

UNIVERSIDADE ABERTA



UNIVERSIDADE
AbERTA
www.uab.pt

**Aplicação de uma ferramenta de Análise de Ciclo de Vida no
planeamento da gestão integrada de resíduos urbanos:
estudo de caso da Lipor**

Alexandre Ventura Miranda Ferreira

Trabalho de Projeto

Mestrado em Cidadania Ambiental e Participação

Orientação: Professora Doutora Ana Paula Teixeira Martinho

Co-orientação: Professora Doutora Sandra Sofia Ferreira da Silva Caeiro

2015

RESUMO

A utilização da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV), como ferramenta de apoio à tomada de decisão e à avaliação dos impactos gerados, tem adquirido cada vez mais importância como uma metodologia objetiva e fiável. Com base neste pressuposto, o principal objetivo deste estudo consiste em aplicar uma metodologia de ACV à gestão de resíduos, tendo como referência o estudo de caso da **Lipor** - Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto. Este trabalho teve como base a análise ambiental aos impactos gerados pelo Sistema Integrado de Gestão de Resíduos (SIGR) da Lipor, analisando-se o desenvolvimento de dois cenários, tendo em consideração as orientações e metas definidas no atual Plano Estratégico de Resíduos Urbanos (PERSU).

Nesta investigação foram utilizados dois *softwares*: **LCA-IWM** - *Life Cycle Assessment Integrated Waste Management* e o **WAMPS** - *Waste Management Planning System*. Através do *software* LCA-IWM, desenvolveu-se uma previsão para a produção de resíduos para o ano de 2020. Os resultados obtidos em ambos os *softwares* foram analisados e comparados tendo em consideração 4 categorias de impacto: aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes. Concluiu-se neste trabalho, dentro das limitações estabelecidas e independentemente do *software* utilizado, que o cenário em que são atingidas as metas definidas no PERSU 2020 é aquele que apresenta um melhor desempenho ambiental.

Com o objetivo de apresentar os principais resultados obtidos neste trabalho, desenvolveu-se um grupo focal, em que participaram técnicos e especialistas que trabalham na Lipor, pretendendo-se com esta metodologia participativa disseminar o conhecimento resultante deste trabalho e obter *feedback* relativamente aos resultados obtidos e às ferramentas de ACV utilizadas.

Palavras Chave: Resíduos Urbanos; Análise de Ciclo de Vida; Categorias de Impacte; Software WAMPS; Software LCA IWM; Lipor.

ABSTRACT

The use of Life Cycle Assessment (LCA) methodology as a support tool for decision-making and for the evaluation of generated impacts has gained increasing importance as an objective and reliable methodology. Therefore, the aim of this study is to apply a LCA methodology to waste management, using as a reference the case study of Lipor - Intermunicipal Waste Management of Greater Porto. This work was based on the environmental analysis of the impacts generated by the Integrated Waste Management of Lipor, analyzing the development of two scenarios, taking into account the guidelines and targets set in the current Strategic Plan for Urban Waste.

In this investigation two different software programs were used: LCA-IWM - Life Cycle Assessment Integrated Waste Management and WAMPS - Waste Management Planning System. Through the LCA-IWM software, a forecast for the production of waste was developed for the year 2020. The results of both programs were analyzed and compared considering four impact categories: global warming, acidification, eutrophication and photo oxidant formation. In conclusion to this work, within the established limitations and regardless of the software used, the scenario, in which the targets set in the Strategic Plan for Urban Waste 2020 are achieved, is the one that has the best environmental performance.

In order to present the main results of this study, a focus group was developed, in which technicians and specialists of Lipor participated, with the intention of disseminating the knowledge resulting from this work and getting feedback on the obtained results and LCA tools used.

Keywords: Municipal Waste; Life Cycle Assessment; Categories of impact; WAMPS Software; LCA-IWM Software; Lipor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Professora Ana Paula Martinho pela orientação prestada na realização deste trabalho, pela sua disponibilidade, pelo seu apoio científico e pelo seu incentivo, paciência e compreensão.

À Professora Sandra Caeiro, agradeço a sua coorientação, os seus ensinamentos e o rigor e objetividade que acrescentaram valor a este trabalho.

Um agradecimento também para todos os colegas que na Lipor me ajudaram nas várias fases desta investigação, quer na recolha e análise de dados quer no apoio e incentivo para a conclusão deste trabalho.

Agradeço também à minha família, em especial à Patrícia, que sempre me apoiou e incentivou ao longo de todo o mestrado.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Capítulo I - Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 3 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.3. Organização e estrutura do trabalho | 4 |
| | |
| Capítulo II - A Gestão de Resíduos Urbanos em Portugal | 7 |
| 2.1. Evolução e Organização dos Sistemas de Gestão de Resíduos em Portugal | 9 |
| 2.2. Planos e Legislação..... | 13 |
| 2.2.1. O PERSU I | 14 |
| 2.2.2. O PERSU II | 16 |
| 2.2.3. O PPRU..... | 20 |
| 2.2.4. Regime Geral da Gestão de Resíduos..... | 21 |
| 2.2.5. O PERSU 2020 | 22 |
| 2.3. Indicadores atuais de gestão de RU: produção e metas..... | 25 |
| | |
| Capítulo III – Enquadramento e Conceitos sobre Ferramentas de Análise de Ciclo de Vida..... | 27 |
| 3.1. Enquadramento | 29 |
| 3.2. Descrição da metodologia de ACV | 31 |
| 3.3. Vantagens e limitações da ACV..... | 36 |
| 3.4. Aplicação de ferramentas de ACV à gestão de resíduos..... | 37 |
| | |
| Capítulo IV – Apresentação do Estudo de Caso - Lipor | 43 |
| 4.1. Organização do SIGR da Lipor | 45 |
| 4.2. Caracterização da área Lipor | 47 |

| | |
|--|----|
| 4.3. Infraestruturas e Unidades Operacionais | 49 |
| 4.4. Gestão de Resíduos na Lipor | 51 |
| 4.5. Caracterização dos equipamentos, sistemas de deposição e transporte | 53 |
| 4.6. Situação atual, desafios futuros..... | 57 |
| | |
| Capítulo V – Métodos..... | 59 |
| 5.1. Enquadramento | 61 |
| 5.2. Caracterização e descrição dos <i>Softwares</i> utilizados..... | 61 |
| 5.2.1. Software LCA-IWM “Life Cycle Assessment – Integrated Waste Management” | 64 |
| 5.2.2. Software WAMPS - Waste Management Planning System..... | 65 |
| 5.3. Dados utilizados na ACV..... | 67 |
| 5.3.1. Ferramenta LCA-IWM..... | 67 |
| 5.3.2. Ferramenta WAMPS..... | 71 |
| 5.4. Definição e modelação de cenários | 72 |
| 5.5. Preparação do Grupo Focal..... | 73 |
| | |
| Capítulo VI – Resultados e Discussão..... | 77 |
| 6.1. Resultados do <i>Software</i> LCA-IWM | 79 |
| 6.2. Resultados do <i>Software</i> WAMPS | 83 |
| 6.3. Comparação e validação dos resultados das duas abordagens de ACV | 88 |
| 6.4. Resultados do Grupo Focal | 91 |
| | |
| Capítulo VII – Conclusões..... | 93 |
| 7.1. Síntese | 95 |
| 7.2. Limitações | 96 |
| 7.3. Propostas de desenvolvimentos futuros | 97 |

| | |
|--|-----|
| Referências Bibliográficas | 99 |
| Anexo A – Composição física dos RU na área da Lipor | 105 |
| Anexo B – Informação obtida no IVL - Swedish Environmental Research Institute | 109 |
| Anexo C – Resultados obtidos no <i>software</i> LCA-IWM: <i>prognostic tool</i> | 113 |
| Anexo D – Resultados obtidos no <i>software</i> LCA-IWM: <i>waste management system assessment tool</i> | 119 |
| Anexo E – Informação introduzida no <i>software</i> WAMPS | 123 |
| Anexo F – Resultados obtidos no <i>software</i> WAMPS..... | 129 |
| Anexo G – Apresentação Grupo Focal | 135 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 2.1 – Infraestruturas de gestão de RU | 12 |
| TABELA 2.2 – Destino final dos resíduos em Portugal nos anos de 1995 e 1999 | 15 |
| TABELA 2.3 – Objetivos de gestão de resíduos em Portugal | 19 |
| TABELA 2.4 – Metas a atingir por cada Sistema de Gestão de RU em Portugal continental para 2020 | 24 |
| | |
| TABELA 3.1 – Lista de categorias de impacte para AICV | 34 |
| TABELA 3.2 – Descrição de alguns <i>softwares</i> de ACV aplicados à gestão de resíduos | 40 |
| | |
| TABELA 4.1 – Principais características dos municípios da área Lipor - Ano 2013 | 48 |
| TABELA 4.2 – Descrição da Unidade Operacionais do SIGR da Lipor | 49 |
| TABELA 4.3 – Dados relativos às descargas e quantidades por unidades de tratamento | 54 |
| TABELA 4.4 – Capacidade instalada ao nível da Recolha Seletiva Multimaterial | 55 |
| TABELA 4.5 – Capacidade instalada ao nível da Recolha Seletiva de Resíduos Orgânicos | 56 |
| TABELA 4.6 – Capacidade instalada ao nível da Recolha Indiferenciada | 56 |
| TABELA 4.7 – Objetivos definidos no PERSU 2020 e situação em 2013 | 58 |
| | |
| TABELA 5.1 – Elementos utilizados no cálculo dos impactes ambientais | 65 |
| TABELA 5.2 – Informação Introduzida no <i>software</i> LCA-IWM <i>Prognostic Tool</i> | 68 |
| TABELA 5.3 – Informação Introduzida no <i>software</i> LCA-IWM <i>Assessment Tool</i> | 70 |
| TABELA 5.4 – Informação Introduzida no <i>software</i> WAMPS | 71 |
| TABELA 5.5 – Comparação dos cenários definidos: quantidades e processos de gestão e tratamento | 73 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 6.1 – Tabela de resultados para a situação de referência e cenários, por <i>software</i> e por categorias de impacte | 88 |
| TABELA A.1 – Composição física média dos RU indiferenciados na área da Lipor no ano de 2013 | 107 |
| TABELA C.1 – Estimativa de produção de resíduos urbanos para a área Lipor | 115 |
| TABELA C.2 – Previsão de cenários de recolha de resíduos urbanos para a área Lipor | 116 |
| TABELA C.3 – Previsão de desempenho ao nível da recolha seletiva na área Lipor | 117 |
| TABELA D.1 – Resultados obtidos no <i>software</i> LCA-IWM por categoria de impacte | 121 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1 - Sistemas de Gestão de Resíduos em Portugal | 9 |
| FIGURA 2.2 – Evolução da produção de RU vs capitação anual | 11 |
| FIGURA 2.3 - Comparação das metas do PERSU I com a situação no referido ano | 15 |
| FIGURA 2.4 – Produção de RU e PIB apereços de 2006, em Portugal continental | 25 |
| FIGURA 2.5 – Produção e capitação de RU em Portugal continental | 26 |
| FIGURA 2.6 – Destino direto dos RU em Portugal continental | 26 |
| | |
| FIGURA 3.1 – Representação das fases de ACV de um produto | 29 |
| FIGURA 3.2 – Representação esquemática das fases de uma ACV e suas aplicações | 31 |
| FIGURA 3.3 – Representação esquemática dos procedimentos simplificados para análise do ICV | 33 |
| FIGURA 3.4 – Elementos da fase de AICV | 35 |
| | |
| FIGURA 4.1 – Áreas de Certificação da Lipor | 45 |
| FIGURA 4.2 – SIGR - Sistema Integrado de Gestão de Resíduos Lipor | 46 |
| FIGURA 4.3 – SIGR Lipor e localização de infraestruturas | 47 |
| FIGURA 4.4 – Composição física dos resíduos por categorias | 51 |
| FIGURA 4.5 – Evolução Produção anual de RU | 52 |
| FIGURA 4.6 – Balanço de massas do SIGR da Lipor – ano 2013 | 53 |
| FIGURA 4.7 – Tipos de equipamentos para Recolha Seletiva: a) Ecoponto tipo <i>Cyclea</i> , b) Contentor Subterrâneo tipo <i>Subtainer</i> | 55 |
| FIGURA 4.8 – Tipos de equipamentos para Recolha Seletiva de Resíduos Orgânicos: a) Contentor de 50 l b) Contentor 800 l | 56 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 4.9 – Tipos de equipamentos para Recolha Indiferenciada a) Contentor Subterrâneo tipo Molock b) Contentor 800 l | 57 |
| FIGURA 5.1 – Definição das fronteiras na ACV com o software LCA-IWM | 62 |
| FIGURA 6.1 – Categorias gerais de impacte obtidas no software LCA-IWM para a situação de referência e para os cenários em estudo | 77 |
| FIGURA 6.2 – Impacte acidificação para a situação de referência e cenários e por operação | 78 |
| FIGURA 6.3 – Impacte eutrofização para a situação de referência e cenários e por operação | 79 |
| FIGURA 6.4 – Impacte aquecimento global para a situação de referência e cenários e por operação | 80 |
| FIGURA 6.5 – Impacte formação de foto oxidantes para a situação de referência e cenários e por operação | 80 |
| FIGURA 6.6 – Categorias gerais de impacte obtidas no <i>software</i> WAMPS para a situação de referência e para os cenários em estudo | 81 |
| FIGURA 6.7 – Impacte acidificação para a situação de referência e cenários e por operação | 82 |
| FIGURA 6.8 – Impacte eutrofização para a situação de referência e cenários e por operação | 83 |
| FIGURA 6.9 – Impacte aquecimento global para a situação de referência e cenários e por operação | 84 |
| FIGURA 6.10 – Impacte formação de foto oxidantes para a situação de referência e cenários e por operação | 85 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV - Análise Ciclo de Vida

AICV - Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CDR - Combustíveis Derivados de Resíduos

EPA - *United States Environmental Protection Agency*

INE - Instituto Nacional de Estatística

ISO - *International Organization for Standardization*

LCA-IWM - *Life Cycle Assessment Integrated Waste Management*

Lipor - Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto

PERSU - Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

PPRU - Plano de Prevenção de Resíduos Urbanos

RS - Recolha Seletiva

RU - Resíduos Urbanos

RUB - Resíduos Urbanos Biodegradáveis

SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

SGRU - Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos

SIGR - Sistema Integrado de Gestão de Resíduos

TM - Tratamento Mecânico

TMB - Tratamento Mecânico e Biológico

WAMPS - *Waste Management Planning System*

Capítulo I - Introdução

1.1. Enquadramento

Os problemas ambientais associados à produção de **resíduos urbanos (RU)** são uma realidade que acompanha o desenvolvimento humano, e que hoje se apresenta como um dos maiores desafios que a humanidade tem que ultrapassar, recorrendo à promoção de políticas adequadas que visem o objetivo comum do desenvolvimento sustentável nos seus três principais pilares: ambiental, social e económico.

As operações de deposição, recolha, transporte, armazenamento e tratamento de RU são as principais componentes de qualquer SIGR (Sistema Integrado de Gestão de Resíduos), influenciando decisivamente qualquer estratégia que se pretenda implementar, uma vez que estas operações para além de sequenciais são interdependentes. A hierarquia da gestão de resíduos é uma orientação estratégica de referência para a gestão dos resíduos, tendo por base as melhores práticas disponíveis, devidamente alinhadas com a mais recente legislação Nacional e Europeia. É nesta perspetiva em que os resíduos são cada vez mais encarados como recursos resultando de uma estratégia que pretende potenciar ao máximo a valorização dos RU.

Os processos associados ao planeamento e gestão de resíduos, desempenham um papel essencial para a avaliação, análise e monitorização das soluções implementadas na gestão dos resíduos. Para que essa avaliação possa ser realizada de uma forma rigorosa e transparente as ferramentas de **avaliação/análise do ciclo de vida (ACV)** apresentam-se como uma mais-valia para esta área, quer pela sistematização de impactes associados à gestão de resíduos, quer pela possibilidade de comparação e modelação de cenários com soluções variadas.

Este trabalho foi aplicado ao estudo de caso da Associação de Municípios Lipor, enquanto entidade responsável pela gestão e valorização de cerca de 12 % dos RU produzidos em Portugal continental. A associação poderá beneficiar dos resultados obtidos com aplicação desta ferramenta uma vez que será possível verificar qual o impacte associado à sua atividade. Por outro lado, será possível utilizar a ferramenta na previsão e modelação do sistema, permitindo assim uma análise fundamentada às diferentes variáveis. Deverá

ainda referir-se que a própria metodologia e natureza científica destas ferramentas contribuem para uma credibilização dos casos onde são aplicadas.

1.2. Objetivos

Com o desenvolvimento da presente investigação pretende-se atingir o objetivo geral de aplicar uma metodologia de ACV à gestão de RU no SIGR da Lipor, com vista a propor melhorias no sistema e avaliar a aplicabilidade desta metodologia na gestão de RU.

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Caracterização do SIGR da Lipor, quanto à produção e tratamento de resíduos, com base numa ACV;
- Desenvolver uma base de referência de atuação, com base nos resultados obtidos na previsão de produção de resíduos;
- Apresentar os resultados obtidos num grupo focal com os técnicos da Lipor envolvidos no SIGR, com o objetivo de obter feedback deles e incorporar essa análise na proposta de melhoria do sistema;
- Identificar e analisar os fatores mais relevantes que têm influência sobre os cenários em estudo e propor as respetivas melhorias para o sistema.

1.3. Organização e estrutura do trabalho

Com base em suportes teóricos organizaram-se as matérias e os conteúdos constituintes dos diferentes capítulos:

No presente capítulo, desenvolve-se a contextualização da temática apresentando-se a organização e objetivos do trabalho. Nos capítulos II e III, efetua-se a revisão da literatura relativamente à gestão de resíduos e às metodologias e ferramentas de ACV, e a sua

aplicação ao setor dos resíduos. No capítulo IV, apresenta-se o estudo de caso em que foi desenvolvida a metodologia de ACV. O capítulo V, é dedicado à descrição dos métodos, com a apresentação dos *softwares* e cenários utilizados. Os resultados obtidos e a respetiva discussão são apresentados no capítulo VI. No capítulo VII, estão registadas as principais conclusões e recomendações futuras.

Capítulo II - A Gestão de Resíduos Urbanos em Portugal

2.1. Evolução e Organização dos Sistemas de Gestão de Resíduos em Portugal

A evolução da gestão de resíduos em Portugal ao longo das últimas três décadas permitiu que os resíduos urbanos começassem a ser tratados de uma forma integrada e ambientalmente mais favorável. Após a publicação da primeira lei-quadro dos resíduos em 1985, e subsequente legislação ambiental entretanto produzida, teve início o processo de encerramento das lixeiras que terminou por volta do ano 2000. Com a aplicação progressiva de legislação mais exigente na matéria dos resíduos, verificou-se a necessidade dos municípios e regiões se organizarem com o objetivo de assim poderem ganhar dimensão e, ao mesmo tempo, conseguirem reduzir custos e otimizar os recursos na gestão dos resíduos.

Atualmente em Portugal estão implementados dois modelos institucionais de gestão de RU (figura 2.1). Os Sistemas Multimunicipais que resultam da atribuição pelo Estado a sociedades concessionárias de capitais maioritariamente públicos, e os Sistemas Intermunicipais poderão ter operação direta dos municípios, ou indireta de uma entidade pública ou privada de natureza empresarial (Alves & Monteiro, 2009).



FIGURA 2.1 - Sistemas de Gestão de RU em Portugal (Fonte: MAOTE, 2013).

De acordo com os dados do Relatório de Estado do Ambiente 2013 (APA, 2013b), no ano de 2012 existiam 23 Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU), cobrindo a totalidade do território continental, sendo 12 multimunicipais e 11 intermunicipais. Cada um destes sistemas possui infraestruturas para assegurar um destino final adequado para os RU produzidos na área respetiva.

Os Sistemas de Gestão de Resíduos são as entidades responsáveis pela gestão e exploração dos resíduos urbanos num determinado Município ou conjunto de Municípios. A sua função é definir a estratégia ideal, integrando os princípios de preservação ambiental e do interesse público, para encaminhamento dos resíduos para tratamento, devendo aplicar-se as indicações preconizadas na legislação, mais especificamente a hierarquia dos resíduos – Prevenção, Reciclagem, Valorização, Deposição em Aterro.

São igualmente responsáveis por projetar, dimensionar e gerir as infraestruturas de valorização e destino final dos resíduos, como as estações de triagem, as unidades de valorização orgânica, as unidades de valorização energética, os aterros sanitários, entre outros (Lipor, 2009).

Para que os sistemas possam cumprir com as suas atribuições existem elementos essenciais que devem ser tidos em consideração nas opções de gestão como a produção de resíduos e a respetiva capitação.

Assim, de acordo com os dados apresentados na figura 2.2, podemos concluir que em 2013 verificou-se um decréscimo na capitação registada em Portugal continental com um valor de 439 Kg/hab.ano, o que corresponde a uma produção diária aproximada de 1,20 Kg/hab.dia.

Relativamente à produção total de resíduos mantém-se a tendência de descida com cerca de 4,4 milhões de toneladas produzidas em 2013, o que representa uma redução de quase 11% comparativamente com o ano de 2011.

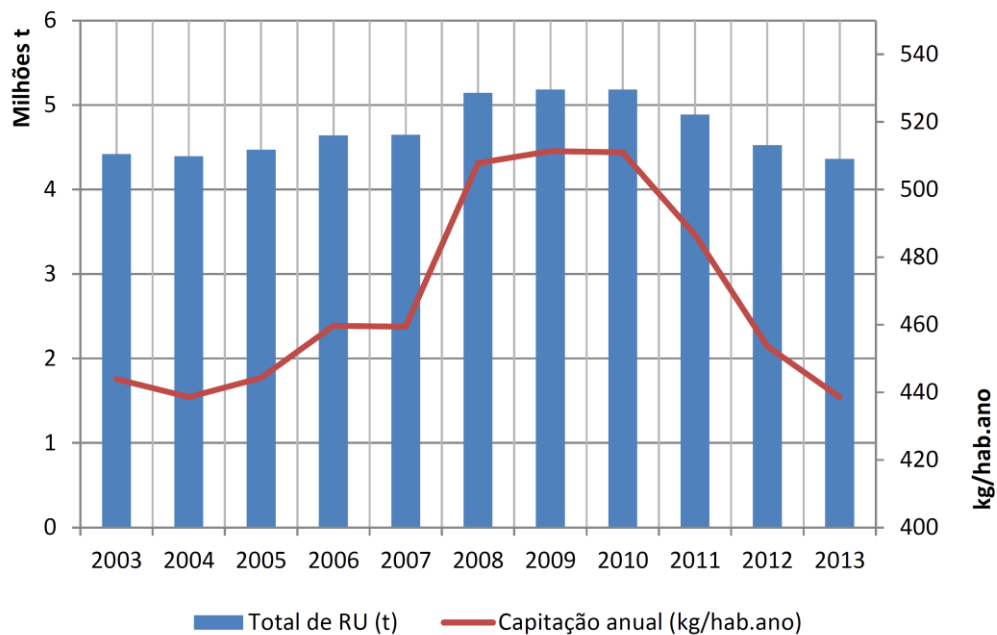


FIGURA 2.2 – Evolução da produção de RU vs captação anual (Fonte: APA, 2014).

Outro aspeto relevante são as infraestruturas para a gestão de resíduos. Analisando os dados apresentados na tabela 2.1, podemos verificar a quantidade e tipologia de infraestruturas de gestão de resíduos disponíveis em cada um dos sistemas existentes em Portugal continental.

Podemos concluir que de uma forma geral as infraestruturas existentes atualmente respondem, de uma forma clara, às necessidades nacionais podendo no entanto ser encontradas algumas oportunidades de melhoria específicas em alguns sistemas.

Esta situação está expressa no PERSU 2020, na medida em que estão apenas previstas a construção de uma nova unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB), reconversão de duas unidades de Tratamento Mecânico (TM) em TMB.

Ainda no mesmo documento, está prevista a possibilidade de partilha de infraestruturas de gestão entre sistemas, que parece ser cada vez mais uma realidade tendo em consideração a diminuição na produção de resíduos, verificada a nível nacional, e as metas definidas para os diferentes SGRU.

2.2. Planos e Legislação

A normalização do setor dos resíduos iniciou-se com a publicação do Decreto Lei (DL) nº 488/85, de 25 de novembro, a primeira Lei-Quadro dos Resíduos, o qual veio definir as diversas competências e responsabilidades no domínio dos resíduos, quer a nível central, quer a nível local. Contudo, entre 1985 e 1995, a evolução baseou-se sobretudo no subsistema de recolha de RU, com um aumento substancial nos índices de população servida, comparativamente ao tratamento/eliminação, apesar da extensa publicação legislativa produzida, a maior parte por obrigação de transposição das diretivas da EU.

