 527	16 857	22 705	1 527	-4	25
64	3: AC/BE	UTV 10 / UTV 6	4	4 320	4 056	42 244	50 620	4 056	0	3
67	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	4	4 320	1 812	107 704	113 836	1 812	0	2

Tabela XV: Análise comparativa entre os resultados do modelo actual e do modelo MD para os CR com resultados imprevistos.

CR	Modelo	Cenário	Nº médio de transportes	Distância média percorrida (km/ano)	Varição da distância percorrida relativamente ao Modelo Actual (2009)
14	Actual	ABCE	375	13 125	
	MC	6: ABCE	379,9	13 297	1
15	Actual	ABCE	12	2 016	
	MC	3: AC/BE	16,5	2 507	24
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	16,5	2 771	
16	Actual	AC/BE	25	4 663	
	MC	2: AC/B/E	31,4	5 241	12
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	3: AC/BE	30,7	5 547	
19	Actual	ABCE	23	2 852	
	MC	3: AC/BE	28,8	2 873	1
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	28,8	3 567	
20	Actual	ABCE	23	3 956	
	MC	3: AC/BE	31,1	4 770	21
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	30,7	5 279	
39	Actual	BCE	27	4 671	
	MC	6: ABCE	27,4	4 743	2
41	Actual	ABCE	4	584	
	MC	3: AC/BE	7,6	943	61

CR	Modelo	Cenário	Nº médio de transportes	Distância média percorrida (km/ano)	Varição da distância percorrida relativamente ao Modelo Actual (2009)
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	7,5	1 102	
45	Actual	AC/BE	70	2 166	
	MC	3: AC/BE	424,4	2 645	22
49	Actual	BCE	2	362	
	MC	3: AC/BE	3,3	576	59
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	3,3	593	
51	Actual	ABCE	22	1 980	
	MC	3: AC/BE	26,3	2 306	16
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	25,9	2 335	
56	Actual	ABCE	7	1 225	
	MC	3: AC/BE	12,2	1 527	25
	MC (cenário equivalente ao Modelo Actual)	6: ABCE	12,1	1 708	
64	Actual	AC/BE	29	3 936	
	MC	3: AC/BE	33,3	4 056	3
67	Actual	AC/BE	74	1 770	
	MC	3: AC/BE	78,1	1 812	2

Tabela XVI: Análise dos CR cujos resultados dos modelos coincidem.

CR	Cenário	UTV Destino	Nº Contentores	Custo Contentor (€/ano) (a)	Custo Transporte (€/ano) (b)	Custo Tratamento (€/ano) (c)		Custo de Gestão (€/ano) (a) + (b) + (c)		Distância média percorrida (km/ano)
						Modelo MC	Modelo MD	Modelo MC	Modelo MD	
1	6: ABCE	UTV 1	2	2 160	0	1 266 454	1 266 454	1 268 614	1 268 614	0
7	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	91	4 252	4 575	6 503	6 826	91
8	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	12	1 543	1 559	3 715	3 730	12
9	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	11	1 108	1 040	3 279	3 210	11
24	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	25	1 900	1 815	4 085	4 000	25
25	6: ABCE	UTV 4	2	2 160	0	0	0	2 160	2 160	0
35	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	6	769	722	2 935	2 888	6
44	3: AC/BE	UTV 7 / UTV 6	4	4 320	2 216	27 713	27 044	34 249	33 580	2 216
48	5: ACE/B	UTV 1 / UTV 5	4	4 320	3 809	28 192	28 192	36 320	36 320	3 809
54	6: ABCE	UTV 5	2	2 160	1 218	9 358	9 358	12 736	12 736	1 218
58	6: ABCE	UTV 6	2	2 160	390	5 351	5 063	7 901	7 612	390

Tabela XVII: Análise aos CR que correspondem a UTV.

CR	UTV	Cenário			UTV(s) Destino			Custo de Gestão (€/ano)			Distância média percorrida (km/ano)		
		2009	Modelo MC	Modelo MD	2009	Modelo MC	Modelo MD	2009	Modelo MC	Modelo MD	2009	Modelo MC	Modelo MD
1	1	ACE	6: ABCE	6: ABCE	UTV 1	UTV 1	UTV 1	1 268 614	1 268 614	1 268 614	0	0	0
3	2	AC/E	4: ABC/E	4: ABC/E	UTV 2 / UTV 1	UTV 2 / UTV 1	UTV 2 / UTV 5	204 402	203 781	259 941	8 806	8 185	5 915
17	3	AC/BE	6: ABCE	3: AC/BE	UTV 3 / UTV 6	UTV 6	UTV 3 / UTV 6	105 051	97 506	104 962	207	10 657	117
25	4	A	6: ABCE	6: ABCE	UTV 4	UTV 4	UTV 4	2 160	2 160	2 160	0	0	0
36	5	ABCE	5: ACE/B	6: ABCE	UTV 5	UTV 1 / UTV 5	UTV 5	421 392	321 267	421392	0	5 887	0
43	6	ABCE	4: ABC/E	6: ABCE	UTV 6	UTV 6 / UTV 1	UTV 6	49 316	48 354	51 302	0	2 585	0
44	7	AC/BE	3: AC/BE	3: AC/BE	UTV 7 e UTV 8 / UTV 6	UTV 7 / UTV 6	UTV 7 / UTV 6	35 107	34 249	33 580	3 743	2 216	2 216
45	8	AC/BE	1: A/B/C/E	3: AC/BE	UTV 8 / UTV 6	UTV 8 / UTV 6 / UTV 6 / UTV 1	UTV 8 / UTV 6	287 411	261 292	287 890	2 166	16 704	2 645
46	9	AC/BE	2: AC/B/E	3: AC/BE	UTV 9 e UTV 8 / UTV 5	UTV 2 / UTV 5 / UTV 1	UTV 9 / UTV 5	114 716	93 857	110 183	7 650	4 076	3 117
65	10	ABCE	6: ABCE	3: AC/BE	UTV 5	UTV 6	UTV 3 / UTV 5	17 448	14 473	16 902	1 232	1 476	1 173