O PERSU I em 1997 e 10 anos depois o PERSU II, foram os documentos estratégicos que orientaram e suportaram toda a estratégia nacional de gestão de resíduos, sendo atualmente o PERSU 2020 (Portaria n.º 187-A/2014), o documento de referência no setor. Estes planos foram complementados por uma série de documentos legislativos que regularam o setor, nomeadamente:

- Regime Geral da Gestão dos Resíduos, aprovado pelo DL n.º 178/2006, de 5 de setembro, entretanto atualizado pelo DL 73/2011, de 17 de junho;
- Regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, e requisitos gerais a observar na conceção, construção, exploração, encerramento e pós encerramento de aterros, aprovado pelo DL n.º 183/2009, de 10 de Agosto;
- Objetivos de reciclagem e valorização, decorrentes das diretivas n.º 94/62/CE, de 20 de dezembro, e 2004/12/CE, de 11 de fevereiro, relativas à gestão de embalagens e resíduos de embalagens, transpostas para ordem jurídica interna pelos DL n.º 366-A/97, de 20 de dezembro, DL n.º 162/2000, de 27 de julho, e DL n.º 92/2006, de 25 de maio;
- Estratégia Nacional para o Desvio de Resíduos Urbanos Biodegradáveis de Aterro (ENRRUBDA) aprovada em 2003.

2.2.1. O PERSU I

A gestão de resíduos, teve no PERSU I, publicado em 1997, a primeira referência estratégica para o planeamento da gestão dos resíduos.

Neste documento, para além do diagnóstico da problemática dos resíduos em Portugal, são definidos objetivos temporais e quantitativos, com o propósito de se iniciar a gestão integrada dos resíduos:

- Encerramento das lixeiras inventariadas;
- Construção das infraestruturas necessárias para o tratamento de RU;
- Reforço acentuado da recolha seletiva e da reciclagem multimaterial (metas específicas para os anos 2000 e 2005, e objetivos qualitativos para o ano 2010).

De acordo com Martinho *et al.* (2011) por esta data, em quase todo o país as lixeiras constituíam o método de deposição mais utilizado (341 lixeiras municipais). O grande atraso em relação aos restantes países da UE e as graves disfunções ambientais causadas pela má gestão dos resíduos, conferiram, ao sector dos resíduos, prioridade em matéria de política ambiental, que se materializou na publicação, em 1997, do primeiro plano nacional para o setor dos RU.

Inicia-se a procura por soluções integradas de gestão, que visem a reutilização, a reciclagem, material e orgânica, e o eventual aproveitamento energético dos resíduos valorizáveis. O valor associado aos resíduos começa a ser percebido como uma mais-valia para a criação de novos mercados, de novas atividades produtivas e de novos empregos. Como consequência desta perceção verificou-se um forte investimento em meios técnicos, económicos e políticos para o encerramento e requalificação de todas as lixeiras e a criação de aterros sanitários, que obedecessem aos requisitos técnicos e legais capazes de garantir uma deposição ambiental e sustentável. Paralelamente, foram dados os primeiros passos de apoio à recolha seletiva e à reciclagem, o que exigiu também a construção de novas infraestruturas de suporte (Rodrigues, 2009).

O diagnóstico da situação existente em 1995 efetuado no PERSU I revelou uma situação bastante negativa em que a maior percentagem dos resíduos produzidos no país não tinha uma solução minimamente adequada em termos de destino final. Analisando os

dados reportados na tabela 2.2 é possível verificar que em 1995 a descarga de resíduos em lixeira era a situação predominante, em contraste com a evolução verificada em 1999, em que a deposição em aterro prevalecia, mas continuava-se a investir no destino final dos resíduos, sem subir na hierarquia dos mesmos.

TABELA 2.2 – Destino final dos RU em Portugal nos anos de 1995 e 1999

(Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.*, 2009)

| Ano | Processos | | | | |
|------|-------------|------------|-------------|---------------------|---------------------|
| | Compostagem | Reciclagem | Incineração | Deposição em Aterro | Descarga em lixeira |
| 1995 | 9 % | 0 % | 0 % | 5 % | 86 % |
| 1999 | 6 % | 1 % | 5 % | 71 % | 17 % |

Apesar do marco importante que foi o PERSU I, nem todos os objetivos e metas definidos foram atingidos. Na figura 2.3 podemos comparar as metas definidas e a situação verificada no ano de 2005 relativamente ao tratamento dos RU.

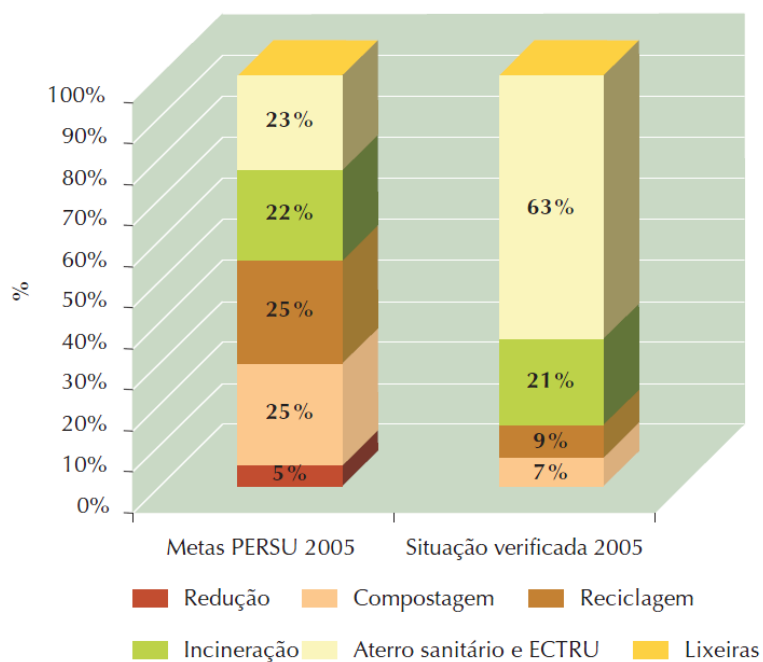


FIGURA 2.3 - Comparação das metas do PERSU I com a situação no referido ano (Fonte: MAOTDR, 2007)

Como referido no PERSU II, podem-se sistematizar os resultados do PERSU I da seguinte forma:

- A erradicação das lixeiras foi cumprida;
- Não se verificou a preconizada redução no ritmo de crescimento global da produção de RSU, apesar do mesmo se encontrar abaixo dos 3% ao ano previstos;
- A Reciclagem Multimaterial apresentou valores bastante inferiores aos objetivos traçados (25%), os dados apresentam um valor de 9%;
- Apenas 7% dos resíduos urbanos foram encaminhados para Valorização Orgânica, valor muito inferior aos 25% definidos;
- A Valorização Energética de resíduos apresentou um valor ligeiramente inferior ao previsto;
- Não houve a evolução prevista para as Estações de Confinamento Técnico de Resíduos Urbanos (ECTRU), sendo que 63% dos RSU produzidos foram depositados em Aterro Sanitário, valor muito superior aos 23% definidos.

2.2.2. O PERSU II

Em 2007, através da portaria n.º 187/2007 de 12 de Fevereiro, foi aprovado o PERSU II para o período de 2007 a 2016, que surge como uma revisão ao PERSU I, dando continuidade à política de gestão de resíduos iniciada. A necessidade de um novo documento estratégico surge de novas exigências legais entretanto formuladas a nível nacional e comunitário, entre eles o novo regime geral de gestão de resíduos (DL n.º178/2006).

Para a operacionalização do plano foram definidas as seguintes linhas orientadoras estratégicas:

- Reduzir, reutilizar, reciclar (ou seja subir na hierarquia dos resíduos)
- Separar na origem
- Minimizar a deposição em aterro

- “Waste to Energy” para a fracção “resto” (não reciclável)
- “Protocolo de Quioto”: compromisso determinante na política de resíduos
- Informação validada a tempo de se poderem tomar decisões
- Estratégia de Lisboa: Sustentabilidade dos sistemas de gestão

Para concretização das referidas linhas orientadoras estratégicas encontram-se definidos cinco Eixos de Atuação, que para uma rápida interpretação, podem ser sistematizados como de seguida se apresentam (MAOTDR, 2007):

- **Eixo I — Prevenção: Programa Nacional**

Este eixo deve ser pensado tendo em conta duas vertentes diferentes, ao nível da quantidade de resíduos produzidos, e ao nível da redução da perigosidade dos mesmos.

Uma das medidas deste eixo é a redução da quantidade de resíduos produzidos. Para esse objetivo, vários mecanismos foram pensados: a promoção da Política Integrada do Produto (PIP), um reforço do investimento em Investigação e Desenvolvimento (I&D), um reforço das medidas políticas em matéria de substâncias químicas (REACH), e uma promoção do eco consumo e outras medidas de carácter individual dos cidadãos. No que respeita à redução da perigosidade dos resíduos, não se pode esquecer que uma pequena parcela da composição dos RU é constituída por resíduos perigosos (5 a 7%).

- **Eixo II— Sensibilização/Mobilização dos cidadãos**

A introdução de novos padrões de consumo é um fator importante para atingir as metas deste plano. Este eixo deve então ser visto de duas perspetivas, cidadãos/consumidores e cidadãos/agentes económicos. Para o desenvolvimento deste eixo são definidas três linhas de atuação para o reforço da Sensibilização / Mobilização dos Cidadãos:

- A) Sensibilização dos cidadãos e dos agentes;
- B) Apelo ao dever de cidadania individual e social;
- C) Reforço da educação para a gestão de resíduos.

- **Eixo III — Qualificação e otimização da gestão de resíduos**

No âmbito deste eixo, são identificadas um conjunto de medidas a seguir inumeradas:

1. Otimização dos Sistemas de Gestão de RU por via de um processo de reconfiguração e integração;

2. Sustentabilidade dos Sistemas de Gestão de RU;
3. Envolvimento dos Sistemas de Gestão de RU na prossecução da estratégia;
4. Reforço dos Sistemas ao nível de infraestruturas e equipamentos necessários a uma gestão integrada dos resíduos;
5. Reforço da Reciclagem (valorização material);
6. Reforço da investigação e do marketing no domínio da reciclagem;
7. Estabelecimento de critérios de qualidade para os materiais reciclados, composto e combustíveis derivados de resíduos/combustíveis sólidos recuperados (CDR/CSR);
8. Abertura ao mercado da gestão das infraestruturas de tratamento dos resíduos, para além das recolhas seletiva e indiferenciada.

▪ **Eixo IV — Sistema de Informação como pilar de gestão dos RSU;**

No âmbito do Simplex (Programa de Simplificação Administrativa e Legislativa do Estado Português), a transmissão da informação sobre a produção, gestão e tratamento de resíduos, será totalmente realizada através de um sistema de informação *online*. Este sistema, SIRER (Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos), irá permitir uma disponibilização de toda a informação tratada relativa a esta área, em tempo útil, e também uma base adequada para o suporte de qualquer decisão, abrindo caminho para um aumento de produtividade.

▪ **Eixo V — Qualificação e otimização da intervenção das entidades públicas no âmbito da gestão de RSU**

Para a concretização deste eixo, são apresentadas de seguida as medidas a implementar:

1. Simplificação dos procedimentos de licenciamento das instalações de gestão de RU, ao abrigo da Diretiva-Quadro “Resíduos” e do Programa SIMPLEX;
2. Reforço da Fiscalização/Inspeção pelos organismos competentes;
3. Reforço da Regulação.

Para o horizonte do PERSU II, a estratégia de gestão dos RU está completamente condicionada pelo cumprimento de objetivos comunitários, estabelecidos para os anos de 2009, 2011 e 2016. As principais metas, determinadas pela Diretiva “Aterros” e Diretiva “Embalagens”, estão apresentadas na tabela seguinte.

TABELA 2.3 – Objetivos de gestão de resíduos em Portugal (Fonte: Adaptado de MAOTDR, 2007)

| Referencial Legal | Metas |
|--|---|
| <p>Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 162/2000, de 27 de Julho e pelo Decreto-Lei n.º 92/2006, de 25 de Maio) que transpõe para o direito nacional a Diretiva n.º 94/62/CE do Parlamento e do Conselho, de 20 de Dezembro de 1994, relativa a embalagens e resíduos de embalagens (e respetivas alterações).</p> | <p>Metas a cumprir por Portugal em 2011:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Valorização total de RE: > 60% ▪ Reciclagem total de RE: 55-80% ▪ Reciclagem de RE de vidro: > 60% ▪ Reciclagem de RE de papel e cartão: > 60% ▪ Reciclagem de RE de plástico: > 22,5% ▪ Reciclagem de RE de metais: > 50% ▪ Reciclagem de RE de madeira: > 15% |
| <p>Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio que transpõe para o direito nacional a Diretiva n.º 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros.</p> | <p>Meta a cumprir em Janeiro 2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Os RUB destinados a aterros devem ser reduzidos para 75% da quantidade total (em peso) de RUB produzidos em 1995. <p>Meta a cumprir em Janeiro 2009:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Os RUB destinados a aterros devem ser reduzidos para 50% da quantidade total (em peso) de RUB produzidos em 1995. <p>Meta a cumprir em Janeiro 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Os RUB destinados a aterros devem ser reduzidos para 35% da quantidade total (em peso) de RUB produzidos em 1995. |

Em conclusão podemos considerar que o PERSU II contribuiu de forma positiva para o desenvolvimento do setor dos resíduos. No entanto este plano poderia e deveria ter sido revisto com maior antecedência, uma vez que com a legislação entretanto produzida, algumas metas e estratégias deveriam ser reajustadas.

Com a publicação do PERSU 2020 em setembro de 2014 estas metas já foram revistas.

2.2.3. O PPRU

Após a entrada em funcionamento dos fluxos específicos de resíduos o desafio que se coloca é o da evolução para estágios mais elevados da hierarquia da gestão de resíduos, como o da prevenção em termos de quantidade e perigosidade. Assim, no âmbito da Diretiva Quadro de Resíduos e do PERSU II (2007-2016), surge o Plano de Prevenção de Resíduos Urbanos (PPRU), publicado pelo despacho n.º 3227, de 22 de fevereiro de 2010. Este plano propõe uma estratégia para a prevenção de RU em Portugal que permitirá preparar o país para o cumprimento dos objetivos comunitários de prevenção a alcançar em 2020.

O PPRU visa ser um contributo para atingir o objetivo de desagregar o crescimento económico da crescente produção de resíduos, minimizar os impactes negativos da sua gestão no Ambiente e contribuir para o desenvolvimento sustentável através de uma melhor gestão dos recursos naturais. Consiste num conjunto de metas, medidas, ações e mecanismos, com operacionalização no território nacional, a curto, médio e/ou longo prazo (Palma, 2011).

No PPRU são utilizados os dados provenientes do PERSU II, bem como os respetivos cenários, o que acabou por limitar o sucesso deste documento, uma vez que as alterações verificadas na produção de resíduos em Portugal acabaram por condicionar qualquer previsão efetuada.

Em 2012, a produção total de RU em Portugal continental foi de 4,528 milhões de toneladas, valor muito inferior quer ao “cenário moderado” com uma previsão de cerca de 4,900 milhões de toneladas, quer ao “cenário otimista” com uma previsão de 4,700 milhões de toneladas.

Assim, o PPRU acaba por ter as metas de redução de RU cumpridas, não tanto pela implementação das ações e medidas preconizadas no plano, mas devido ao impacto da forte crise económica que tem afetado o país, com reflexo na produção dos resíduos.

As metas definidas no PPRU acabaram por ser ajustadas e incorporadas no PERSU 2020.

2.2.4. Regime Geral da Gestão de Resíduos

O DL n.º 73/2011, de 17 de junho altera o regime geral da gestão de resíduos em Portugal e transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE. A relevância deste DL para a gestão de resíduos é crucial pois vem clarificar e regular alguns temas muito importantes atualizando uma série de documentos legislativos sobre esta matéria. Tal como definido no preâmbulo do documento destacam-se de seguida alguns dos elementos mais importantes:

- Clarifica alguns conceitos, com especial ênfase para a distinção entre valorização e eliminação de resíduos. Para que a gestão de RU seja o mais sustentável possível define-se o princípio da hierarquia dos resíduos, com a seguinte ordem de prioridades: a) Prevenção e redução; b) Preparação para a reutilização; c) Reciclagem; d) Outros tipos de valorização; e) Eliminação.
- Promove o incentivo à recolha seletiva, em particular dos bio resíduos e estabelece -se um enquadramento regulamentar para a livre comercialização do composto para valorização agrícola.
- Prevê a aprovação de programas de prevenção e estabelecem -se metas de reutilização, reciclagem e outras formas de valorização material de resíduos, a cumprir até 2020.
- O âmbito do mercado organizado de resíduos é alargado aos subprodutos, materiais reciclados e resíduos perigosos.
- Torna mais clara a distinção entre armazenamento preliminar de resíduos antes da recolha e o armazenamento antes do tratamento.
- É introduzido um mecanismo de controlo pós -licenciamento, numa ótica de proteção do ambiente e da saúde pública, permitindo alcançar ganhos de eficiência e uma maior celeridade no licenciamento de atividades de tratamento de resíduos.
- Em matéria de transporte de resíduos, é introduzida a guia de acompanhamento de resíduos eletrónica (e -GAR).
- Estabelecem -se requisitos para que substâncias ou objetos resultantes de um processo produtivo possam ser considerados subprodutos e não resíduos. São

ainda estabelecidos os critérios para que determinados resíduos deixem de ter o estatuto de resíduo.

- É introduzido o mecanismo da responsabilidade alargada do produtor. Esta abordagem da gestão de resíduos tem em conta o ciclo de vida dos produtos e materiais e não apenas a fase de fim de vida, com as inerentes vantagens do ponto de vista da utilização eficiente dos recursos e do impacte ambiental.
- É alargado o sistema integrado de registo eletrónico de resíduos, integrado no Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente (SIRAPA), passando a servir de suporte à informação relativa a produtos colocados no mercado no âmbito dos fluxos específicos de resíduos.
- Ao nível dos resíduos perigosos, tornam--se mais claras as disposições em matéria de tratamento de resíduos constantes da Diretiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro, designadamente quanto a operações de mistura.

2.2.5. O PERSU 2020

Na sequência do desenvolvimento estratégico da área dos resíduos, em outubro de 2013, foi apresentado pelo governo, o novo plano PERSU 2020: Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos - “Uma fonte Renovável de Recursos”. Após as várias fases de discussão pública, o PERSU 2020 acabou por se materializar em forma de lei através da Portaria n.º 187-A/2014 de 17 de setembro.

Assim, o PERSU 2020 é o documento estratégico na área da gestão de resíduos até ao ano de 2020, sistematizando-se de seguida as principais metas e objetivos deste documento (MAOTE, 2014):

- **Metas de prevenção de resíduos**

- Até 31 de dezembro de 2016, alcançar uma redução mínima da produção de resíduos por habitante de 7,6% em peso relativamente ao valor verificado em 2012.
- Até 31 de dezembro de 2020, alcançar uma redução mínima da produção de resíduos por habitante de 10% em peso relativamente ao valor verificado em 2012.
- **Meta de preparação para reutilização e reciclagem**
 - Até 31 de dezembro de 2020, um aumento mínimo global para 50% em peso relativamente à preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos urbanos, incluindo o papel, o cartão, o plástico, o vidro, o metal, a madeira e os resíduos urbanos biodegradáveis.
- **Reciclagem de Resíduos de Embalagens**
 - Até 31 de dezembro de 2020 deverá ser garantida, a nível nacional, a reciclagem de, no mínimo, 70%, em peso dos resíduos de embalagens.
- **Meta da deposição de RUB de aterro**
 - Até julho de 2020, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

Analisando a tabela 2.4, podemos verificar que as metas definidas são diferentes para cada SGRU, uma vez que todos os sistemas partem de realidades diferentes. Com esta definição diferenciada de metas pretende-se que os sistemas sejam responsabilizados individualmente para que a sua prestação possa contribuir para os resultados esperados a nível nacional.

Para a execução do PERSU 2020 terá influencia a privatização da EGF - Empresa Geral do Fomento S.A., empresa que representava o estado em cerca de 60% dos sistemas nacionais, e que neste momento vendeu a sua participação a uma empresa privada. Em resultado desta situação, o setor da gestão de resíduos está em reestruturação, esperando-se que mesmo com o horizonte temporal curto (4/5 anos até 2020), seja possível a definição estratégica para o cumprimento das metas definidas.

TABELA 2.4 - Metas a atingir por cada Sistema de Gestão de RU em Portugal continental para 2020 (Fonte: MAOTE, 2014).

| SGRU | Meta: Mínimo de Preparação para Reutilização e Reciclagem (% de RU Recicláveis) | Meta: Máxima Deposição RUB em Aterro (em % de RUB Produzidos) | Meta: Retomas de RS (em Kg per capita por ano) |
|-------------------|--|--|---|
| ALGAR | 50% | 49% | 71 |
| AMARSUL | 48% | 34% | 45 |
| AMBILITAL | 80% | 10% | 48 |
| AMBISOUSA | 35% | 50% | 32 |
| AMCAL | 80% | 10% | 55 |
| ECOBEIRÃO | 80% | 10% | 29 |
| BRAVAL | 80% | 10% | 53 |
| ECOLEZÍRIA | 35% | 50% | 27 |
| ERSUC | 80% | 10% | 46 |
| GESAMB | 80% | 10% | 48 |
| LIPOR | 35% | 10% | 50 |
| RESIALENTEJO | 80% | 10% | 43 |
| RESÍDUOS NORDESTE | 80% | 10% | 42 |
| RESIESTRELA | 80% | 10% | 40 |
| RESINORTE | 59% | 42% | 41 |
| RESITEJO | 35% | 10% | 55 |
| RESULIMA | 80% | 10% | 45 |
| SULDOURO | 39% | 50% | 45 |
| TRATOLIXO | 53% | 16% | 49 |
| VALNOR | 80% | 10% | 54 |
| VALORLIS | 38% | 50% | 42 |
| VALORMINHO | 35% | 50% | 47 |
| VALORSUL | 42% | 10% | 49 |
| TOTAL | 53% | 26% | 47 |

2.3. Indicadores atuais de gestão de RU: produção e metas

Entre 1995 e 2010 verificou-se, em Portugal, um padrão de crescimento na produção de resíduos urbanos, que acompanhou o crescimento do PIB, com exceção do ano 2001 (em que houve uma diminuição dos RU produzidos em relação ao ano anterior) e dos anos 2004, 2007 e 2010 (que apresentaram valores muito próximos dos anos precedentes). De acordo com os dados da figura 2.4, podemos verificar que entre 2010 e 2012 observou-se um decréscimo acentuado na produção de RU face a anos anteriores, eventualmente associado ao abrandamento económico, tal como se verifica pelo respetivo decréscimo do PIB (APA, 2013b).

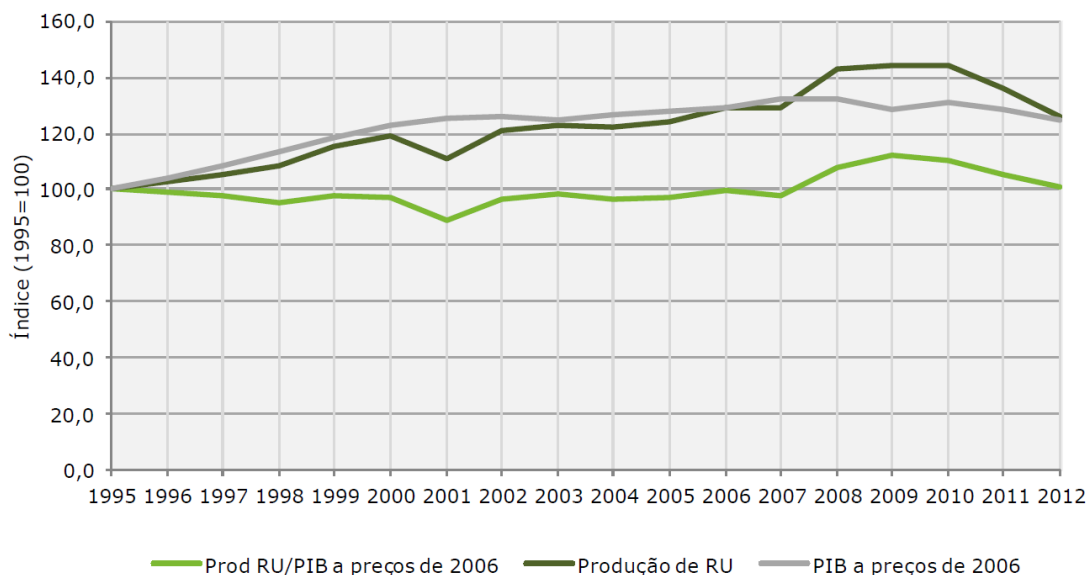


FIGURA 2.4 – Produção de RU e PIB a preços de 2006, em Portugal continental (Fonte: APA, 2013b).

Analisando a figura 2.5, podemos verificar que a produção total de resíduos urbanos em Portugal continental foi, no ano 2012, de aproximadamente 4,5 milhões de toneladas. Estes valores representam uma diminuição de cerca de 7,4%, em milhões de toneladas, e 6,8%, em capitação, em relação ao ano anterior, verificando-se assim uma inversão da tendência de crescimento da produção de RU em Portugal continental, que se verificou no período 2002-2010, com um aumento na produção de RU de 18%.

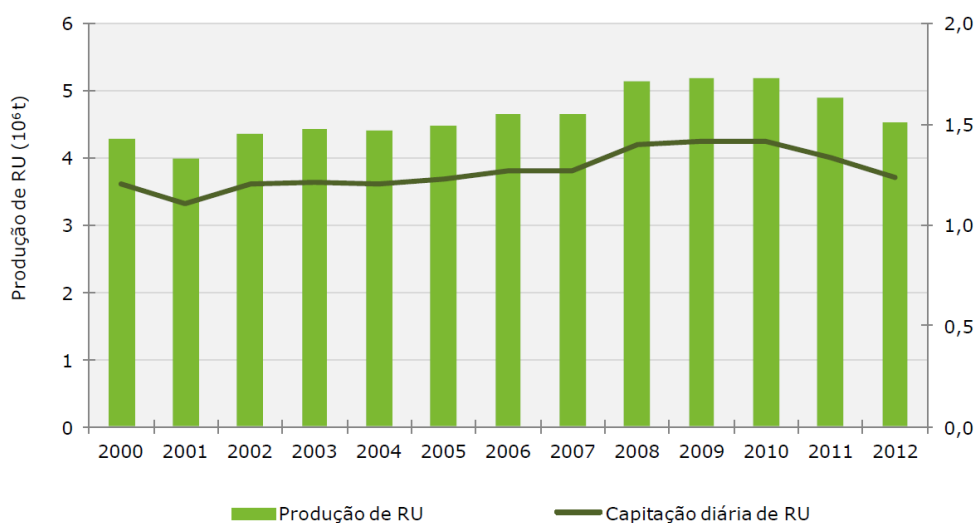


FIGURA 2.5 – Produção e captação de RU em Portugal continental (Fonte: APA, 2013b).

Na Figura 2.6, podemos verificar o destino final dos RU entre 2010 e 2013 em Portugal continental.

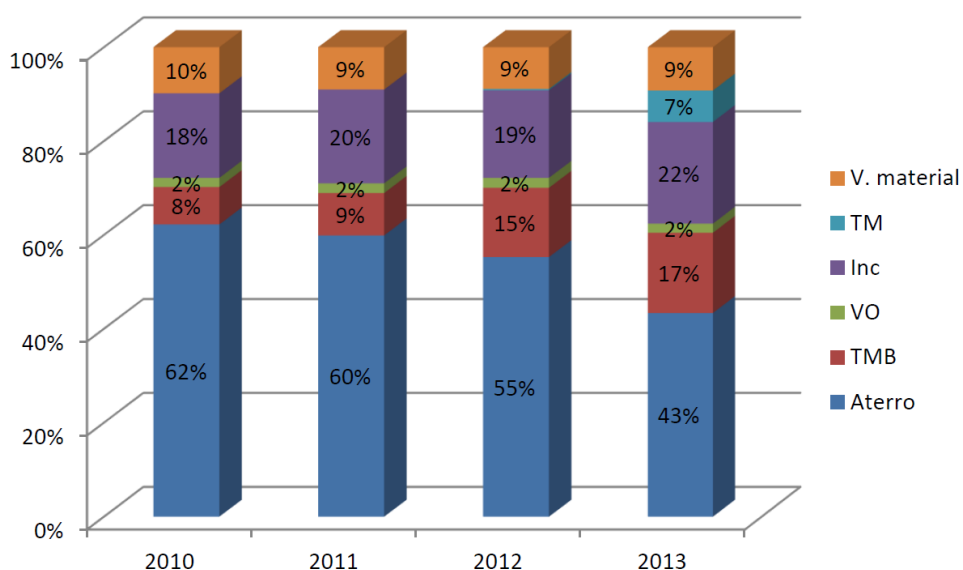


FIGURA 2.6 – Destino direto dos RU em Portugal continental (Fonte: APA, 2014)

Pelos dados apresentados podemos concluir que a deposição direta em aterro, continua a ser o principal destino dos RU em Portugal. Apesar desta situação, comparativamente com 2012, verifica-se em 2013 um decréscimo de cerca de 12% na deposição em aterro, e um crescimento no encaminhamento dos resíduos para as unidades de TM e TMB, resultado do investimento efetuado na construção e otimização destas unidades de TMB (APA, 2014).

Capítulo III – Enquadramento e Conceitos sobre Ferramentas de Análise de Ciclo de Vida

3.1. Enquadramento

A ACV é uma ferramenta que permite avaliar os aspetos ambientais e os potenciais impactes ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço, desde a obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim-de-vida, reciclagem e deposição final. Esta técnica é também chamada de “avaliação do berço ao túmulo” - (*cradle-to-grave*), (Xará, 2009).

Conforme descrito na figura 3.1, a metodologia de ACV representa de uma forma eficaz os impactes e processos associados ao produto em avaliação.

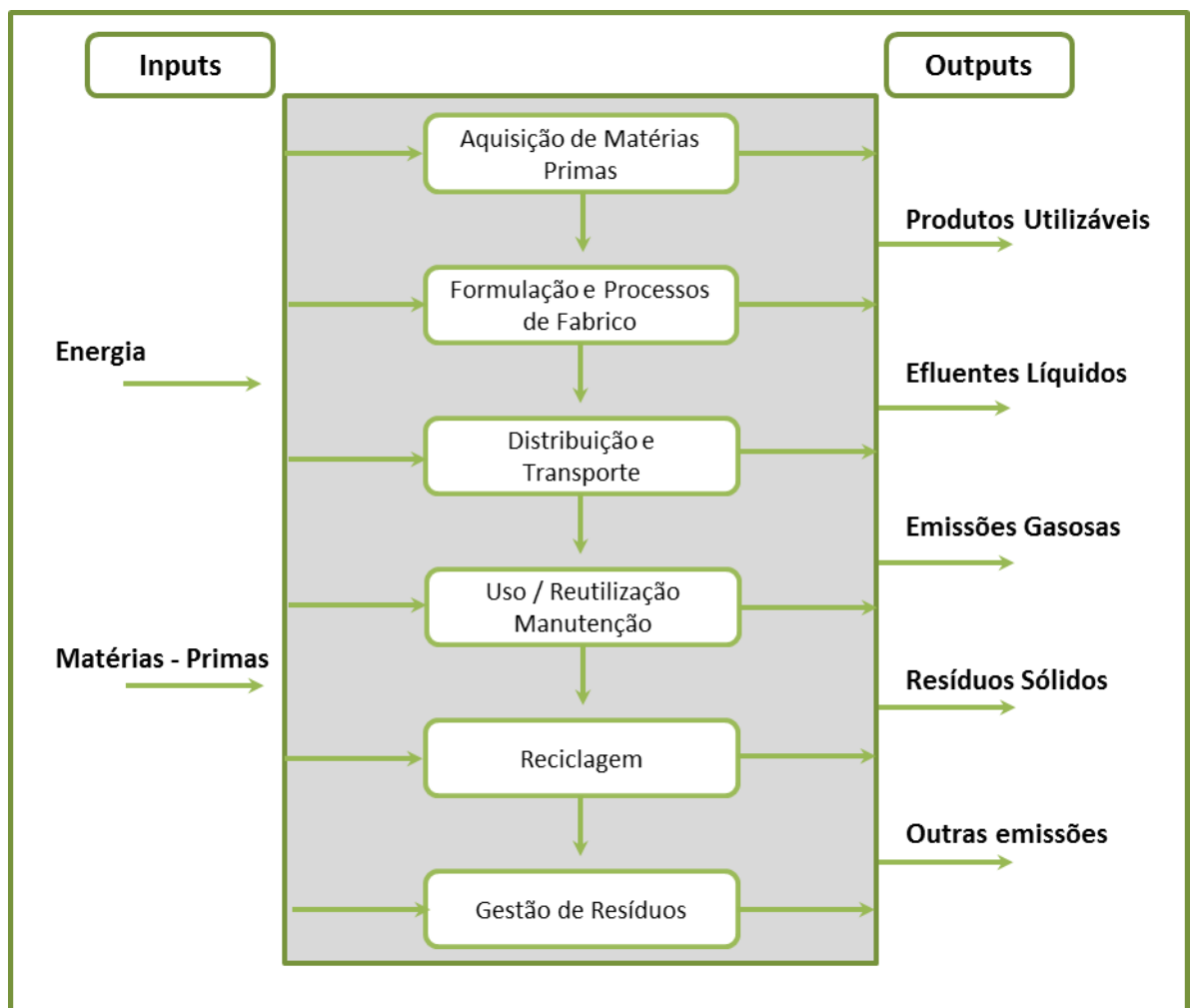


FIGURA 3.1 – Representação das fases de ACV de um produto. (Fonte: Adaptado de EPA, 1993)

As referências à utilização desta técnica são diversas e demonstram que tem sido aplicada e desenvolvida essencialmente na Europa e nos Estados Unidos (EPA, 2006; Ferreira, 2004). Na literatura consultada verifica-se que os primeiros estudos terão ocorrido nos anos 60, verificando-se um crescimento acelerado na década de 90, comprovado através do aparecimento de inúmeras publicações científicas sobre esta temática (Finnveden *et al.*, 2009). Ainda segundo este autor, nos anos 90 a ACV era considerada uma ferramenta com muito potencial mas os resultados obtidos eram frequentemente criticados, pela dificuldade de uniformização de metodologias e procedimentos que permitissem a comparabilidade entre os estudos.

Para a evolução e crescimento desta metodologia organizações como a SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* e a EPA – *United States Environmental Protection Agency* tiveram um papel preponderante através do desenvolvimento de estudos e aplicações práticas, que demonstraram as vantagens e mais-valias na utilização da ACV.

Já no final dos anos 90, e como consequência da maturidade e do crescimento da metodologia para o desenvolvimento da ACV, começou-se a verificar uma estabilização metodológica do procedimento, tendo sido produzidas uma série de normas, relatórios e especificações técnicas que contribuíram para a credibilização desta ferramenta. Embora estes documentos se encontrem em constante atualização e revisão, devem ser consideradas como essenciais as seguintes Normas da *International Organization for Standardization* sobre ACV:

- ISO 14040:2006 – Princípios e enquadramento
- ISO 14044:2006 – Requisitos e orientações
- ISO TR 14047:2012 – Exemplos para a aplicação da ISO 14044
- ISO TS 14048:2002 – Formato da apresentação de dados
- ISO TR 14049:2012 – Exemplos de aplicação da ISO 14044 para definição de objetivos e âmbito, e análise de inventário

O desenvolvimento da metodologia de ACV na UE tem como suporte o *Joint Research Centre*, da Comissão Europeia, através da *EPLCA – European Platform on Life Cycle Assessment*. Esta plataforma procura divulgar e desenvolver as metodologias de ACV,

disponibilizando diversas informações sobre a temática como por exemplo manuais para desenvolvimento de ACV (metodologias, modelos, indicadores, etc.) ou bases de dados com informações sobre *softwares* e suas aplicações.

3.2. Descrição da metodologia de ACV

De acordo com a norma ISO 14040, a ACV compreende quatro fases (figura 3.2):

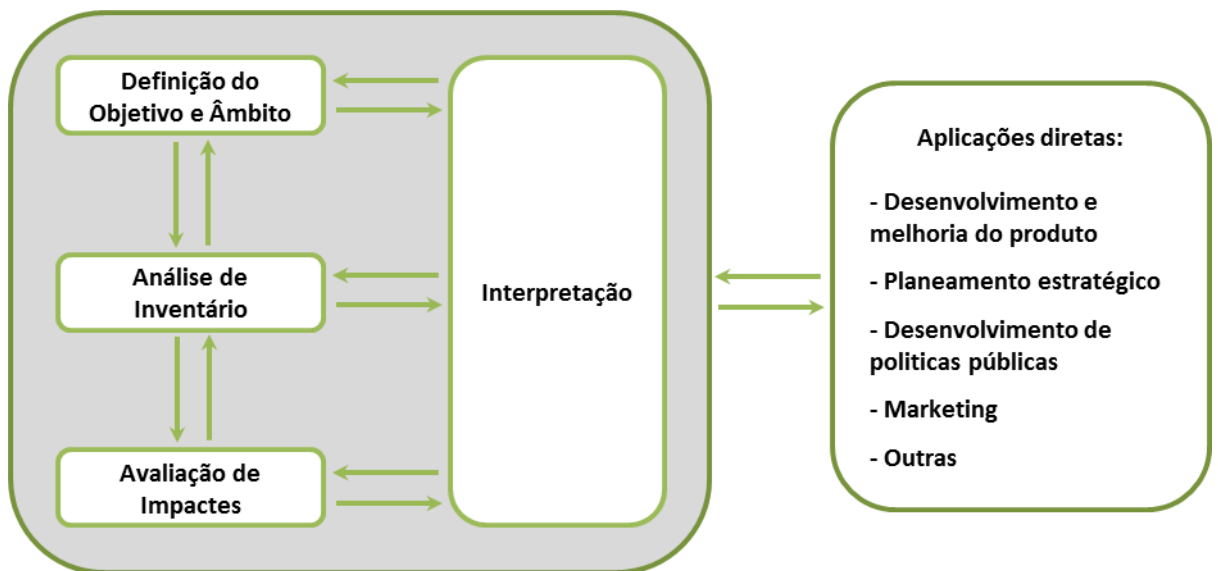


FIGURA 3.2 – Representação esquemática das fases de uma ACV e suas aplicações.

(Fonte: Adaptado de NP EN ISO 14040, 2008)

Definição do objetivo e âmbito

Com a definição do objetivo da ACV devem ser identificadas as razões para a realização do estudo, a aplicação pretendida para os resultados, bem como os destinatários. A profundidade e a amplitude da ACV podem diferir consideravelmente, consoante o objetivo de cada ACV em particular.

Na definição do âmbito devem ser descritos os parâmetros dentro dos quais o estudo será realizado, devendo estes ser compatíveis com os objetivos do estudo.

Como a ACV é um processo iterativo, à medida que se desenvolve a metodologia, e com a obtenção de mais informações sobre o sistema a ser estudado, é provável que as alterações no âmbito do estudo ocorram (McDougall *et al.*, 2003).

É também nesta fase que se identifica a unidade funcional que define a quantificação das funções identificadas (características de desempenho) do produto. O objetivo principal de uma unidade funcional é fornecer uma referência à qual as entradas e saídas sejam relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade dos resultados da ACV. A comparabilidade dos resultados da ACV é particularmente crítica quando se avaliam sistemas diferentes, para garantir que tais comparações são efetuadas com uma base comum (NP EN ISO 14040, 2008).

Inventário de ciclo de vida (ICV)

A fase do inventário do ciclo de vida (fase de ICV) constitui a segunda fase da ACV. É um inventário dos dados de entrada/saída relativos ao sistema em estudo. Envolve a recolha dos dados necessários para atingir os objetivos do estudo definido.

Para a realização do ICV devem ser realizadas as etapas apresentadas na figura 3.3.

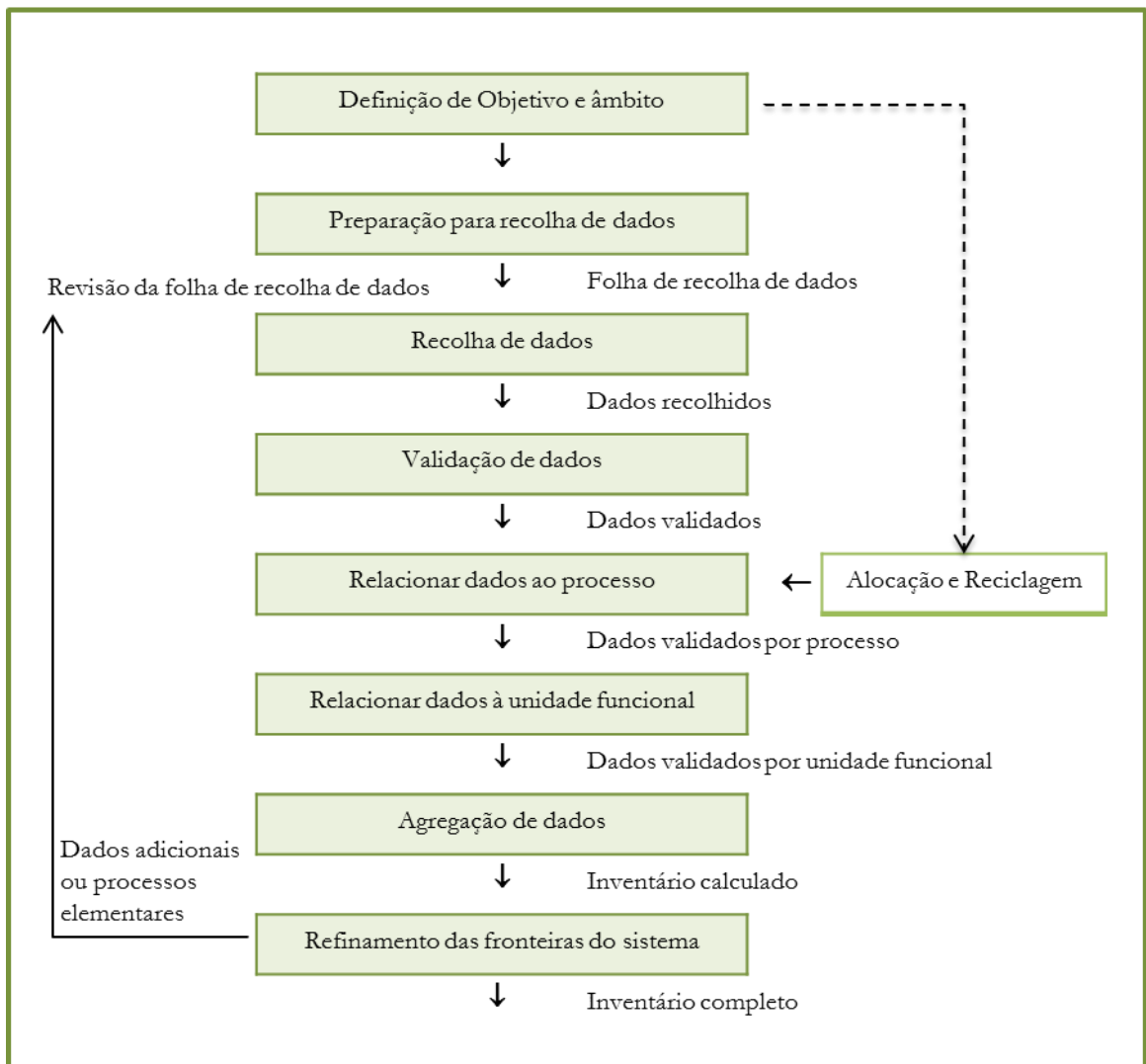


FIGURA 3.3 – Representação esquemática dos procedimentos simplificados para análise do ICV (Fonte: Adaptado de ISO 14041, 1998).

Tal como na fase anterior, o processo de realização de um inventário também é iterativo. À medida que os dados são recolhidos e se aprende mais sobre o sistema, poderão ser identificados novos requisitos de dados ou limitações que exijam alterações nos procedimentos de recolha de dados para que os objetivos do estudo possam ainda ser alcançados. Por vezes, poderão ser identificados aspetos que impliquem a revisão do objetivo ou do âmbito do estudo (NP EN ISO 14040, 2008).

Avaliação de impactes de ciclo de vida (AICV)

A fase de avaliação de impacte do ciclo de vida (AICV) é a terceira fase da ACV. A finalidade da AICV é fornecer informação adicional que auxilie a avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto para melhor compreender a sua significância ambiental. Nesta fase procede-se à conversão dos dados obtidos no ICV em categorias de impacte (efeitos ambientais potenciais) de forma a avaliar e compreender esses impactes (McDougall *et al.*, 2003).

Existem várias categorias de impacte que dependendo da tipologia de ACV devem ser consistentes com os objetivos e âmbito do estudo, e devem formar uma série compreensiva de assuntos ambientais relacionados com os objetivos e âmbito do estudo (Ferreira, 2004). As categorias de impacte podem ter um impacte direto ou indireto nas áreas gerais de proteção, conforme apresentado na tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Lista de categorias de impacte para AICV (Fonte: Ferreira, 2004, *apud* Consoli *et al.*, 1993).

| Categorias de Impacte | Áreas Gerais para Proteção | | |
|---|----------------------------|--------------|-----------------|
| | Recurso | Saúde Humana | Saúde Ecológica |
| A) Depleção de Recursos | | | |
| Recursos abióticos | + | | |
| Recursos bióticos | + | | |
| B) Poluição | | | |
| Aquecimento global | | (+) | + |
| Depleção do ozono | | (+) | (+) |
| Formação de oxidantes fotoquímicos | | + | + |
| Acidificação | | (+) | + |
| Eutrofização (ou nitrificação) | | | + |
| Toxicidade humana | | + | |
| Ecotoxicidade | | (+) | + |
| C) Degradação de Ecossistemas e Paisagem | | | |
| Utilização do solo | | | + |
| <i>+ significa impacte potencial direto</i> | | | |
| <i>(+) significa impacte potencial indireto</i> | | | |

Deve ser criada uma relação entre a unidade funcional do produto ou serviço e os impactos para o ambiente, depleção de recursos e saúde humana. Segundo a norma ISO 14040, existem elementos obrigatórios e opcionais (figura 3.4), que devem ser caracterizados nesta fase.

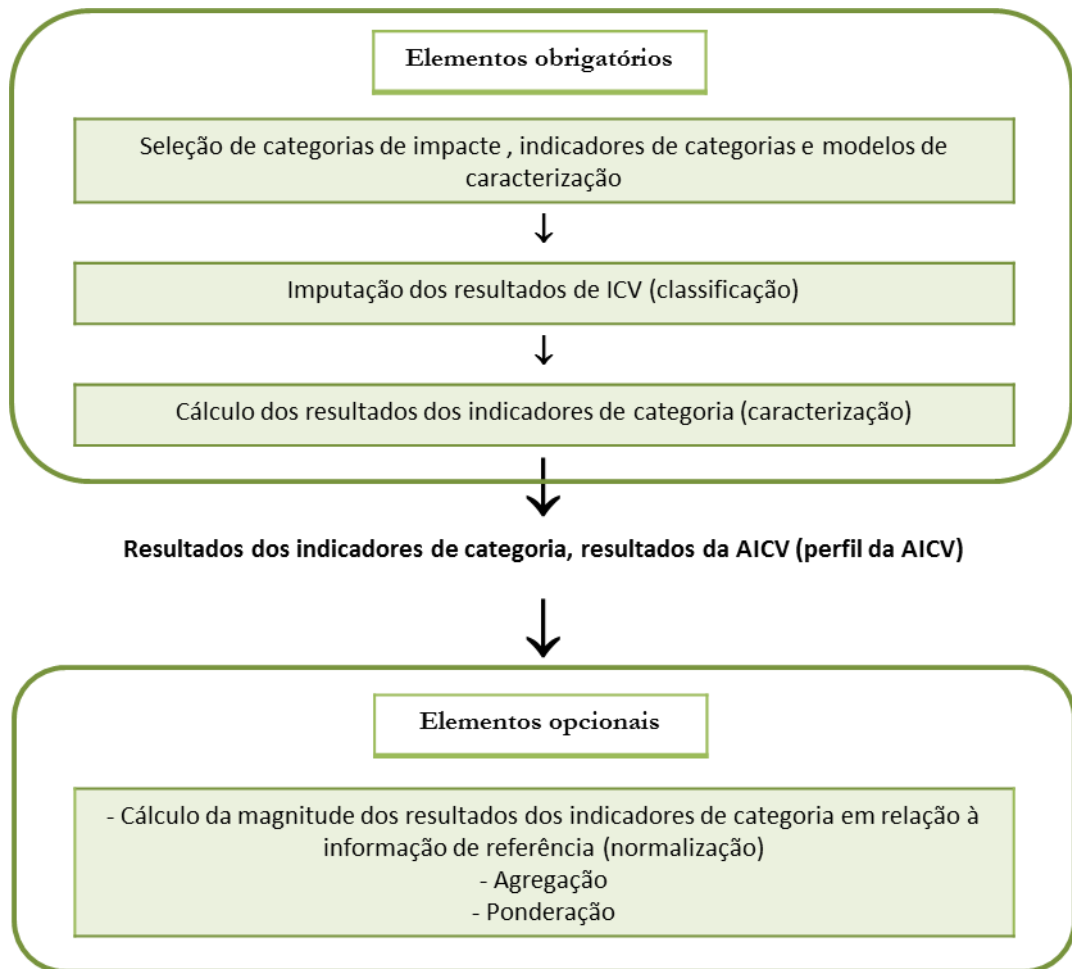


FIGURA 3.4 – Elementos da fase de AICV. (Fonte: Adaptado de ISO 14040, 2008).

Para o desenvolvimento dos processos de ACV, são utilizados *softwares* que normalmente utilizam métodos de agregação para facilitar a análise dos impactos e assim possibilitar uma comparação.

Um dos métodos utilizados na análise de impactos é o *Eco-indicator 99*. De acordo com o estudo de Ferreira (2004), este é um método multi-fase em que uma emissão identificada no ICV é convertida numa contribuição para a categoria de impacto multiplicando-a por

um fator equivalente. Os resultados do indicador de categoria de impacto que são calculados na fase de caracterização são adicionados para formarem as categorias de dano: Saúde Humana, Qualidade do Ecossistema e Recursos. A normalização dos dados tem como objetivo facilitar a comunicação (Ferreira, 2004). O *Eco-indicator 99* é um dos métodos utilizados na construção da base de dados ECOINVENT, sendo a sua atualização publicada pela *PRé Consultants*, empresa que atualmente desenvolve o *software SimaPro LCA*.

Outra metodologia muito utilizada é a CML 2001, que foi desenvolvida pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden – Holanda. Esta metodologia utiliza dados de referência europeus, para calcular os fatores de impacto, agrupando os resultados do ICV em categorias como por exemplo: alterações climáticas e formação de foto oxidantes (Acero *et al.*, 2014).

Interpretação

A interpretação do ciclo de vida é a fase final do procedimento da ACV, na qual os resultados de um ICV ou de uma AICV, ou ambos, são reunidos e discutidos como uma base para conclusões, recomendações e tomada de decisões de acordo com a definição do objetivo e do âmbito.

Rebitzer *et al.* (2003) defendem que a interpretação do ciclo de vida ocorre em todas as fases de uma ACV, argumentando que na comparação de duas alternativas para o mesmo produto, se uma alternativa mostra um maior consumo de material e de recursos, uma interpretação puramente baseada no ICV pode ser conclusiva.

3.3. Vantagens e limitações da ACV

A metodologia de ACV apresenta vantagens que fundamentam a sua variada utilização (Gomes, 2008; Tavares, 2013):

- Permite ajudar na tomada de decisão (produto ou processo que resulta no menor impacto ao ambiente);
- Identifica os impactes ambientais associados e as suas eventuais transferências;
- Analisa as vantagens e desvantagens ambientais associadas a um ou mais produtos/processos;
- Quantifica emissões em relação a cada estágio do ciclo de vida;
- Auxilia na identificação de mudanças significativas em impactes ambientais entre os estágios do ciclo de vida e os meios ambientais;
- Compara os impactes na saúde e no ambiente entre dois ou mais produtos/processos.

As limitações associadas à metodologia estão intrinsecamente relacionadas com as próprias características da ACV (Gomes, 2008; Tavares, 2013):

- A natureza dos pressupostos adotados na ACV podem ter um carácter subjetivo;
- Disponibilidade de recursos (humanos e materiais);
- Recolha de dados (a disponibilidade e qualidade dos dados influencia os resultados);
- Tempo (a duração do estudo é afetada pelos elementos anteriores, nomeadamente pela disponibilidade dos dados);
- Recurso financeiros versus benefícios previsto com a ACV.

McDougall *et al.* (2003) apontam como solução para as limitações na ACV a utilização e combinação de outras ferramentas (avaliação de risco ambiental, avaliação de impactes ambientais, análise de input-output) de forma a que estas se complementem.

3.4. Aplicação de ferramentas de ACV à gestão de resíduos

A problemática dos resíduos representa um problema de dimensão mundial, que tem sido estudado e investigado ao longo das últimas décadas de forma a serem descobertas novas metodologias e tecnologias para resolver este problema. A principal mais-valia

apresentada pela aplicação da metodologia de ACV na gestão de resíduos baseia-se no fato de fornecer uma perspectiva prática das vantagens e desvantagens ambientais no momento de comparação entre diferentes alternativas de gestão e tratamento.

A ACV tem sido utilizada na produção de modelos de avaliação dos impactos ambientais associados à gestão de resíduos, estudando diferentes cenários que permitem a comparação das diferentes opções de gestão, fornecendo informação aos decisores sobre as vantagens e desvantagens de cada opção.

Tal como referido por Gentil *et al.*, 2010, o desenvolvimento de ACV na gestão de resíduos, tem como objetivo avaliar o desempenho ambiental de uma série de tecnologias e atividades associadas à gestão de resíduos tendo em consideração a composição dos resíduos, o seu local de produção, a recolha, o transporte, o tratamento até à sua eliminação final.

Como resultado das investigações desenvolvidas nesta temática, tornou-se necessário aperfeiçoar os métodos para desenvolvimento de ACV na gestão de resíduos, sendo que atualmente podem ser considerados dois métodos: ACV de atribuição e ACV consequente (*Attributional and consequential LCA*) (Finnveden *et al.*, 2009).

ACV de atribuição, procura responder como estão os elementos (poluentes, recursos e intercâmbio entre os processos) que fluem dentro da janela temporal, escolhida (EPA, 2006).

ACV consequente procura descrever os fluxos / impactos ambientalmente relevantes, que são causados para além do sistema imediato, em resposta a uma mudança no sistema (EPA, 2006).

Em 2001, Xará *et al.* (2001) aplicaram a ACV ao planeamento da gestão integrada de RU, concluindo que em cada opção há a necessidade de avaliar as cargas ambientais inerentes à gestão de resíduos, tendo em conta não só as operações de tratamento daqueles, como também todas as atividades associadas, desde a possível recolha dos resíduos até ao seu destino final, incluindo o transporte e a obtenção dos materiais e energia necessários.

Matos *et al.* (2006), utilizaram o modelo *Integrated Waste Management (IWM-2)*, para o desenvolvimento de 3 cenários de gestão diferentes a aplicar no fluxo dos bio resíduos.

Outro exemplo da aplicação da ACV à gestão de resíduos foi o trabalho desenvolvido por Pires *et al.* (2011), em que utilizando o *software Umberto 5.5*, avaliaram o sistema da Amarsul, em Portugal, em 6 categorias de impacto, recorrendo à metodologia de ACV de atribuição.

Apesar de na maioria dos trabalhos desenvolvidos a ACV surgir como uma ferramenta vantajosa, também é possível aferir na literatura que a ACV aplicada à gestão de resíduos apenas fornece uma base para análise à informação atual, ou seja não consegue avaliar alterações à situação atual (alterações no consumo, quantidades e tipos de resíduos). Assim as unidades de gestão de resíduos, onde grandes investimentos que serão usados ao longo de várias décadas, devem considerar que a sociedade envolvente pode mudar significativamente durante este tempo. Uma tecnologia ou solução que é apropriada hoje pode ser incompatível a longo prazo (Ekvall, 2007).

A aplicação de metodologias de ACV à gestão de resíduos, tem vindo a crescer e conseqüentemente o desenvolvimento de *softwares* que auxiliam a sua aplicação também. Atualmente existem mais de 50 ferramentas de ACV disponíveis na Europa (JRC, 2014), sendo que a sua aplicabilidade, funcionalidades e licenciamento são diversos.

A maioria dos *softwares* é desenvolvido por centros de investigação universitários quase sempre através de trabalho em rede e em alguns casos financiados por projetos da UE. É a partir desta investigação aplicada, que algumas empresas otimizam e comercializam *softwares* de ACV, podendo o valor da licença destes programas chegar a milhares de euros.

Na tabela 3.2, apresenta-se uma breve descrição de alguns dos *softwares* desenvolvidos como ferramenta de ACV na gestão de resíduos.

Dois dos *softwares* apresentados LCA-IWM e WAMPS, serão descritos em pormenor nos capítulos seguintes uma vez que serão utilizados na análise do estudo de caso desenvolvido neste trabalho.

De referir que os *softwares* SimaPro e Umberto, serão aquelas que, à partida, estarão mais desenvolvidos, e implementado no mercado. Ambos apresentam uma vertente comercial muito forte, o que também permite um maior investimento na contínua atualização das bases de dados.

TABELA 3.2 – Descrição de alguns *softwares* de ACV aplicados à gestão de resíduos.

| |
|---|
| LCA-IWM “Life Cycle Assessment – Integrated Waste Management |
| Ferramenta que disponibiliza estratégias de gestão para cidades e regiões através de um modelo de previsão de geração de resíduos, permitindo uma avaliação económica, ambiental e social de vários cenários de gestão de resíduos. O desenvolvimento desta ferramenta resultou na publicação do livro <i>Handbook for Municipal Waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems</i> , (Den Boer <i>et. al.</i> , 2005). [Mais informação disponível em: http://www.iwar.tu-darmstadt.de/lca-iwm/lca_iwm/project_results/results/index.en.jsp]. |
| FÉNIX |
| Foi criada com o objetivo de ajudar os municípios, sistemas municipais, comunidades autónomas e outras organizações territoriais de Espanha e Portugal a obter informações sobre o impacte ambiental da gestão de seus resíduos de embalagens, para ajudá-los a encontrar as soluções mais eficientes. [Mais informação disponível em: http://www.life-fenix.eu/pt]. |
| WISARD -Waste Integrated Systems Assessment for Recovery and Disposal |
| É uma ferramenta de <i>software</i> LCA para ajudar na tomada de decisão e avaliar as opções políticas em matéria de eliminação de resíduos urbanos. [Mais informação disponível em: http://ecobilan.pwc.fr/fr/offre-de-services/gestion-des-dechets.jhtml]. |
| WAMPS - Waste Management Planning System |
| Desenvolvido pelo IVL - Swedish Environmental Research Institute, o programa permite que através de uma interface web realizar cálculos a fim de comparar o desempenho ambiental dos diferentes tipos de sistemas de gestão de resíduos. [Mais informação disponível em: http://www.recobaltic21.net/en/waste-management-planning-system.html]. |
| SimaPro |
| Apresenta características diferenciadoras como a modelação, análise parametrizada e resultados interativos. Utiliza a base de dados Ecoinvent, uma das mais importantes do mundo. [Mais informação disponível em: http://www.simapro.co.uk/index.htm]. |
| Umberto |
| É um <i>softwares</i> que se encontra em desenvolvimento desde 1993, e pode ser usado para estudos de ACV compatíveis com a ISO 14040/14044. Utiliza como referências as bases de dados Ecoinvent e GaBi. [Mais informação disponível em: http://www.umberto.de/en/]. |
| IWM-2 - Integrated Waste Management |
| O modelo IWM-2 é uma ferramenta ideal para a familiarização dos utilizadores com a abordagem ao modelo de ACV e a interpretação dos respetivos resultados. Este modelo faz parte do livro <i>Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory</i> . [Mais informação disponível em: McDougall <i>et al.</i> , 2003]. |

A tendência atual para a aplicação do conceito da economia circular em vez da economia linear entronca também com a temática dos resíduos e com as metodologias de ACV.

O conceito de economia circular, visa a reutilização dos resíduos e aproveitamento de subprodutos em processos produtivos levando a que a produção possa ser feita em circuito fechado. O aproveitamento dos subprodutos pela própria indústria ou como matéria-prima para outras indústrias apresenta como principais vantagens a redução de custos com a aquisição de materiais e a eliminação da acumulação de resíduos poluentes (BCSD, 2013).

A redução de resíduos na fonte, conforme definido pela união europeia, pressupõe a diminuição ou a eliminação da produção de resíduos nos processos industriais, através de melhoramento tecnológicos ou alterações nas matérias-primas utilizadas (Russo, 2003).

É com base nestes princípios que o conceito de simbiose industrial tem uma relevância importante, uma vez que será um dos mecanismos que permitirá desenvolver a economia circular.

Um dos pontos principais do conceito de simbiose industrial é a relação mutuamente benéfica entre empresas integrantes de um ecossistema industrial, onde uma empresa aproveita os resíduos como novas matérias-primas para processos produtivos (Gama, 2012).

De acordo com Ferrão, 2009, a criação de uma bolsa de resíduos é uma das ferramentas que poderá contribuir para o desenvolvimento da simbiose industrial. O desenvolvimento da bolsa de resíduos apresenta para além das vantagens ambientais como a maior eficiência no uso de recursos e energia, também vantagens económicas, pois os custos de gestão e eliminação de resíduos podem ser diminuídos. Assim a aplicação da ACV permitirá uma otimização dos processos, identificando quais os resíduos que poderão ser incluídos noutros processos produtivos, permitindo também efetuar a projeção de quais os impactes associados a essa mesma utilização.

Capítulo IV – Apresentação do Estudo de Caso - Lipor

4.1. Organização do SIGR da Lipor

A Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto – é a entidade responsável pela gestão, valorização e tratamento dos Resíduos Urbanos produzidos pelos oito municípios que a integram: Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde. Constituída como Associação de Municípios em 1982, tem vindo a implementar uma gestão integrada de resíduos, recuperando, ampliando e construindo infraestruturas para a gestão e valorização dos RU, complementadas com campanhas de sensibilização junto da população.

Atualmente a orientação estratégica da Lipor, enquadra a gestão de resíduos sobre uma perspetiva holística conforme definido na sua missão (Lipor, 2014a):

Conceber, adotar e implementar soluções sustentáveis de gestão de resíduos, tendo em consideração as necessidades dos nossos parceiros e das comunidades que servimos.

O sistema de gestão da Lipor assenta numa série princípios e processos que visam a melhoria contínua da organização. Com base neste conceito foram sendo implementadas certificações em vários âmbitos, conforme descrito na figura 4.1.

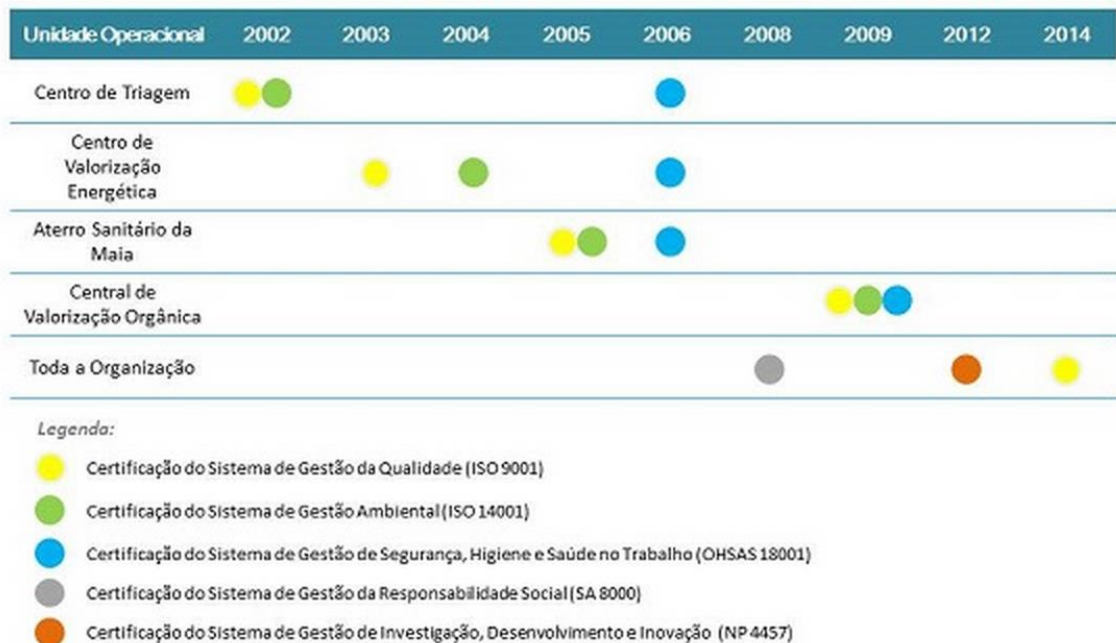


FIGURA 4.1 – Áreas de Certificação da Lipor (Fonte: Lipor, 2015)

4.2. Caracterização da área Lipor

Os municípios que integram a Lipor localizam-se no norte litoral de Portugal, integrando a área metropolitana do Porto.

O clima é do tipo temperado mediterrâneo com influência marítima, e de acordo com a classificação climática de *Köppen-Geiger* enquadra-se na tipologia Csb - Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (IPMA, 2014).

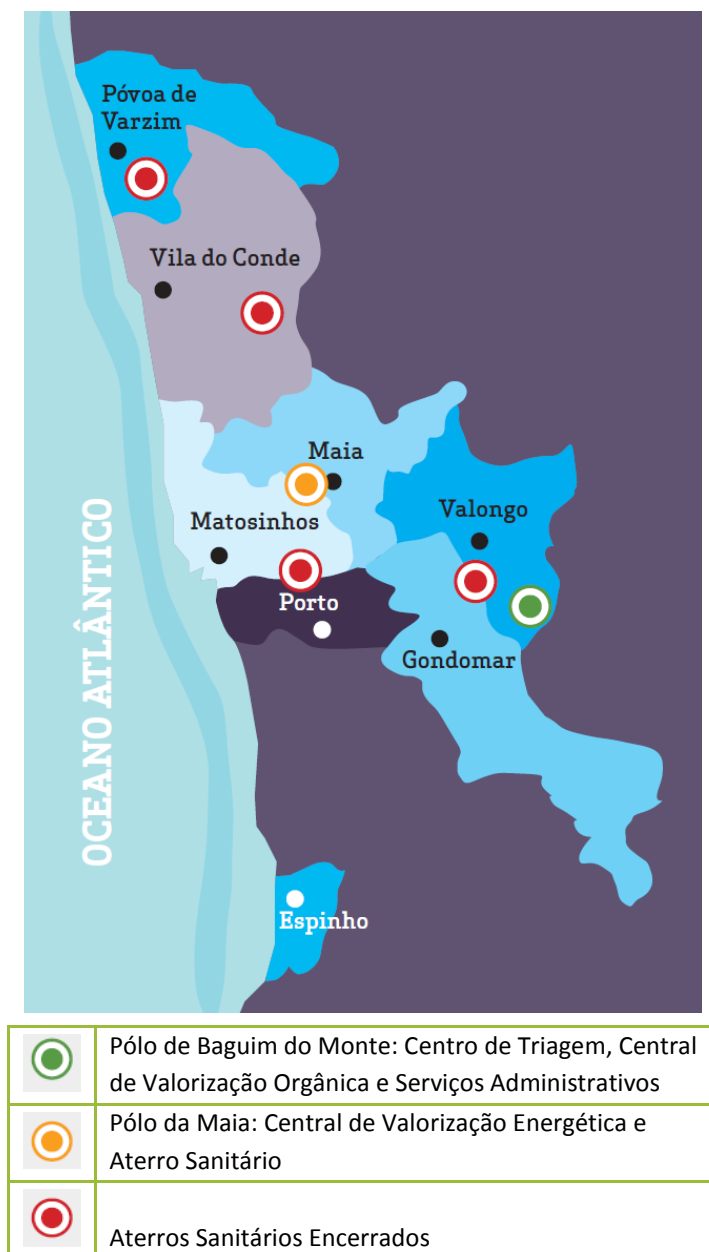


FIGURA 4.3 – SIGR Lipor e localização de infraestruturas (Fonte: Adaptado de Lipor, 2010).

Relativamente às características urbanas existem diferenças entre os municípios, quer ao nível da densidade populacional nas diferentes freguesias, quer na tipologia dos edifícios existentes. Na tabela 4.1 é possível analisar as principais características populacionais e de ordenamento nos diferentes municípios, assim como a despesa dos municípios em gestão de resíduos *per capita*. Relativamente a este indicador, é de salientar a discrepância de valores, que poderá estar associada à forma como os custos são incorporados nesta categoria, uma vez que agrega várias componentes (exemplo: operações de recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, entre outros) - é provável que os municípios não tenham agregado o custo da mesma forma.

TABELA 4.1 – Principais características dos municípios da área Lipor - Ano 2013 (Fonte: Pordata, 2015).

| | | População | Superfície Km ² | N.º Freguesias | Alojamentos familiares | Dimensão média das famílias | Despesa municípios per capita. Gestão de Resíduos (€) |
|-------------------|------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|--|
| Municípios | Espinho | 30674 | 21,1 | 4 | 15941 | 2,6 | 37,4 |
| | Gondomar | 167771 | 131,9 | 7 | 74053 | 2,7 | 36,0 |
| | Maia | 135971 | 83,0 | 10 | 60064 | 2,7 | 23,7 |
| | Matosinhos | 175006 | 62,4 | 4 | 82916 | 2,6 | 70,2 |
| | Porto | 224894 | 41,4 | 7 | 138240 | 2,3 | 101,2 |
| | Póvoa de Varzim | 63141 | 82,2 | 7 | 35508 | 2,9 | 62,7 |
| | Valongo | 95004 | 75,1 | 4 | 40783 | 2,8 | 103,8 |
| | Vila do Conde | 79774 | 149,0 | 21 | 38172 | 2,9 | 52,5 |
| | Área Lipor | 972235 | 646,1 | 64 | 485677 | 2,69 | 60,9 |

É de salientar ainda as características associadas ao fenómeno sazonal da “população flutuante” que ocorre em alguns municípios e que impacta diretamente na produção de resíduos. De acordo com estudos do INE (2012), no caso do Porto, verifica-se um aumento diário da população na cidade, cerca de 171738 pessoas, que se deslocam para a cidade por razões de trabalho ou estudo. Noutros municípios como Espinho ou Póvoa

de Varzim, é durante os meses de verão, que a população tem um aumento relevante, em resultado do seu desenvolvimento turístico e de lazer.

4.3. Infraestruturas e Unidades Operacionais

O SIGR da Lipor apresenta uma estratégia integrada em que todos os componentes são essenciais para que o sistema funcione. No entanto, as unidades operacionais são muito relevantes pois têm um contributo essencial para que a missão da organização seja cumprida. De forma a efetuar uma caracterização sumária destas unidades, consolidaram-se na tabela 4.2, as principais características de cada uma delas.

TABELA 4.2 – Descrição das Unidades Operacionais do SIGR da Lipor (Fonte: adaptado de <http://www.lipor.pt/pt/residuos-urbanos/>).



| Unidades Operacionais | Caracterização |
|--|--|
| <p data-bbox="331 1234 542 1263">Centro de Triagem</p>  | <p data-bbox="627 1137 1406 1167">Nave coberta de 4.000 m², capacidade de tratamento de 50.000 t./ano.</p> <p data-bbox="627 1187 1442 1263">Cabine de pré-triagem (separação de 3 fluxos: filme de grande dimensão, rejeitados de grande dimensão, outros materiais).</p> <p data-bbox="627 1283 1442 1359">Abre-Sacos para homogeneizar o material, e Separador Balístico separação do material em 3 frações: Finos, Rolantes e Planos.</p> <p data-bbox="627 1379 1358 1408">Sistema de aspiração automática, eletroímã para metais ferrosos.</p> <p data-bbox="627 1429 1362 1458">Cabine de triagem dos rolantes (PET, PEAD, Plásticos Mistos, ECAL).</p> <p data-bbox="627 1478 1134 1507">Correntes de Foucault, separação do alumínio.</p> <p data-bbox="627 1527 1442 1603">Linha de triagem dos aspirados (filme, embalagens, papel, plásticos mistos e rejeitados).</p> <p data-bbox="627 1624 1150 1653">Prensa de materiais (fardos com cerca de 1 m³).</p> |
| <p data-bbox="296 1680 580 1709">Central de Compostagem</p>  | <p data-bbox="627 1680 1062 1709">Área total de implantação de 40.000m².</p> <p data-bbox="627 1729 1294 1758">Capacidade para valorizar 60.000 t./ano de matéria orgânica.</p> <p data-bbox="627 1778 1262 1807">Produção de cerca de 15.000 t./ano de corretivo orgânico.</p> <p data-bbox="627 1827 1442 1948">Área para receção de resíduos: 480 m² (capacidade de armazenamento para 3 dias). Tratamento Mecânico Primário e Secundário: Crivos (150mm / 60mm), separação magnética, destroçador para resíduos verdes.</p> |

TABELA 4.2 (Continuação) – Descrição das Unidades Operacionais do SIGR da Lipor (Fonte: adaptado de <http://www.lipor.pt/pt/residuos-urbanos/>).

| Unidades Operacionais | Caracterização |
|--|---|
| <p>Central de Compostagem</p> | <p>Compostagem: 18 túneis, controlo por sondas de temperatura e oxigénio. Maturação: nave com pavimento ventilado (área de 2.900 m²). Afinação: separação magnética seguida de crivagem e separação de materiais leves e pesados (<i>Windshifter ballistic separator</i>). Armazenamento e Ensacagem: armazém com 6.700 m², sistema automático de ensacagem, sistema de granulação. Tratamento dos Odores e do ar contaminado.</p> |
| <p>Central de Valorização Energética</p>  | <p>Capacidade de tratamento de 380.000 t/resíduos/ano (para um Poder Calorífico Inferior (PCI) de 7700 kJ/kg). Produção de 25MWh de energia. Báscula com dispositivo automático de pesagem, fossa de receção em edifício fechado e depressionado com capacidade de 18.000 m³, ponte rolante de sustentação ao pólo de garras, tremonhas de alimentação. Grelhas de combustão inclinadas 26° sobre a horizontal e câmaras de combustão, extratores de escórias, tapetes vibrantes, separadores magnéticos, fossas de rejeitados (escórias e sucatas ferrosas), tratamento de gases, reatores, filtros de mangas. Sala de Controlo com consolas de comando da ponte rolante e pólo de garras, circuito interno de televisão, sistema informático de controlo do processo, painéis sinópticos de energia.</p> |
| <p>Aterro Sanitário</p>  | <p>Infraestrutura constituída por 2 células específicas: Alvéolo Sul para deposição de RU – 380.000 t, e Alvéolo Norte para deposição de cinzas inertizadas e escórias – 550.000 t. Impermeabilização dos alvéolos diferenciada de acordo com a tipologia de resíduos a que se destinam, com sucessivas camadas de geocompósitos drenantes. ETAL com capacidade de tratamento - 35 m³/dia, Lagoa de estabilização 2.600 m³. Tratamento biológico de nitrificação/desnitrificação, ultrafiltração e osmose inversa. Tratamento de Biogás através de queimador.</p> |

4.4. Gestão de Resíduos na Lipor

Para uma correta gestão de resíduos, existem duas informações base, que permitem ser o ponto de partida para a definição de qualquer estratégia de gestão.

A primeira está relacionada com a caracterização dos resíduos, ou seja, para podermos de uma forma eficaz efetuar o tratamento dos resíduos precisamos de conhecê-los.

Na figura 4.4, e de acordo com a caracterização de resíduos efetuada pela Lipor em 2013 - Anexo A, podemos verificar quais os principais constituintes dos resíduos por categorias.

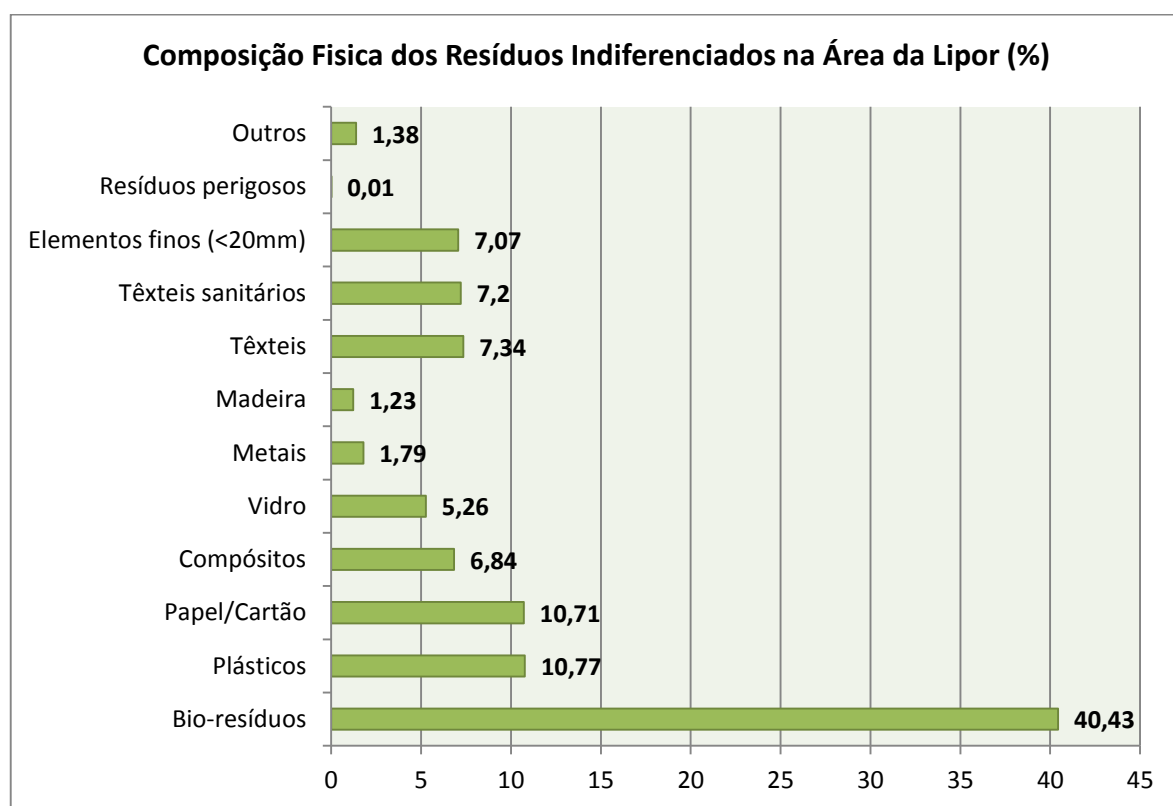


FIGURA 4.4 – Composição física dos resíduos por categorias (Fonte: Caracterização Lipor 2013).

A segunda informação relevante é a análise quantitativa da produção anual de resíduos. Tendo por base a análise da figura 4.5, podemos concluir que desde o ano 2000, a maior produção de resíduos verificou-se no ano 2001 com uma produção de 549 978 t., enquanto o ano com menor produção foi o ano de 2013 com uma produção total de 461 971 t.

Os dados apresentados na mesma figura, são concordantes com a situação que se verificou a nível nacional concluindo-se que a produção de resíduos na área da Lipor foi-se alterando essencialmente por razões de ordem demográfica e económica.

É ainda de salientar o decréscimo acentuado a partir do ano 2010 e até 2013 que coincide com o chamado período de “crise económica”, por outro lado, o crescimento verificado de 2013 para 2014 já reflete o clima económico mais favorável que se começa a verificar.

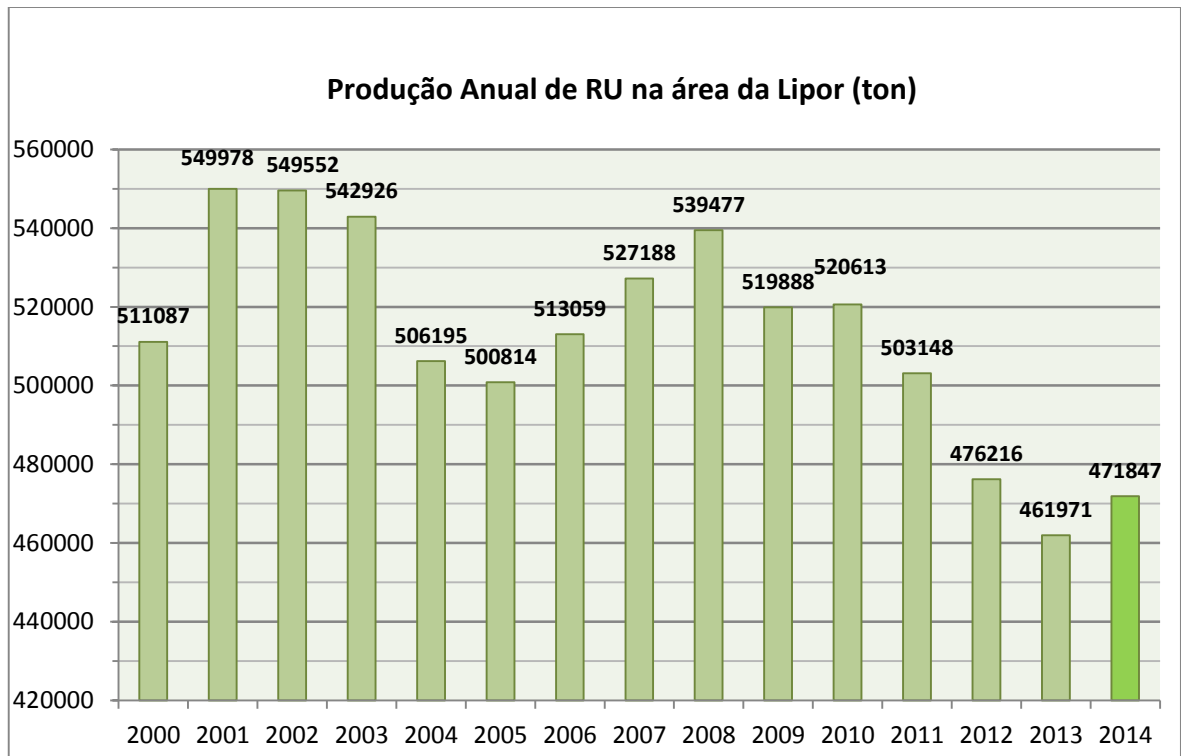


FIGURA 4.5 – Evolução Produção anual de RU (Fontes: Lipor, 2007; APA, 2013a; APA, 2014).

Para que a análise do SIGR da Lipor seja completa importa referir que a análise ao balanço de massas é essencial. Assim, na figura 4.6 apresenta-se o balanço relativo ao ano de 2013, podendo concluir-se que a recolha indiferenciada de resíduos continua a predominar, a recolha seletiva tem como destino as operações de valorização orgânica e triagem, e a operação de valorização energética é aquela em que é tratada a maior quantidade de RU.

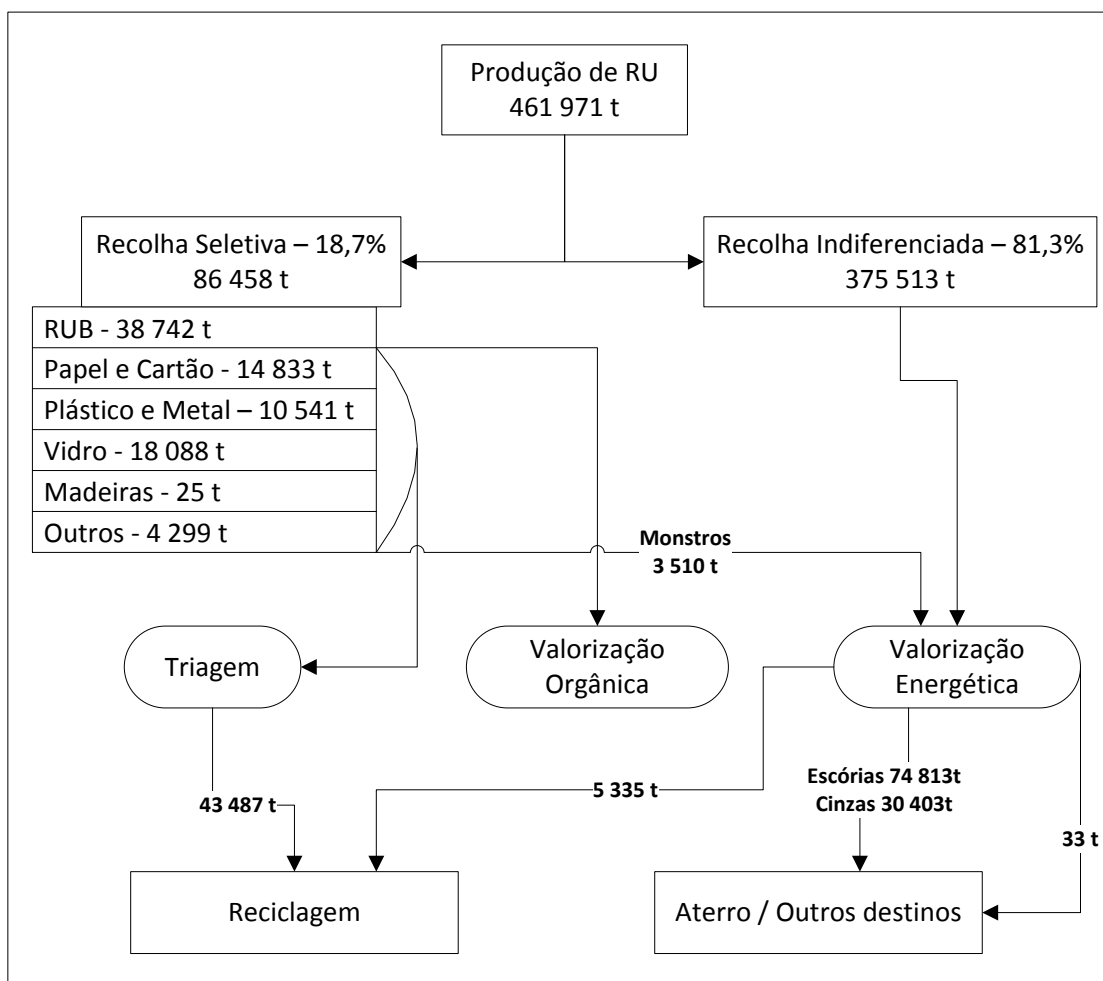


FIGURA 4.6 – Balanço de massas do SGR da Lipor – ano 2013 (Fontes: APA, 2014; Lipor, 2014b).

A forma como os resíduos são recolhidos e posteriormente tratados, são também componentes relevantes para a organização e otimização do SGR, que serão abordados nos capítulos seguintes.

4.5. Caracterização dos equipamentos, sistemas de deposição e transporte

A componente relacionada com a recolha deposição e transporte dos resíduos é de extrema relevância pois tem uma relação direta com os sistemas de tratamento aplicados

pelo SIGR. Na tabela 4.3, podemos relacionar as quantidades de resíduos rececionados em cada unidade, com o respetivo número de descargas, e a distância média efetuada por cada descarga.

TABELA 4.3 – Dados relativos às descargas e quantidades por unidades de tratamento ¹.

| Unidades de Tratamento | Distância média para descarga (Km) | Quantidades rececionadas (t) | N.º Descargas |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------|
| Reciclagem Multimaterial | 21 | 44206 | 23311 |
| Valorização Orgânica | 21 | 37988 | 13082 |
| Valorização Energética | 19 | 378990 | 59822 |
| Confinamento Técnico | 19 | 33 | 15 |
| | | 461217 | 96230 |

Para além das quantidades, é também relevante perceber como são acondicionados os resíduos. Neste campo, e atendendo à multiplicidade de meios de deposição que se verificam na área da Lipor e inclusive em cada um dos municípios, optou-se por agrupar a informação utilizando como referência a tipologia dos equipamentos e as características de recolha.

Os dados apresentados nas tabelas seguintes resultam da pesquisa efetuada no sentido de se apurar com a maior precisão possível a tipologia e quantidade dos equipamentos de deposição de resíduos. Esta agregação de dados baseou-se na pesquisa de informações na Lipor e junto dos municípios, foram também utilizadas as informações disponíveis nos *sites* dos municípios e das empresas que desenvolvem serviços ambientais nestes municípios. Na Tabela 4.4 apresentam-se os dados agrupados relativamente à recolha seletiva multimaterial.

¹ Os valores apresentados resultam da agregação dos dados relativos aos 8 municípios que integram o sistema Lipor. As quantidades rececionadas e o número de descargas foram obtidos através do programa de pesagens da Lipor. No cálculo da distância média para descarga foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Valor médio de km efetuado por cada município
- N.º de descargas por município e por unidade de tratamento
- Distâncias médias obtidas através do programa *Google Earth Pro*: Reciclagem Multimaterial e Valorização Orgânica (Lipor I - 41.199460, -8.545834); Valorização Energética e Confinamento Técnico (Lipor II - 41.228055, - 8.650403).

TABELA 4.4 – Capacidade instalada ao nível da Recolha Seletiva Multimaterial (Fonte: APA, Municípios e Lipor).

| Tipos de Equipamento | Contentores de Superfície | | | | | | Contentores Subterrâneos | | | |
|--|---------------------------|---------|--------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| | Ecopontos | Triplos | | Recolha Seletiva Porta a Porta | Vidrão Iglo | Vidrão Cyclea | | | | |
| Capacidade | 7,5 m ³ | 240 l | 1000 l | 140 l | 1,5 m ³ | 2,5 m ³ | 800 l | 3000 l | 5000 l | 2500 l |
| N.º de unidades | 2592 | 328 | 108 | 18680 | 282 | 312 | 5 | 155 | 344 | 45 |
| Capacidade total instalada 35.900 m³ | | | | | | | | | | |

Na figura 4.7 apresentam-se alguns exemplos da tipologia de equipamentos descritos na tabela anterior.



FIGURA 4.7 – Tipos de equipamentos para Recolha Seletiva: a) Ecoponto tipo *Cyclea*, b) Contentor Subterrâneo tipo *Subtainer*

Relativamente ao fluxo dos resíduos orgânicos, existe uma rede de recolha seletiva na origem instalada nos municípios apresentando-se na tabela 4.5 a capacidade disponível, e na figura 4.8 alguns exemplos dos equipamentos utilizados na recolha.

TABELA 4.5 – Capacidade instalada ao nível da Recolha Seletiva de Resíduos Orgânicos (Fonte: APA, Municípios, Lipor).

| Tipos de Equipamento | Contentores de Superfície | | | | | | |
|----------------------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 50 l | 80 l | 120 l | 140 l | 240 l | 360 l | 800 l |
| Capacidade | 566 | 457 | 312 | 495 | 433 | 4 | 136 |
| N.º de unidades | Capacidade total instalada 386 m ³ | | | | | | |



FIGURA 4.8 – Tipos de equipamentos para Recolha Seletiva de Resíduos Orgânicos: a) Contentor de 50 l b) Contentor 800 l

Na tabela 4.6, apresenta-se a capacidade de deposição para os resíduos indiferenciados, sendo de salientar que se estima que cerca de metade da recolha de resíduos indiferenciados ainda se efetua porta-a-porta, com a utilização de sacos de plástico para a deposição.

TABELA 4.6 – Capacidade instalada ao nível da Recolha Indiferenciada (Fonte: APA, Municípios, Lipor).

| Tipos de Equipamento | Contentores Superfície | | | | | | Contentores Subterrâneos | | |
|----------------------|--|-------|-------|-------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|
| | 120 l | 140 l | 240 l | 800 l | 1000 l | 1100 l | 800 l | 3000 l | 5000 l |
| Capacidade | 45 | 18946 | 46 | 10813 | 2377 | 180 | 3 | 39 | 1910 |
| N.º de unidades | Capacidade total instalada 25.564 m ³ | | | | | | | | |

Na figura 4.9 apresentam-se alguns exemplos da tipologia de equipamentos utilizados na recolha indiferenciada.



FIGURA 4.9 – Tipos de equipamentos para Recolha Indiferenciada a) Contentor Subterrâneo tipo *Molock* b) Contentor 800 l

Relativamente às viaturas utilizadas na recolha e transporte dos resíduos, estima-se que no global estejam afetas 52 viaturas ligeiras e cerca de 160 pesadas que utilizam como combustível o gasóleo, apenas 3 viaturas pesadas utilizam gás natural.

4.6. Situação atual, desafios futuros

A estratégia que a Lipor atualmente desenvolve procura dar resposta a todos os requisitos legais e de qualidade que a atuação na área da gestão de resíduos exige. A prova do trabalho realizado está patente no reconhecimento da Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), ao atribuir à Lipor, em 2014, o selo de “Qualidade do Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos”¹¹.

¹¹ Mais informação disponível em:

<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?FinalPath=Not%C3%ADcias&Section=News&FolderPath=&Name=Pr%C3%A9miosdequalidadedosservi%C3%A7osde%C3%A1guaseres%C3%ADduos2014g&SubFolderPath>

O cumprimento dos desafios impostos pelo PERSU 2020 implicará que nos próximos anos sejam desenvolvidas as estratégias necessárias para o cumprimento dos objetivos definidos no plano. Na tabela 4.7 estão identificados os 3 grandes objetivos que têm que ser atingidos até 2020.

TABELA 4.7 – Objetivos definidos no PERSU 2020 e situação em 2013 (Fontes: APA, 2014; MAOTE, 2014).

| | | Ano 2020 | Ano 2013 |
|-----------------------------|---|-------------|----------|
| Objetivos PERSU 2020 | Meta: Máxima Deposição RUB em Aterro (% RUB Produzidos) | 10 % | < 1% |
| | Meta: Mínimo de Preparação para Reutilização e Reciclagem (% RU Recicláveis) | 35 % | 26 % |
| | Meta: Retomas de RS (Kg/hab./ano) | 50 | 42 |

Pela análise da tabela anterior, podemos concluir que o investimento na recolha seletiva multimaterial será uma das componentes que terá que se reforçada para o cumprimento das metas definidas.

Neste pressuposto, e independentemente das estratégias que venham a ser definidas, o desenvolvimento de ACV será sempre uma mais-valia, quer na perspetiva de avaliação da situação atual, quer como registo histórico para comparações futuras.

Capítulo V – Métodos

5.1. Enquadramento

Neste capítulo pretende-se apresentar a metodologia aplicada no estudo de caso, caracterizar os *softwares* de análise de ciclo de vida e a recolha e tratamento dos dados.

Tendo em conta os objetivos que se pretendem atingir com este trabalho, nomeadamente encontrar relações entre variáveis, fazer descrições recorrendo ao tratamento dos dados recolhidos, a técnica de investigação em que este estudo se insere é de natureza quantitativa (Carmo, 1998).

A manipulação de variáveis (método experimental), a identificação e apresentação de dados, indicadores e tendências observáveis no estudo, decorrentes da aplicação do *software* mostra que o estudo recai no método de investigação quantitativo (Sousa & Baptista, 2011).

Para o sucesso da aplicação da metodologia quantitativa é essencial a correta definição da metodologia de recolha de dados, bem como a sua validação e coerência, que serão determinantes para a qualidade final do trabalho.

Uma parte dos dados utilizados nos *softwares*, está disponível no capítulo anterior com a caracterização do estudo de caso, os outros dados referenciados serão apresentados no presente capítulo, ou remetidos para documentos em anexo.

5.2. Caracterização e descrição dos *Softwares* utilizados

Neste estudo, recorreu-se à utilização de dois *softwares* de análise de ciclo de vida de resíduos urbanos, que pelas suas características técnicas viabilizam a sua utilização. Ambos já foram aplicados em países europeus, existindo referências na literatura sobre a sua aplicação na gestão de resíduos (Den Boer *et al.*, 2007; Teixeira, 2009; Gentil *et al.*, 2010). Outros fatores que contribuíram para a seleção destas ferramentas foram a informação disponível para a sua utilização, e a disponibilização gratuita das mesmas.

Os resultados obtidos através de *softwares* de ACV são apresentados em categorias de impacto, pelo que a definição e caracterização dessas categorias é importante, para a interpretação e análise dos resultados obtidos. Nos *softwares* utilizados as categorias de impacto já se encontram pré definidas.

Acidificação

Os poluentes acidificantes têm uma ampla variedade de impactes sobre o solo, águas subterrâneas, águas de superfície, organismos e ambiente construído (edifícios). Uma série de emissões de origem humana ou são ácidas, ou são convertidas em ácido por processos na atmosfera. Exemplos de tais emissões são o dióxido de enxofre SO_2 que se transformam em ácido sulfúrico H_2SO_4 , e o óxido de azoto NO que se transforma em ácido nítrico HNO_3 (Guinée *et al.*, 2002).

Relativamente à gestão de resíduos os principais impactes são as emissões de óxidos de azoto, que resultam de processos térmicos, (Hellweg 2003, *apud* Den Boer *et al.*, 2005), a amónia resultante dos processos biológicos (Schwing, 1999, *apud* Den Boer *et al.*, 2005), e as emissões de óxido de enxofre resultante de produção de eletricidade.

Formação de foto oxidantes

Este processo, resulta na formação de compostos químicos reativos como o ozono, através da ação da luz solar sobre determinados poluentes atmosféricos primários. Estes compostos podem ser prejudiciais para a saúde humana, para os ecossistemas e para as culturas agrícolas. As áreas relevantes de proteção são a saúde humana, o ambiente intervencionado pelo Homem, ambiente e recursos naturais (Guiné *et al.*, 2002).

No que respeita à gestão de resíduos para esta categoria de impacto, as emissões relevantes são: compostos orgânicos voláteis - não metano, o metano a partir de aterros sanitários e as emissões de NO_x e CO a partir de processos térmicos (Hellweg *et al.*, 2003, Schwing 1999, *apud* Den Boer *et al.*, 2005).

Alterações climáticas

Alterações climáticas podem ser definidas como o impacto das emissões humanas sobre a força radioativa (ou seja, a absorção de radiação de calor) da atmosfera. Este fenómeno pode ter impactes adversos sobre os ecossistemas, na saúde humana e no bem-estar

material. O aumento da radiação provoca o aumento da temperatura na superfície da terra, sendo vulgarmente conhecido como o "efeito de estufa" (Guiné *et al.*, 2002).

Emissões típicas de gestão de resíduos que contribuem para o potencial de aquecimento global incluem dióxido de carbono, óxido nitroso e metano (Hellweg 2003, Schwing 1999, *apud* Den Boer *et al.*, 2005).

Assim, os processos térmicos e biológicos de tratamento de resíduos são contribuintes relevantes para este critério.

O potencial de aquecimento global (GWPs) é utilizado como fator de caracterização para avaliar e agregar as intervenções na categoria de impacto alterações climáticas (Den Boer *et al.*, 2005).

Nas metodologias de ACV é normalmente utilizado o modelo desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que define o potencial de aquecimento global dos diferentes gases de efeito estufa para um horizonte de tempo de 100 anos (GWP_{100}) (CML, 2015; Guinée *et al.*, 2002).

Eutrofização

A eutrofização abrange todos os potenciais impactes resultantes dos níveis excessivos de macronutrientes, sendo os mais importantes o azoto e fósforo.

O enriquecimento em nutrientes, pode causar um crescimento indesejável na composição de espécies e a produção de biomassa excedente quer no ecossistema aquático quer no terrestre (Guinée *et al.*, 2002).

Relativamente à gestão de resíduos o potencial eutrofização é atribuído com base nas emissões atmosféricas de NO_x e amoníaco (Schwing 1999, Hellweg 2003 *apud* Den Boer *et al.*, 2005), e nas emissões de fósforo e azoto para o meio aquático, em resultado de processos biológicos.

Quanto à eutrofização, o software WAMPS utiliza como unidade o O₂ eq., e o LCA-IWM o PO₄ eq. De forma a possibilitar a comparação de resultados, e tendo em consideração que outros trabalhos publicados (Guinée *et al.*, 2002; Gomes, 2008; Pires *et al.*, 2011) consideram como unidade para a eutrofização o PO₄ eq., utilizou-se o seguinte fator de equivalência: [1 kg O₂ = 0.022 kg PO₄] (EC, 2006).

5.2.1. Software LCA-IWM “Life Cycle Assessment – Integrated Waste Management”

Esta ferramenta de ACV, especificamente desenvolvida para resíduos urbanos, foi construída no âmbito de um projeto europeu financiado pela União Europeia através 5º programa de ação em matéria de ambiente, estando envolvidos parceiros representantes de vários países: Alemanha, Holanda, Grécia, Espanha, Eslováquia, Áustria, Lituânia, Luxemburgo e Polónia. A coordenação do projeto esteve a cargo da universidade de *Dramstad* na Alemanha, sendo a ferramenta desenvolvida no período compreendido entre 2002 e 2005 (Den Boer *et al.*, 2005).

De acordo com os autores, o LCA-IWM apresenta duas componentes distintas: A primeira componente efetua uma previsão de produção de RU (*municipal waste prognostic tool*), e a segunda componente procede à avaliação do sistema de gestão de resíduos (*waste management system assessment tool*).

Analisando a figura 5.1 podemos verificar que esta ferramenta contempla para o cálculo dos impactes os equipamentos, o sistema de recolha e transporte, e as unidades de tratamento.

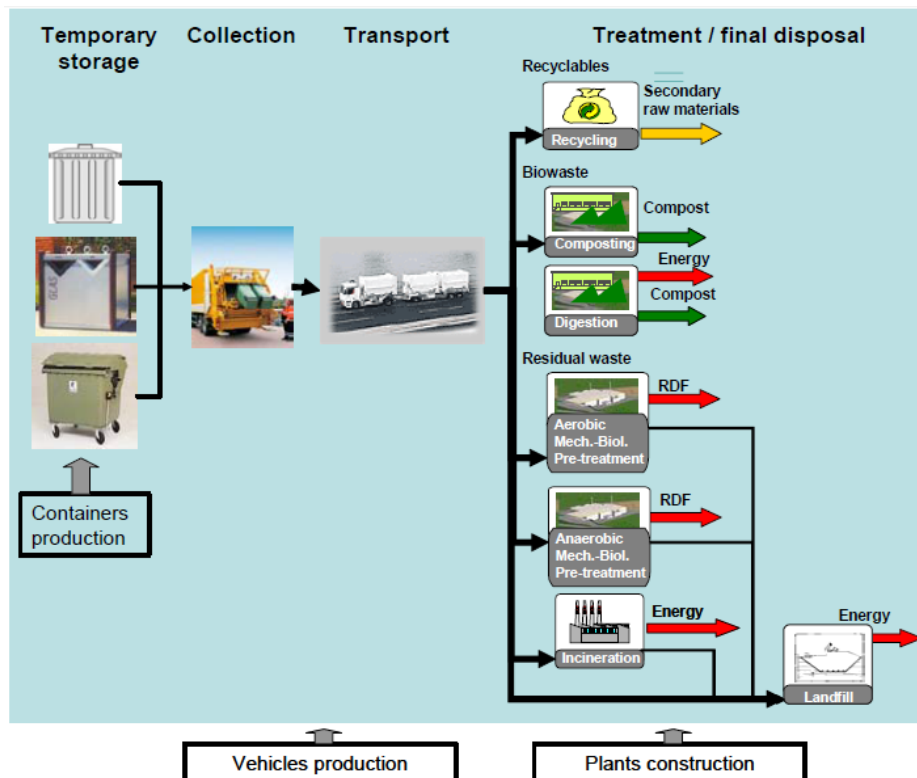


FIGURA 5.1 – Definição das fronteiras na ACV com o *software* LCA-IWM (Fonte: Den Boer *et al.*, 2005).

No que respeita ao cálculo do impacte ambiental, o *software* utiliza a metodologia CML 2001, em que os fatores de impacte são agrupados em 6 categorias: depleção abiótica, toxicidade humana, aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes. Na tabela 5.1, apresentam-se de uma forma resumida, os valores que a versão do *software* utiliza para o cálculo dos impactes ambientais.

TABELA 5.1 – Referências utilizadas pelo software LCA- IWM no cálculo dos impactes ambientais (Fonte: Den Boer *et al.*, 2005).

| Categoria de impacte | Referência / fonte utilizada | Valor / unidade |
|---|--|---|
| Depleção abiótica | ADP (Guinee <i>et al.</i> , 2001) | 1,48E ⁺¹⁰ kg Sb eq. |
| Aquecimento global | GWP100 (Houghton <i>et al.</i> , 1994 & 1995) | 4,82E ⁺¹² kg CO ₂ eq. |
| Toxicidade humana | HTP inf. (Huijbregts, 1999 & 2000) | 7,57E ⁺¹² kg 1,4-dichlorobenzene eq. |
| Formação de foto oxidantes | POCP (Jenkin & Hayman, 1999; Derwent <i>et al.</i> , 1998; high Nox) | 8,24E ⁺⁰⁹ kg C ₂ H ₄ eq. |
| Acidificação | AP (Huijbregts, 1999; average Europe total, A&B) | 2,74E ⁺¹⁰ kg SO ₂ eq. |
| Eutrofização | EP (Heijungs <i>et al.</i> , 1992)) | 1,25E ⁺¹⁰ kg PO ₄ eq. |
| <i>Situação de referência: Caracterização das emissões anuais europa ocidental – indicador CML 1995</i> | | |

Este *software* permite para além da análise à vertente ambiental, avaliar outros componentes como a vertente económica e social do sistema, no entanto, embora bastante pertinentes estas componentes não se enquadram nos objetivos definidos neste trabalho, e por isso não foram avaliadas.

5.2.2. Software WAMPS - Waste Management Planning System

O WAMPS é um aplicativo que pode ser usado como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no processo de planeamento, sendo utilizado para projetar sistemas mais

adequados do ponto de vista ambiental, para a gestão de resíduos numa determinada região, com as suas condições específicas. Este *software* foi desenvolvido durante os anos 2011 e 2012, estando disponível para uso público desde abril de 2013 (WAMPS, 2013a).

O funcionamento do programa baseia-se na inserção de dados referentes a cinco parâmetros: Composição dos Resíduos, Triagem de resíduos, Sistemas de Tratamento, Recolha e Transporte. Após a introdução dos dados, é calculado o desempenho ambiental do sistema através da medição do impacto nas 4 categorias seguintes: aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes. É também possível a comparação de cenários.

Tal como o *software* anterior também o WAMPS foi desenvolvido e financiado através de um projeto europeu *RECO Baltic 21 Tech*, em que participaram os seguintes países: Suécia, Estónia, Bielorrússia, Letónia, Polónia, Lituânia e Alemanha (WAMPS, 2013b).

O WAMPS inclui um **sistema de gestão de resíduos** e um **sistema de compensação**. O sistema de gestão de resíduos pode produzir produtos diferentes, dependendo da escolha do tratamento e método de reciclagem: calor, vapor, eletricidade, combustível, adubo, papel, plásticos, metais, etc.

Quando um produto é produzido a partir de resíduos, ele substitui um produto a partir de uma fonte virgem no sistema de compensação. Cada um dos produtos residuais tem uma fonte de matéria-prima virgem alternativa com um processo de produção que foi incluído no modelo (WAMPS, 2013c).

O cálculo das emissões do sistema é obtido de acordo com a seguinte fórmula:

$$E_{\text{sistema}} = E_{\text{resíduos}} - E_{\text{compensação}} \quad (\text{Eq. 1})$$

E_{sistema} : emissão sistema (t/ano).

$E_{\text{resíduos}}$: emissão resultante da gestão de resíduos que produz uma determinada quantidade de produto (t/ano).

$E_{\text{compensação}}$: emissão da quantidade correspondente à produção matérias virgens no sistema base (t/ano).

5.3. Dados utilizados na ACV

Relativamente aos dados utilizados nos *softwares*, optou-se por considerar como referência o ano de 2013, e por se definir a tonelada de RU tratada no sistema Lipor como a unidade funcional do estudo.

A fase de recolha e preparação de dados foi bastante extensa, pois foi necessário recorrer a diversas fontes de informação, e o formato como os dados primários foram recolhidos foi muito diverso, apresentam os mesmos indicadores sob diversas formas. Assim foi necessário efetuar um tratamento aos dados recolhidos no sentido de serem agregados e uniformizados, e assim possibilitar a sua utilização nos *softwares*, sendo esta uma das limitações identificadas nesta investigação. É relevante também referir que sempre que possível tentou-se confirmar e validar os dados em mais do que uma fonte (por exemplos dados fornecidos pelos municípios e dados reportados pela APA).

Muito embora tenham sido utilizados nos *softwares* os mesmos dados, a metodologia e nível de detalhe de introdução foi diferente, o que também contribui para o prolongamento desta fase. Em paralelo com a consolidação de dados, foram estudados os manuais e tutoriais sobre a utilização dos *softwares*. Mesmo com estas informações, foi necessário mais tempo para a exploração dos programas, nomeadamente para testar a metodologias de introdução de dados, perceber a forma de funcionamento e calibração dos programas, e compreender e interpretar os resultados obtidos.

5.3.1. Ferramenta LCA-IWM

A utilização da ferramenta LCA-IWM tem por base duas fases que podem ser independentes ou complementares. No caso da presente investigação foram aplicadas as duas fases. A primeira fase corresponde à previsão de geração de resíduos - ***municipal waste prognostic tool***, apresentando-se os dados introduzidos no *software* na tabela 5.2. Na segunda fase, o *software* efetua uma avaliação do sistema de gestão de resíduos

através da ferramenta *waste management system assessment tool*, apresentando-se os dados utilizados na tabela 5.3.

Relativamente à previsão de produção de resíduos, com base nos dados de 2013, o *software* desenvolveu uma previsão para a região da Lipor no ano de 2020. E escolha deste ano está diretamente relacionada com as metas que o PERSU define, e com a construção do cenário que permita atingir essas metas.

TABELA 5.2 – Informação Introduzida no *software* LCA-IWM *prognostic tool*

| 1. Informação Geral | |
|--|--|
| Nome da cidade / região | Lipor (Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Valongo) |
| Nome do país | Portugal |
| Número de habitantes ³ | 972 232 |
| Ano de referência / Ano de previsão | 2013 / 2020 |
| 2. Quantidade de RU rececionada no ano de referência - 2013 (t) ¹ | |
| Indiferenciados | 379 023 |
| Papel/Cartão | 14 833 |
| Vidro | 18 088 |
| Metal ^{a)} | 1 025 |
| Plástico e Compósitos | 9 485 |
| Orgânicos Biodegradáveis | 12 785 |
| Verdes | 22 178 |
| Monstros não metálicos | 3 551 |
| Domésticos Perigosos | 13 |
| Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos | 664 |
| 3. Composição dos RU indiferenciados na área de estudo no ano de referência - 2013 (%) ² | |
| Papel/Cartão | 10,7 |
| Vidro | 5,3 |
| Metal | 1,8 |
| Plástico e Compósitos | 17,6 |
| Orgânicos | 40,4 |
| Domésticos Perigosos | 0,1 |
| Outros | 24,1 |

TABELA 5.2 (Continuação) – Informação Introduzida no *software LCA-IWM prognostic tool*.

| 4. / 5. Indicadores socioeconómicos ano de referência / ano de previsão | | 2013 ³ | 2020 ⁴ |
|--|--|-------------------|-------------------|
| Indicadores área Lipor | População Ativa (%) | 67,09 | 66,2 |
| | Tamanho médio do agregado | 2,69 | 2,57 |
| | Taxa Mortalidade Infantil (por 1000 nascimentos) | 3,21 | 2,80 |
| Indicadores nacionais | Esperança média de vida (anos) | 80 | 80,9 |
| | PIB (USD PPP) ^{b)} % variação PIB | 18210 | 2,3% |
| | Taxa Mortalidade Infantil (por 1000 nascimentos) | 2,90 | 2,50 |
| | Mão-de-obra Agricultura (%) | 10,20 | 7,60 |
| 6. Previsão de aplicação de medidas de prevenção e redução na zona em estudo entre 2016-2020 | | | |
| Medidas Públicas - implementadas pela entidade responsável pela gestão de resíduos (% dos cidadãos) | Autocolantes “publicidade aqui não” | | 20 |
| | Promoção de Serviços Reparação | | 5 |
| | Uso de Bens Reutilizáveis (mercados 2.ª mão) | | 5 |
| | Promoção de Serviços de Aluguer | | 5 |
| | Substituição das fraldas descartáveis | | 4 |
| | Intensificação da sensibilização (máx. 20 %) | | 8 |
| | Compostagem caseira | | 8 |
| Medidas Internas - desenvolvidas por cada cidadão na sua habitação ou local de trabalho (%) | Uso de material reutilizável | | 25 |
| | Uso dos dois lados do papel | | 90 |
| | Uso de toalhas reutilizáveis | | 50 |
| 7. Taxa de recolha seletiva no ano de referência e no ano de previsão (%) | | 2013 ⁵ | 2020 ⁶ |
| Papel e Cartão | | 27 | 35 |
| Vidro | | 47 | 55 |
| Metal | | 17 | 35 |
| Plástico e Compósitos | | 12 | 25 |
| Orgânicos | | 18 | 25 |
| Domésticos Perigosos | | 3 | 3 |
| REEE | | 7 | 7 |
| <p>¹ Valores calculados a partir do relatório de estatística Lipor 2013 (Lipor, 2014b), e do relatório anual de resíduos 2013 da APA (APA, 2014).</p> <p>² Valores obtidos através da caracterização anual realizada pela Lipor - Anexo A.</p> <p>³ Dados obtidos em www.pordata.pt: Fontes/Entidades: INE, APA/MAOTE, CGA/MEF, INAG/MAOTE, DGEEC/MEC, BP, II/MSESS, DGAI/MAI, ISS/MSESS, DGEG/MAOTE, DGPJ/MJ, IGP, SEF/MAI, DGS/MS, DGO/MEF, ICA/SEC, IEFM/MSESS - (Pordata, 2015).</p> <p>⁴ Resultados projetados tendo com referências os dados preexistentes no software.</p> <p>⁵ Taxas calculadas pelo software de acordo com os dados introduzidos.</p> <p>⁶ Taxas calculadas para se atingir as metas definidas no PERSU 2020.</p> <p>^{a)} Inclui sucatas.</p> <p>^{b)} USD PPP - dólares americanos, paridades de poder de compra.</p> | | | |

Após a introdução dos dados, foram gerados pelo *software* os seguintes resultados:

1. Estimativa da produção de RU total e por tipo de fluxo para o ano de previsão (Anexo C - Tabela C1);
2. Estimativa da recolha seletiva para o ano de previsão com 2 cenários: Recolha ajustada à produção de resíduos e idêntica ao ano de referência, Crescimento na recolha para o cumprimento das metas previstas (Anexo C - Tabela C2);
3. Variação da recolha seletiva por tipo de fluxo entre o ano de referência e de previsão para o cumprimento de metas (Anexo C - Tabela C3).

Os resultados obtidos através do *waste prognostic tool* são muito importantes, pois será com base nestes resultados que os cenários propostos serão desenvolvidos nos *softwares* LCA-IWM *assessment tool* e WAMPS. Após os resultados de previsão para 2020 gerados pelo modelo, iniciou-se a utilização do *software* LCA-IWM *assessment toll*, com a utilização dos resultados obtidos. Este *software* permite a modelação de cenários ao nível das opções de gestão de resíduos, permitindo obter informações sobre os potenciais impactes associados a cada opção.

Na tabela 5.3, apresentam-se os dados utilizados no *software*.

TABELA 5.3 – Informação Introduzida no *software* LCA-IWM *assessment tool*

| |
|--|
| 1.Dados Gerais |
| Os dados introduzidos são os mesmos utilizados na primeira etapa do <i>software</i> e descritos na tabela 5.2 |
| 2. Dados obtidos através do modelo de previsão |
| Os resultados obtidos na primeira etapa (Anexo C) são introduzidos nesta etapa |
| 3. Dados relativos ao acondicionamento e armazenamento dos resíduos (equipamentos de deposição) |
| 4. Elementos relativos à recolha e transporte |
| Os dados utilizados estão descritos no subcapítulo 4.5 |
| 5. Dados relacionados com o tratamento de destino final dos resíduos |
| Foram considerados os cenários definidos para o estudo descritos na tabela 5.4 |
| <i>Todos os dados não disponíveis, e necessários para o funcionamento do software, são utilizados os valores de referência que estão na base de dados, e que permitem o cálculo do resultado final.</i> |

Após a introdução dos dados, foram gerados pelo *software* os resultados dos impactos ambientais associados às atividades de gestão dos resíduos em 6 categorias de impacto (Anexo D). As 6 categorias de impacto obtidas são: depleção abiótica, toxicidade humana, aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes. No entanto, no capítulo resultados e discussão apenas serão analisadas as últimas 4, para possibilitar a comparação com o *software* WAMPS e de acordo com o explicado nos métodos.

5.3.2. Ferramenta WAMPS

Para a utilização da ferramenta WAMPS, apresentam-se na tabela 5.4 os dados / elementos introduzidos no programa.

TABELA 5.4 – Informação Introduzida no *software* WAMPS

| |
|--|
| 1. Composição dos resíduos |
| Foram utilizados os dados descritos no anexo A |
| 2. Triagem de resíduos |
| Apresentam-se no anexo E, os valores introduzidos para o ano de referência C1 RU Lipor 2013 , e para os dois cenários em estudo C2 RU Previsão BAU 2020 e C3 Metas PERSU 2020 . |
| 3. Sistemas de tratamento |
| Foram considerados os seguintes sistemas de tratamento: triagem/reciclagem, compostagem, incineração e aterro. Os dados introduzidos encontram-se no anexo E. |
| 4. Recolha |
| Foram considerados 6 elementos para este parâmetro: distância média entre pontos de recolha, média de resíduos recolhidos, distância até ao local de tratamento, frequência de recolha, número de pontos de recolha e tipo de veículo utilizado. |
| 5. Transporte |
| Foram considerados 5 elementos para este parâmetro: distância até ao local de tratamento, consumo de combustível no transporte até à unidade de tratamento, consumo de combustível após descarga, carga transportada no retorno e quantidade transportada. |

Os resultados obtidos encontram-se descritos no anexo F, com os impactes ambientais associados a cada uma das atividades de gestão dos resíduos e em 4 categorias de impacte (aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes).

5.4. Definição e modelação de cenários

Para possibilitar a comparabilidade entre os resultados obtidos nos diferentes *softwares*, foram padronizados os dados introduzidos.

De forma a avaliar o impacte atual do SGR da Lipor, e permitir uma referenciação com os cenários criados, foi definido como situação de referência o ano de 2013 – **C1 RU Lipor 2013**. Foram também criados 2 cenários, através da ferramenta *municipal waste prognostic tool*, apresentando-se os resultados no anexo C - tabela C2. Os cenários criados visam avaliar o impacte associados à gestão dos resíduos no ano de 2020, uma vez que será nesta data que terão que ser atingidas as metas definidas no PERSU.

Para o **cenário 1**, os dados apresentados têm por pressuposto que se mantêm sensivelmente as mesmas taxas de recolha de resíduos, ajustando-se às variações da quantidade total de resíduos – **C2 RU Previsão BAU 2020**.

Relativamente ao **cenário 2**, este foi construído com o pressuposto que será desenvolvido um esforço no processo de recolha de resíduos, para que sejam atingidas as metas preconizadas no âmbito do PERSU 2020 – **C3 Metas PERSU 2020**.

Na tabela 5.5, apresenta-se uma sistematização dos dados que caracterizam a situação de referência e os dois cenários criados.

TABELA 5.5 – Situação de referência e cenários definidos: quantidades e processos de gestão e tratamento

| Situação Referência / Cenários | Quantidade RU Rececionadas (t) | Reciclagem | Valorização Orgânica | Valorização Energética | Confinamento Técnico |
|--------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| C1 RU Lipor 2013 | 461 971 | 9,6 % | 8,3 % | 82 % | < 1 % |
| C2 RU Previsão BAU 2020 | 496 800 | 10,2 % | 8,0 % | 81 % | 0,7 % |
| C3 Metas PERSU 2020 | 496 800 | 15,8 % | 8,8 % | 74,7 % | 0,7 % |

Apesar da harmonização dos dados aquando da sua introdução nas ferramentas, verificam-se nos resultados finais algumas discrepâncias entre os valores introduzidos e os valores reportados. Estas diferenças podem estar associadas ao próprio modo de funcionamento dos programas.

Apesar das tentativas de correção nas ferramentas, subsistem algumas diferenças nos valores com erros aproximados de 3%, que atendendo ao volume de informação reportada e à impossibilidade de alterar as predefinições dos *softwares*, poderá ser considerado aceitável. Como suporte à situação descrita, temos o exemplo do *software LCA-IWM - municipal waste prognostic tool*, em que existe um alerta para que os resultados obtidos possam ter erros aproximados de 5%, no que diz respeito às previsões relativas à quantidade total de RU no período de 5 a 10 anos (Den Boer *et al.*, 2005).

5.5. Preparação do Grupo Focal

Com o objetivo de analisar e validar os resultados deste trabalho de investigação, preparou-se um grupo focal, em que se apresentaram as ACV desenvolvidas nos dois softwares, os principais dados utilizados, e os resultados obtidos.

Para que os resultados deste grupo focal pudessem ser atingidos, foram selecionados técnicos e especialistas que trabalham na Lipor, que pelas suas funções, experiência e conhecimentos poderiam dar um importante *feedback* e validação sobre este trabalho.

Os 4 participantes no grupo focal representam várias áreas da organização: DVECT – Divisão de Valorização Energética e Confinamento Técnico, DECRI – Departamento de Educação Comunicação e Relações Institucionais, GASQT – Gabinete de Auditoria Sustentabilidade e Qualidade Total e o DPL – Departamento de Produção e Logística, sendo que desempenham há vários anos funções na Lipor e apresentam um conhecimento pericial sobre o funcionamento do SIGR.

Também participaram na sessão a Professora Doutora Ana Paula Martinho e Professora Doutora Sandra Sofia Caeiro na qualidade de orientadora e coorientadora deste trabalho, respetivamente.

O papel do mestrando foi de coordenar todas as ações desenvolvidas no grupo focal, apresentar o *power point*, organizar os diferentes materiais a serem apresentados aos técnicos convidados, inquirir as questões chave aos intervenientes e promover a discussão e garantir o feedback dos intervenientes.

Na preparação do grupo focal, foi criada uma apresentação *power point* (anexo G), com o objetivo de enquadrar os participantes, e apresentar os principais elementos deste trabalho. Para além da apresentação foram preparados uma série de documentos de suporte nomeadamente a composição física dos resíduos, a informação introduzida nos *softwares* e os resultados obtidos, que foram distribuídos pelos participantes.

No planeamento desta atividade previu-se uma duração aproximada de 90 minutos, sendo que após a apresentação inicial do trabalho (20 minutos), os participantes poderiam dar o seu *feedback* sobre o trabalho. O grupo focal ocorreu nas instalações da Lipor em maio de 2015.

Foram identificadas as seguintes questões chave a serem debatidas com os participantes:

- Consideram os dados de base que foram utilizados nos *softwares* adequados?
- A projeção apresentada para 2020 é realista?
- Consideram os resultados consistentes e robustos?

- Qual dos *softwares* consideram que apresenta dados mais úteis?
- Qual a mais-valia para a Lipor, com a realização deste estudo?
- Têm conhecimento de aplicação de *softwares* de ACV noutros SIGR?
- Comentários / Sugestões.

Os comentários que surgiram no grupo focal foram devidamente anotados e incorporados na discussão dos resultados.

Capítulo VI – Resultados e Discussão

6.1. Resultados do Software LCA-IWM

Os resultados apresentados na figura 6.1, comparam os impactes gerados nos 2 cenários em estudo através do *software* LCA-IWM. Na sua análise podemos concluir que é o cenário 2 (C3 – Metas PERSU 2020), que apresenta um melhor desempenho em todos os impactes analisados.

Numa comparação direta entre o cenário 1 (C2 RU Previsão BAU 2020) e o cenário 2, em que a quantidade total de resíduos a tratar é a mesma, sendo que a variação está nas quantidades encaminhadas para as diferentes unidades de tratamento, podemos verificar que o impacte mais relevante e com uma redução significativa é o aquecimento global, resultado da diminuição da quantidade de resíduos incinerados.

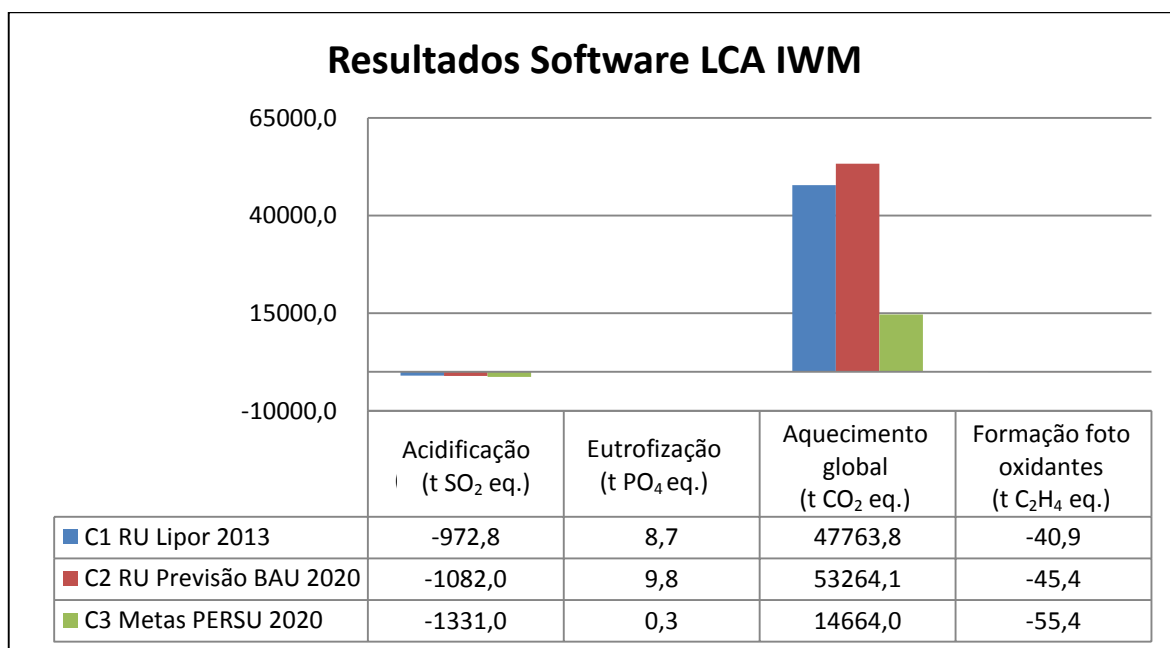


FIGURA 6.1 – Categorias gerais de impacte obtidas no software LCA-IWM para a situação de referência e para os cenários em estudo

Após a comparação efetuada, foi também realizada uma análise aos impactes verificados na situação de referência e nos cenários, e nas operações em que esses impactes se verificam. Esta análise permitiu verificar de que forma as diferentes operações contribuem para o valor da categoria de impacte. No caso do *software* LCA-IWM, as

operações de gestão de resíduos encontram-se agregadas em 3 áreas: deposição e equipamentos, recolha e transporte e operações de tratamento.

Relativamente à acidificação, apresentada na figura 6.2, verifica-se que a operação que mais contribui para este impacto é a recolha e transporte, e que em oposição as operações de tratamento têm um impacto positivo no sistema. É importante referir, que as operações de tratamento apresentam um resultado agregado, pelo que se a análise fosse desagregada por operação, como no *software* WAMPS, os resultados provavelmente seriam diferentes.

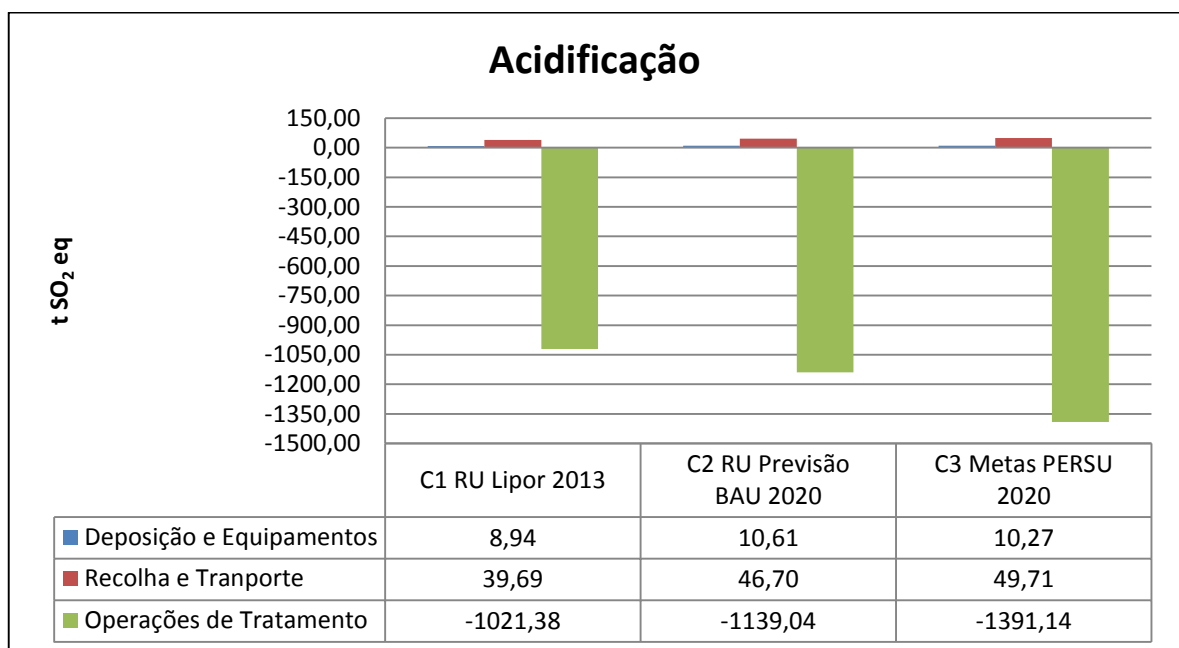


FIGURA 6.2 – Impacte acidificação para a situação de referência e cenários e por operação.

Tal como na acidificação na eutrofização também as operações de tratamento apresentam um contributo positivo. Analisando a figura 6.3 podemos concluir que as operações de recolha e transporte são aquelas com maior impacto quer na situação de referência quer nos cenários. No caso do cenário 2 (C3 Metas PERSU 2020), e comparativamente com o cenário 1 (C2 RU Previsão BAU 2020), as operações de tratamento apresentam uma melhoria significativa, resultante da maior quantidade de resíduos enviada para reciclagem.

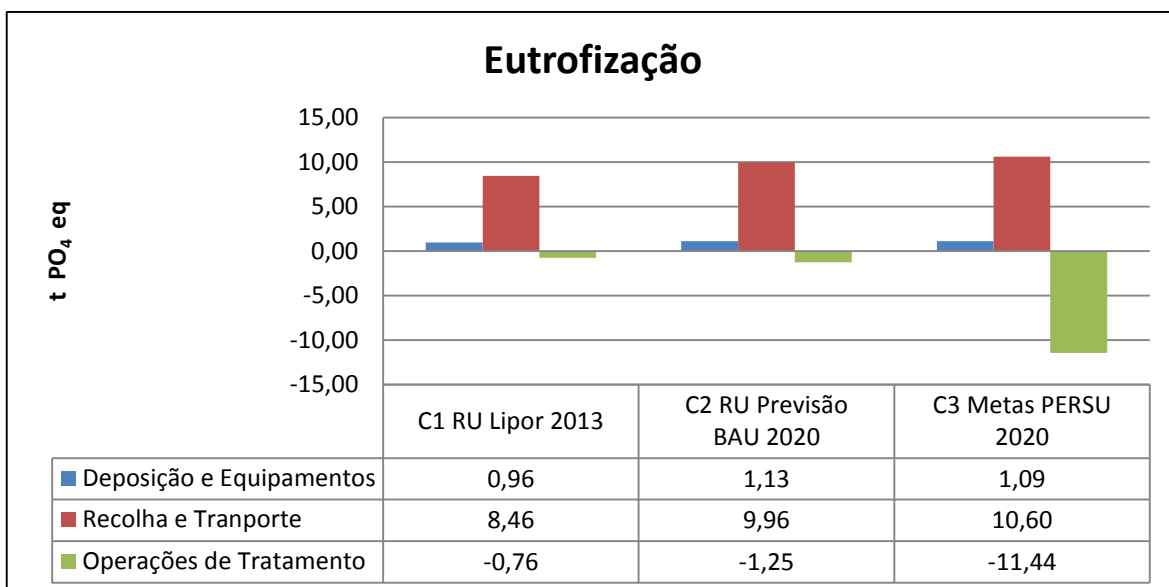


FIGURA 6.3 – Impacte eutrofização para a situação de referência e cenários e por operação.

Analisando a figura 6.4, verificamos que o aquecimento global é a categoria de impacte que apresenta os valores mais elevados de todas as categorias de impacte analisadas com este *software*. De referir, que nesta categoria, nenhuma das operações apresenta créditos para o sistema. Apesar desta constatação deverá ser salientada a grande variação de resultados entre os cenários 1 e 2 no que diz respeito às unidades de tratamento, sendo o impacte no cenário 1 (C2 RU Previsão BAU 2020) mais de 20 vezes superior ao verificado no cenário 2 (C3 Metas PERSU 2020), sendo a justificação a diminuição da quantidade de resíduos enviada para incineração e maior quantidade resíduos enviada para reciclagem.

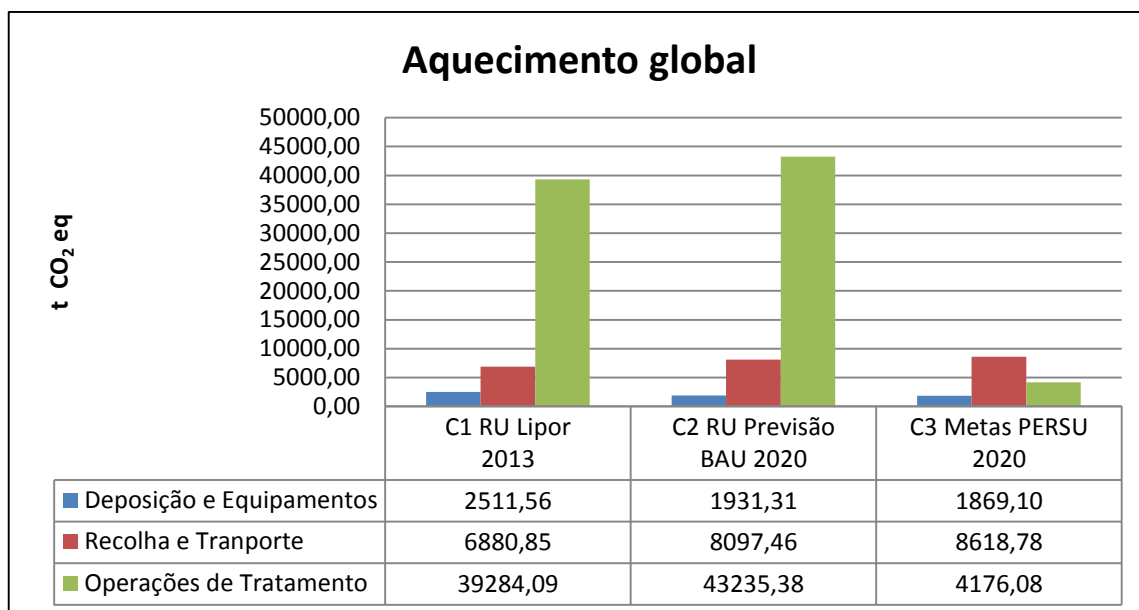


FIGURA 6.4 – Impacte aquecimento global para a situação de referência e cenários e por operação.

Relativamente à formação de foto oxidantes, os resultados apresentados, figura 6.5, estão em linha com o que se verifica na acidificação, em que as operações de tratamento têm uma componente de crédito sobre o sistema, e as operações de armazenamento recolha e transporte são aquelas que geram impacte negativo no sistema, facto possivelmente relacionado com as emissões associadas aos meios de transporte e combustível utilizado.

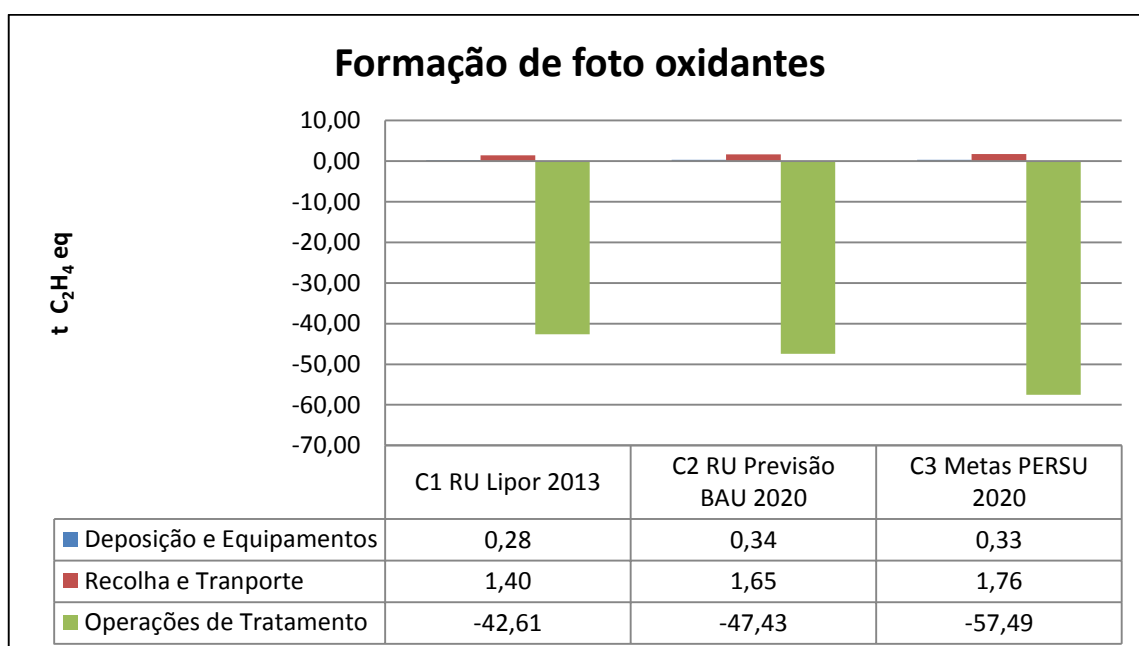


FIGURA 6.5 – Impacte formação de foto oxidantes para a situação de referência e cenários e por operação.

6.2. Resultados do *Software* WAMPS

Os resultados apresentados na figura 6.6, comparam os impactes gerados na situação base e nos cenários em estudo. Nesta análise, e como era expectável, podemos concluir que o cenário 2 (C3 Metas PERSU 2020) apresenta um melhor desempenho em todos os impactes analisados, salientando-se o impacte aquecimento global, em que apresenta um desempenho muito melhor que o outro cenário.

Os valores negativos significam que a gestão de resíduos nessa situação, e para essa categoria de impacte, terá um impacte ambiental menor do que a produção de matéria-prima virgem correspondente, apresentando uma efeito compensatório no sistema.

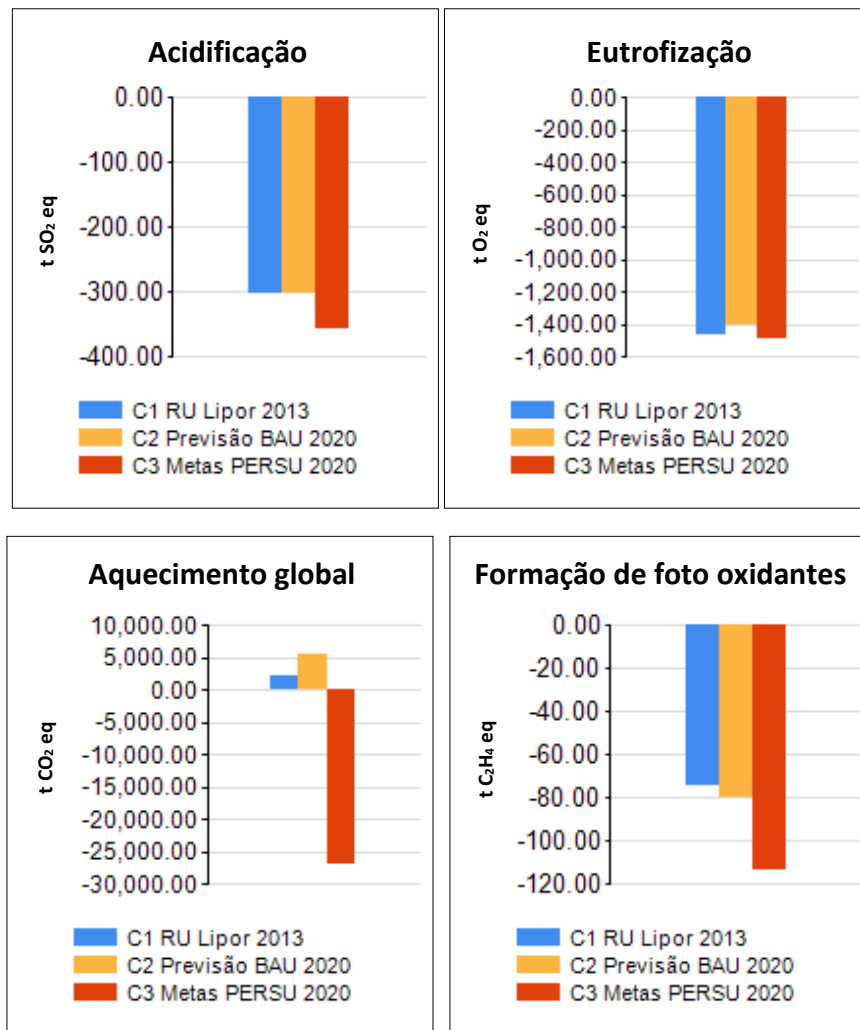


FIGURA 6.6 – Categorias gerais de impacte obtidas no *software* WAMPS para a situação de referência e para os cenários em estudo

Apesar da análise global dos resultados ser relevante, uma vez que nos permite uma comparação entre os cenários é também importante realizar uma análise tipo matriz, em que se analisam os impactes verificados em cada cenário e as operações em que esses impactes se verificam. Esta análise permite verificar de que forma as diferentes operações contribuem para o valor da categoria de impacte.

Relativamente à acidificação verifica-se que a operação que mais contribui para este impacte é a compostagem. Pela análise da figura 6.7 podemos concluir que as operações de reciclagem e incineração são aquelas que apresentam um impacte positivo neste descritor. Estes resultados explicam-se pois no processo de compostagem verifica-se a libertação de amônia (elemento acidificante), enquanto que no processo de incineração é aproveitado o poder calorífico dos resíduos para a produção de energia, substituindo a produção de energia pela via tradicional (fóssil). Como a compostagem liberta amónia resultante do processo de decomposição origina um impacte nesta categoria.

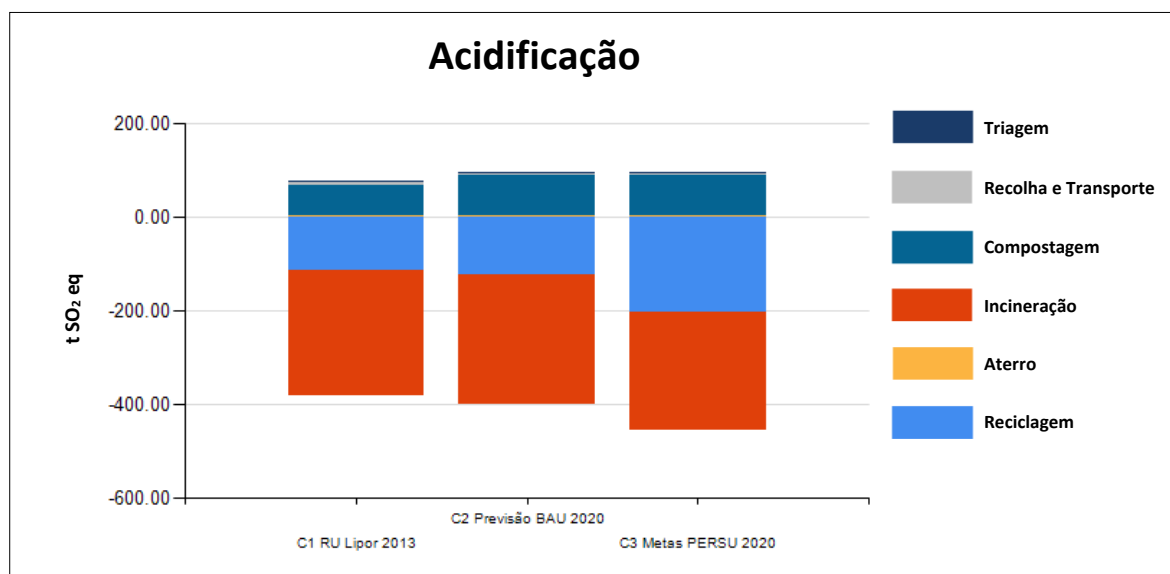


FIGURA 6.7 – Impacte acidificação para a situação de referência e cenários e por operação

No caso da eutrofização, e pela seguinte ordem, as operações de compostagem, aterro, recolha e transporte e triagem, são aquelas que apresentam um impacte negativo nesta categoria de impacte.

Por outro lado, e de acordo com os resultados da figura 6.8, os impactes resultantes da reciclagem e incineração têm um efeito compensatório sobre o sistema pois têm menores emissões quer no meio terrestre quer no meio aquático. A operação de compostagem é penalizada pela mesma razão que na categoria de impacte acidificação.

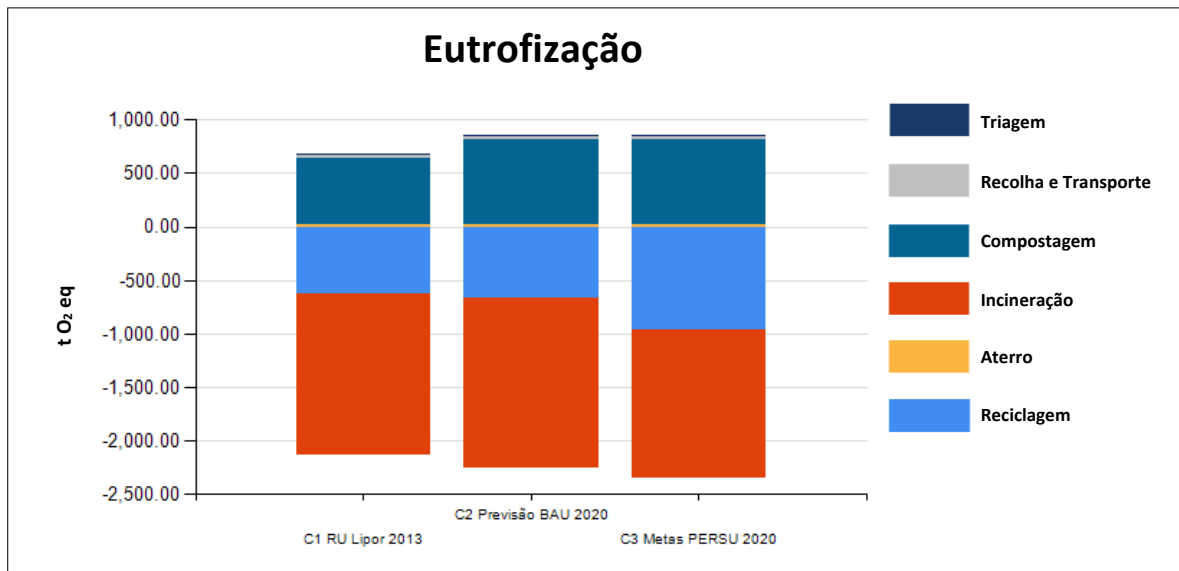


FIGURA 6.8 – Impacte eutrofização para a situação de referência e cenários e por operação

Na figura 6.9 é possível verificar que a reciclagem tem um efeito compensatório na categoria do aquecimento global em oposição à operação de recolha e transporte, em que as emissões de CO₂ são uma constante. De salientar que ao contrário do que seria de esperar, e pelo tipo de emissões associadas ao processo, no cenário 2 também a incineração apresenta um valor compensatório, resultado da otimização no processo de tratamento. Atendendo a que a quantidade total de resíduos a tratar no cenário 1 e 2 é a mesma, a justificação poderá estar relacionada com a quantidade de resíduos por operação, ou seja, no cenário 2 a quantidade de resíduos enviada para incineração é menor e a quantidade de resíduos enviada para reciclagem é superior, verificando-se uma inversão no impacte da operação de incineração.

De forma a compreender estes resultados desenvolveu-se uma nova simulação com alterações nas quantidades de resíduos tratados por incineração e por reciclagem, para

validar esta justificação. Concluiu-se também que as emissões associadas ao CO₂ são aquelas que mais influenciam esta categoria de impacte.

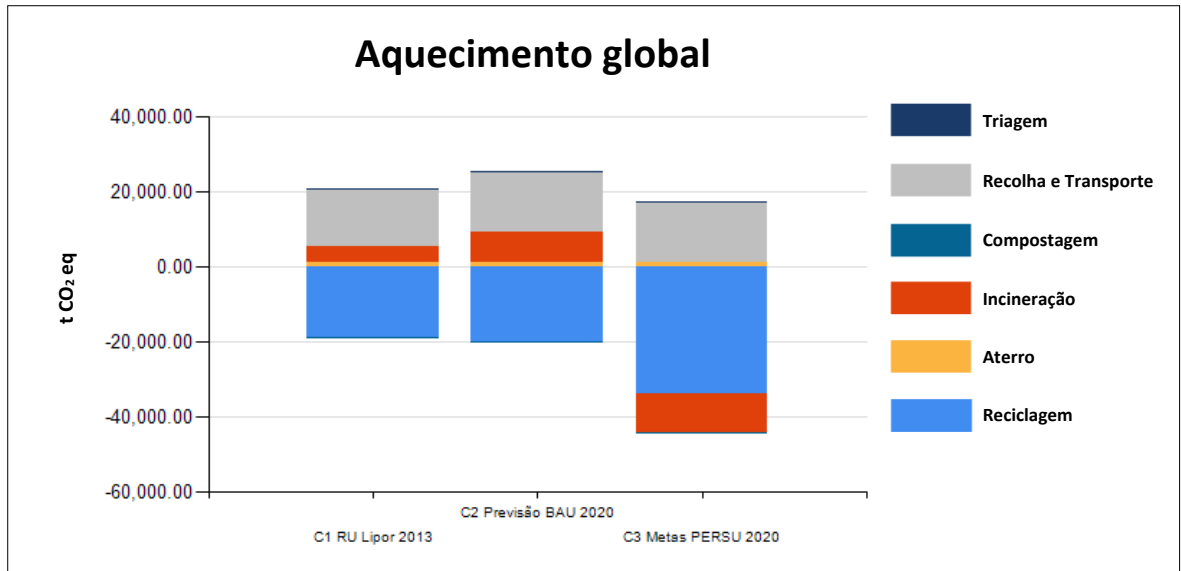


FIGURA 6.9 – Impacte aquecimento global para a situação de referência e cenários e por operação

Pela observação da figura 6.10 é possível concluir que a reciclagem e a incineração são as operações com maior efeito compensatório nesta categoria de impacte, por oposição à operação de recolha e transporte. Este efeito resulta do melhor desempenho ambiental em termos de geração de emissões, porque menos combustíveis fósseis serão necessários para a combustão em processo de produção de energia, no caso da incineração. Relativamente à reciclagem, as emissões evitadas, e que noutros processos de tratamento seriam produzidas contribuem para o bom desempenho desta operação.

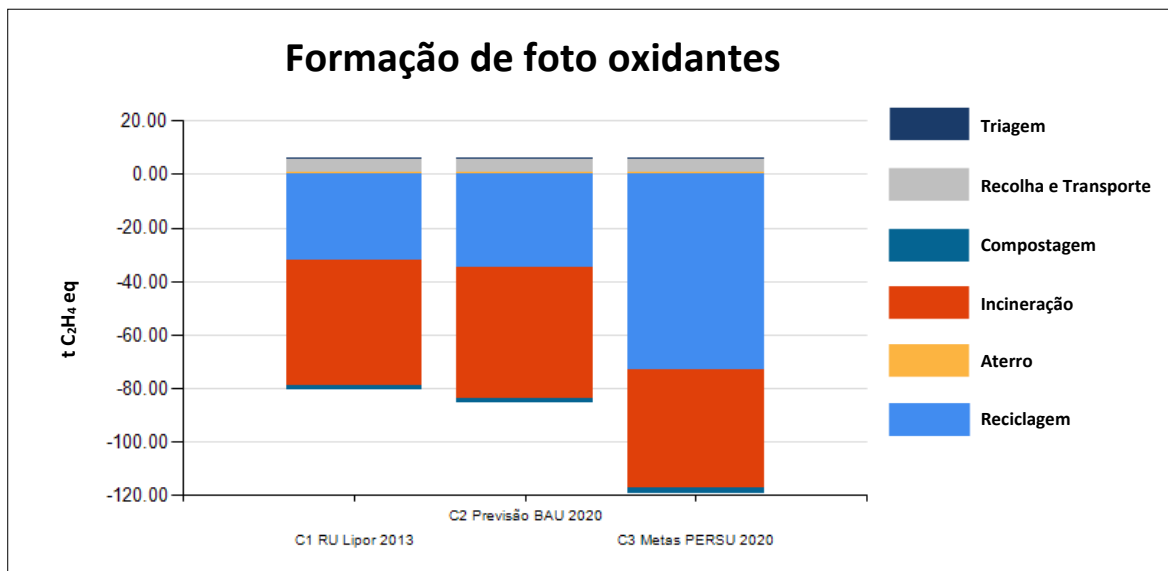


FIGURA 6.10 – Impacte formação de foto oxidantes para a situação de referência e cenários e por operação.

6.3. Comparação e validação dos resultados das duas abordagens de ACV

A utilização de dois *softwares*, teve como principal vantagem o desenvolvimento de um maior conhecimento sobre as metodologias e requisitos dos *softwares* de ACV e a sua validação, mas por outro lado a maior dificuldade foi a comparação dos resultados obtidos. De referir, que os resultados obtidos através do *software* LCA-IWM *prognostic toll*, foram fundamentais como entrada de dados no *software* WAMPS.

Para facilitar a comparação dos resultados dos dois *softwares* elaborou-se a tabela 6.1. Relativamente às unidades em que estão expressas as categorias de impacte acidificação, aquecimento global e formação de foto-oxidantes, são as mesmas em ambos os *softwares*. No caso da eutrofização utilizou-se o fator de equivalência descrito no subcapítulo 5.2.

TABELA 6.1 – Tabela de resultados para a situação de referência e cenários, por *software* e por categorias de impacte.

| Cenários | Software | Acidificação (t SO ₂ eq.) | | Eutrofização (t PO ₄ eq.) | | Aquecimento global (t CO ₂ eq.) | | Formação de foto oxidantes (t C ₂ H ₄ eq.) | |
|----------------------------|----------|---|---|---|---|--|---|--|---|
| | | | | | | | | | |
| C1 RU Lipor 2013 | LCA-IWM | -972,8 | ✓ | 8,7 | ✗ | 47763,8 | ✓ | -40,9 | ✓ |
| | WAMPS | -302,5 | | -32,1 | | 2214,6 | | -74,5 | |
| C2 RU Previsão BAU 2020 | LCA-IWM | -1082,0 | ✓ | 9,8 | ✗ | 53264,1 | ✓ | -45,4 | ✓ |
| | WAMPS | -303,2 | | -30,9 | | 5519,3 | | -79,3 | |
| C3 Metas PERSU 2020 | LCA-IWM | -1331,0 | ✓ | 0,3 | ✗ | 14664,0 | ✗ | -55,4 | ✓ |
| | WAMPS | -355,5 | | -32,6 | | -26710,7 | | -112,8 | |
| | | ✓ Resultados convergentes, com a mesma tendência (impacte compensatório ou negativo no sistema) ✗ Resultados divergentes | | | | | | | |

Analisando os dados apresentados na tabela 6.1, podemos concluir que relativamente à acidificação e à formação de foto oxidantes, as tendências gerais verificadas nestas categorias de impacte são concordantes, embora com magnitudes diferentes. Relativamente à eutrofização não existe convergência de resultados, podendo esta

situação dever-se à discrepância nas referências utilizadas pelos *softwares* para a agregação das categorias de impacto. Quanto ao aquecimento global, verifica-se uma divergência no cenário 2 (C3 Metas PERSU 2020), em que o resultado no *software* WAMPS passa inclusive a ter um impacto positivo no sistema, conforme já descrito na análise à figura 6.9 e pelas razões já explicadas anteriormente.

O estudo desenvolvido por Gentil *et al.*, 2010, com o objetivo de identificar, avaliar e analisar as metodologias e pressupostos técnicos utilizados em vários *softwares* de ACV, concluiu que existem discrepâncias nos resultados observados entre diferentes modelos de ACV resíduos, embora tenham também concluído que resultados obtidos em diferentes ACV podem ser consistentes. Os resultados obtidos no presente trabalho, acabam por validar estas conclusões uma vez que se verificam resultados discrepantes e concordantes dependendo da categoria de impacto em análise.

Como justificção para estas discrepâncias são apresentadas várias razões inerentes ao desenvolvimento da metodologia de ACV como a unidade funcional, a definição de fronteiras do sistema, a composição dos resíduos e os modelos energéticos, sendo também identificadas causas relacionadas com as operações de gestão de resíduos (recolha, transporte, estações de transferência, reciclagem, tratamento térmico, tratamento biológico, e a deposição em aterro) (Gentil *et al.*, 2010).

Apesar das boas referências dos dados CML *indicator*, existe uma forte probabilidade dos valores de referência do *software* LCA-IWM estarem desatualizados, uma vez que têm mais de 15 anos e que entretanto se verificaram alterações nos valores de referência. Analisando a última atualização de indicadores, disponibilizada pela *Leiden University* em abril de 2015 (CML, 2015) esta situação é notória.

Relativamente aos valores de referência utilizados no WAMPS, a informação disponibilizada no *website* e no manual do *software* não é completa, no entanto, analisando as informações obtidas na revisão bibliográfica (Fardi, 2008; Johnson, 2013; Teibe *et al.*, 2012), os dados de referência depreendem rigor e atualização. No sentido de procurar aprofundar este tema, desenvolveram-se contatos com o IVL - *Swedish Environmental Research Institute*, instituição que desenvolveu o *software*, para tentar perceber quais as referências e fontes utilizadas para a construção do programa. Embora

sem disponibilizarem todas as referências, os dados disponibilizados pelo IVL (anexo B) contribuem para a credibilização do *software* WAMPS.

Tendo como referência os resultados obtidos no WAMPS, e numa perspectiva de comparação de ACV com outro SIGR, analisou-se o cenário base desenvolvido para o caso da Amarsul desenvolvido por Pires *et al.*, 2011, recorrendo ao *software Umberto*. Nesta comparação não são consideradas as quantidades e metodologias de gestão de tratamento de RU, a comparação pretende apenas analisar a tendência associada às categorias de impacto em estudo tendo como referência o cenário base definido em cada um dos estudos.

Embora com perspectivas e *softwares* diferentes, ambos os trabalhos procuram identificar possíveis alternativas ao processo de gestão de resíduos e avaliar os respetivos impactes. Na categoria acidificação, em ambos os *softwares* a reciclagem tem um impacto positivo sobre o sistema. Quanto à eutrofização o aterro apresenta um impacto negativo sobre os sistemas e a reciclagem positivo. Relativamente ao aquecimento global no *software Umberto* o aterro apresenta um impacto maior que todas as outras operações, no caso do WAMPS e da Lipor é a recolha e transporte que mais contribuem para este impacto. No caso da formação de foto oxidantes a reciclagem apresenta impactes positivos e a recolha e transporte negativos, devido às emissões de NO_x produzidas durante o processo de combustão.

Embora com as limitações identificadas, podemos concluir que os resultados obtidos neste trabalho estão alinhados com outros trabalhos de referência com é o caso de Pires, 2011. Tal como outros autores (Finnveden *et al.*, 2009; Gentil *et al.*, 2010; Laurent *et al.*, 2013) referenciaram noutros trabalho, a situação de comparabilidade dos softwares é muito difícil pelo que a melhor forma de ultrapassar esta limitação será a utilização do mesmo software para garantir uma comparabilidade adequada.

6.4. Resultados do Grupo Focal

Após a apresentação que serviu de base para a discussão do grupo focal com técnicos da Lipor (anexo G), apresenta-se sumariamente os principais pontos apresentados e discutidos pelos participantes:

- Os dados de base apresentados relativos à caracterização dos resíduos, são apenas referentes à fração recolhida de forma indiferenciada. Um maior rigor poderia ser conseguido com a inclusão da caracterização das frações recolhidas seletivamente. No entanto os valores apresentados encontram-se dentro das variações esperadas;
- As especificidades associadas aos resíduos (densidade / % de massa), poderão gerar erros no cálculo do *software*, no entanto o possível erro estará associado e será proporcionalmente igual em qualquer cenário;
- Na previsão para 2020, não foi considerada a diminuição da população na área em estudo. Embora as estatísticas previsionais do INE apontem para uma diminuição da população na área em estudo, os fatores económicos acabam por diluir este parâmetro, esta visão foi validada pelos participantes;
- A projeção para 2020 (anexo C – tabela C3) apresenta-se realista, estando em linha com os dados obtidos no PERSU 2020, verificam-se algumas reservas relativamente à fração vidro, que de acordo com os participantes apresenta uma taxa de valorização muito ambiciosa tendo em consideração o histórico de recolha deste material;
- Fatores externos, que não podem ser controlados pela Lipor, podem ter influência sobre o SIGR (exemplo: a redução do uso de sacos de plástico, devido à recente legislação relativa à fiscalidade verde - Lei n.º 82-D/2014 de 31 de Dezembro, e do custo associado à utilização de sacos plásticos);
- A mais-valia do desenvolvimento da metodologia de ACV no caso em estudo é a condensação dos dados necessários para avaliar o sistema, gerando uma visão mais racional e integradora;

- O desenvolvimento da metodologia de ACV por unidade de tratamento poderá ser interessante no sentido de otimizar e comparar processos;
- Tendo por base a experiência desta investigação, a comparação de cenários nas diferentes unidades de gestão de resíduos poderá contribuir para diminuir os impactes ambientais, pois permitirá apoiar no desenvolvimento da estratégia de gestão tendo em consideração a eficiência económica do processo;
- Os participantes consideraram o WAMPS um *software* melhor comparativamente com o LCA-IWM, pois permite uma análise mais rigorosa e pormenorizada relativamente às operações de gestão de resíduos;
- A sensibilização e educação ambiental é também um fator a considerar na estratégia de gestão dos resíduos, sendo essencial definir a forma e modelo como será desenvolvida (apostar numa maior responsabilização dos cidadãos);
- Para desenvolvimentos futuros será interessante que cada unidade técnica tenha acesso aos resultados de forma a avaliar os resultados obtidos no sentido de serem testados diferentes cenários através dos *softwares*.

Relativamente ao *feedback* dos participantes neste grupo focal há que referir que permitiu dar mais consistência a este estudo nomeadamente na questão associada aos dados utilizados, nas previsões desenvolvidas pelo *software* para a produção de resíduos no ano 2020, e na validação dos resultados obtidos, sendo estes contributos muito úteis para as conclusões deste trabalho.

Foram também identificadas algumas limitações que se encontram desenvolvidas no respetivo capítulo, bem como algumas sugestões que pela sua pertinência serão consideradas na construção das propostas de desenvolvimentos futuros.

Sem este grupo focal esta investigação ficaria limitada à aplicação dos *softwares* sem uma apreciação crítica de quem está envolvido no dia-a-dia do sistema e tem um conhecimento prático valioso. Por outro lado a utilização de um grupo focal como metodologia de investigação, vai de encontro às técnicas e conceitos que foram estudadas na parte curricular do mestrado, em que o envolvimento e participação dos atores chave é essencial para o sucesso de qualquer projeto.

Capítulo VII – Conclusões

7.1. Síntese

Considerando que o objetivo proposto para este trabalho foi aplicar uma metodologia de ACV à gestão de RU no SIGR da Lipor, com vista a propor melhorias, podemos considerar que o mesmo foi atingido.

A investigação desenvolvida permitiu concluir que a projeção do *software* LCA-IWM *prognostic tool*, para a produção de resíduos no ano de 2020 na área da Lipor, está de acordo com as previsões do PERSU 2020 Trajetória BAU (cerca de 497 000 t de RU), tendo os participantes no grupo focal concordado com esta previsão.

Relativamente à *assessment tool* do *software* LCA-IWM, para além das limitações já identificadas, relacionadas com a desatualização dos dados de base, salienta-se a dificuldade na introdução dos dados, uma vez que o programa está desenvolvido em "*microsoft excel 2003*" com programação "*VBA - visual basic*", sendo lento no carregamento dos cenários, e com a informação a introduzir muito extensa.

No caso do *software* WAMPS, verifica-se uma maior facilidade de utilização ao nível da interface com o utilizador sendo mais intuitivo e rápido. Apresenta ainda outra vantagem pois permite a comparação nas operações de gestão dos resíduos sendo mais pormenorizada a análise, permitindo a desagregação dos impactos por categoria e por tipo de operação. No entanto, salienta-se que este *software* necessitou de dados de entrada do *software* LCA-IWM *prognostic tool*.

Em ambos os *softwares* é o cenário 2 (C3 Metas PERSU 2020), que apresenta um melhor desempenho em todos os impactos analisados. É neste cenário que se encaminha para reciclagem uma maior quantidade de resíduos, sendo também este o cenário em que uma menor quantidade de resíduos tratada por incineração, sendo estes dois fatores preponderantes para os resultados verificados.

A validação dos resultados obtidos através do grupo focal, bem como a análise técnica efetuada, permite concluir que estes são consistentes e que podem ser utilizados em desenvolvimentos futuros, introduzindo as necessárias melhorias e aferições propostas pelos especialistas no grupo focal.

A utilização de mais que um *software* e a avaliação por especialistas, revela a importância de neste tipo de estudos, incluir diversas metodologias quantitativas e qualitativas de recolha e tratamento de dados, que além de complementares de alguma forma também validam e aferem os resultados obtidos.

Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam ser futuramente utilizados no desenvolvimento de novas abordagens ao nível da ACV e da gestão de resíduos na Lipor, nomeadamente ao nível da aplicação da ACV a nível das infraestruturas individualmente, ou aplicados a outros estudos de caso.

7.2. Limitações

Ao longo dos capítulos anteriores foram sendo identificadas algumas das limitações associadas ao presente trabalho, sendo essencial a sua sistematização:

- O âmbito alargado da ACV efetuada, em que as metodologias e processo de gestão de resíduos são diferentes de município para município, o que obrigou a recorrer a uma séria de pressupostos e simplificações;
- Dificuldades na recolha de informação e informação pouco disponível e de difícil acesso;
- Relativamente aos dados utilizados, não foi possível conhecer-se a incerteza associada aos mesmos;
- Necessidade de padronizar os dados recolhidos de forma a possibilitar a sua comparabilidade e introdução nos *softwares*;
- Utilização de dados pré definidos nos *softwares*, que por vezes podem não ser os mais adequados, ou os mais atuais, à realidade em estudo;
- As alterações associadas à programação dos *softwares* não podem ser controladas de uma forma direta.

7.3. Propostas de desenvolvimentos futuros

As conclusões resultantes do grupo focal, e a análise aos resultados obtidos, identificam claramente que o desenvolvimento de uma prática estruturada de ACV na Lipor, poderá ser uma mais-valia para a organização.

Nesse sentido, e numa perspetiva de melhoria e de recomendações para trabalhos futuros apontam-se algumas linhas de orientação que podem ser seguidas:

- Alargar a ACV como uma ferramenta de apoio à definição estratégica da Lipor ao nível das unidades orgânicas;
- Utilizar a ACV para avaliar a aplicação de outros processos de tratamento de resíduos no SIGR;
- Desenvolver uma metodologia de ACV para analisar os impactes económicos e sociais, na linha de desenvolvimentos mais recentes nesta área;
- Projetar outros cenários com o aumento da quantidade resíduos a tratar (3.^a linha de incineração). Cenário previsto no PERSU 2020 através da partilha de infraestruturas entre sistemas, e como medida de desvio de aterro dos refugos e rejeitados;
- Desenvolver estudos mais completos com outras categorias de impactes (exemplo: toxicidade humana).

Referências Bibliográficas

- Acero, P. A., Rodríguez, C., Cirolini, A. (2014). LCIA methods - Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Green Delta. <http://www.openlca.org/documents/14826/3bbaecf3-5efa-4a00-a965-4dc91c25b531> [28 de junho de 2014].
- Alves, R., & Monteiro, M. (2009). *Estratégia Nacional de Resíduos*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Engenharia do Ambiente.
- APA (2013a). *RARU – Relatório Anual de Resíduos Urbanos 2012*. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Departamento de Resíduos.
- APA (2013b). *REA - Relatório do Estado do Ambiente 2013*. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Departamento de Estratégias e Análise Económica.
- APA (2014). *RARU – Relatório Anual de Resíduos Urbanos 2013*. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Departamento de Resíduos.
- BCSD (2013). Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável em Portugal. *Ação 2020 – Soluções Empresariais para o Desenvolvimento Sustentável*. <http://www.bcsdportugal.org/relatorio/> [26 de março de 2015].
- Carmo, H., Ferreira, M. (1998). *Metodologia da Investigação – Guia para Auto-aprendizagem* (1.ª Ed.). Lisboa: Universidade Aberta.
- CML (2015). Database CML-IA Version 4.5. Institute of Environmental Sciences Leiden University. <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology> [11 de abril de 2015].
- Den Boer, E., Den Boer, J., Jager, J. (2005). *Handbook for Municipal Waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems*. Stuttgart: Ibidem - Verlag.
- Den Boer, J., den Boer, E., Jager, J. (2007). *LCA-IWM: a decision support tool for sustainability assessment of waste management systems*. Waste Management 27, 1032 - 1045.

- EC (2006). *A study to examine the benefits of the End of Life Vehicles - Final Report Annexes*. European Commission Environment DG. <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/study/annex5.pdf> [11 de abril de 2015].
- Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O., Finnveden G. (2007). *What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management*. Waste Management 27, 989- 996.
- EPA - Environmental Protection Agency. (1993). *Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*. EPA/600/R-92/245. Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio, USA.
- EPA - Environmental Protection Agency. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice inciples*. EPA/600/R-06/060. Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio, USA.
- Fardi, H. M. (2008). *Waste Management System Modeling of Tehran - EIA study of different MSW management models by using WAMPS model*. University of Boras Sweden.
- Ferrão, C. P. (2009). *Ecologia industrial – Princípios e Ferramentas*, Instituto Superior Técnico.
- Ferreira, J. F. (2004). *Gestão Ambiental: Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg S., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S. (2009). *Recent developments in Life Cycle Assessment*. Journal of Environmental Management 91, 1-21.
- Gama, M. (2012). *Sustentabilidade em Ação – simbiose industrial conceito novo?*. <https://marcioambiental.wordpress.com/2012/04/30/simbiose-industrial-conceito-novo/> [26 março de 2015].
- Gentil, C. E., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson O., Thorneloe, S., Kaplan, O. P., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, Y., Li, R., Christensen, T. H. (2010). *Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions*. Waste Management 30, 2636–2648.

- Gomes, M.R.V. (2008). *Contribuição para a gestão sustentável de resíduos sólidos na região Centro”, recorrendo à utilização da aplicação Umberto*. Aveiro: Universidade de Aveiro – Departamento de Ambiente e Ordenamento.
- Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A., Van Oers, L., Wegener, S. A., Suh, S., Haes, H. A., Bruijn, H., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., Van der Vem, B. L., Weidema, B. P. (2002). *Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards*. Kluwer Academic Publishers.
- INE (2012). *CENSOS 2011 – Resultados Definitivos*. Instituto Nacional de Estatística. http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=150331034&att_display=n&att_download=y [26 de janeiro de 2015].
- IPMA (2014). Instituto Português do Mar e da Atmosfera. *Normais Climatológicas*. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> [29 de dezembro de 2014].
- ISO 14041:1998 (1998). *Environmental management — Life cycle assessment — Goal and scope definition and inventory analysis*. Genebra: International Organization for Standardization.
- Johnson, A. (2013). *Environmental Systems Analysis Tools as Decision-Support in Municipal Solid Waste Management: LCA in Sweden, Estonia and Lithuania*. Geotryckeriet, Uppsala University.
- JRC (2014). European Commission - DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/toolList.vm> [29 de dezembro de 2014].
- Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, H. T., Hauschild, M. Z. (2013). *Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice*. Waste Management 34, 589 - 606.
- Lipor (2007). Plano Estratégico para a Gestão Sustentável dos Resíduos Sólidos do Grande Porto 2007-2016. http://www.lipor.pt/fotos/editor2/plano_estrategico_2007_20016.pdf [28 de junho de 2014].

- Lipor (2009). *Guia para uma Gestão Sustentável dos Resíduos*. Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos dos Grande Porto.
- Lipor (2010). *Relatório de Sustentabilidade 2009*. Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos dos Grande Porto.
- Lipor (2014a). *Missão, Visão, Valores e Política*. <http://www.lipor.pt/pt/a-lipor/quem-somos/missao-visao-valores-e-politica/> [29 de dezembro de 2014].
- Lipor (2014b). *Relatório de Análise Estatística – Ano 2013*. http://www.lipor.pt/pt/bibliotecas/download.php?folder=bibliotecas&f=relatorio_lipor_2013_revisao_1_2002513015316f758c5b05.pdf. [29 de dezembro de 2014].
- Lipor (2015). *Sistemas de Gestão*. <http://www.lipor.pt/pt/sistemas-de-gestao/qualidade/gestao-da-qualidade/> [15 de janeiro de 2015].
- MAOTDR (2007). Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. *Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016*. Portaria n.º187/2007 de 12 de fevereiro.
- MAOTE (2013) Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Apresentação do *Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos – Uma fonte renovável de recursos*. <http://www.portugal.gov.pt/media/1218711/20131017%20maote%20apres%20persu.pdf> [21 de abril de 2014].
- MAOTE (2014). Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. *Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos PERSU 2020*. Portaria n.º 187-A/2014, publicada em DR (I Série) n.º 179, de 17 de setembro.
- Martinho, M., Gonçalves, M., Silveira, A. (2011). *Gestão Integrada de Resíduos*. Universidade Aberta.
- Matos, M. A., Rodrigues, N. J., Costa P. M., Lima, M. J. (2006). *12 Encontro Nacional de Saneamento Básico*. Estoril.
- McDougall, F. R., Withe, P. R., Franke, M., Hindle, P. (2003). *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*. (2nd Ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd.

- NP EN ISO 14040:2006, (2008). *Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Enquadramento*. Versão portuguesa (2.ª Ed.). Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- Oliveira, J. F. S., Mendes, B., Lapa, N. (2009). *Resíduos – Gestão, Tratamento e sua Problemática em Portugal*. Lisboa: Lidel – Edições Técnicas Lda.
- Palma, I. (2011). *O papel da informação na promoção de comportamentos de reciclagem*. Lisboa: Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais.
- Pires, A., N.-B. Chang and G. Martinho (2011). *Reliability-based life cycle assessment for future solid waste management alternatives in Portugal*. The International Journal of Life Cycle Assessment 16(4), 316-337.
- Pordata (2015). Base de Dados Portugal Contemporâneo. Fontes/Entidades: INE, APA/MAOTE, CGA/MEF, INAG/MAOTE, DGEEC/MEC, BP, II/MSESS, DGAI/MAI, ISS/MSESS, DGEG/MAOTE, DGPJ/MJ, IGP, SEF/MAI, DGS/MS, DGO/MEF, ICA/SEC, IEFP/MSESS). Última atualização: 2014-10-27. www.pordata.pt [26 de janeiro de 2015].
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.-P., Suh, S., Weidema, B. P., Pennington, D. W. (2003). *Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment International, volume 30, 701–720.
- Rodrigues, M. (2009). *Estações de Triagem: Caracterização e Avaliação da Situação Nacional*. Lisboa: Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente.
- Russo, T., M. (2003). *Tratamento de Resíduos Sólidos*. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil.
- Sousa, M. J. & Baptista, C. S. (2011). *Como fazer investigação, dissertações, teses e relatórios*. (3.ª Ed.). Lisboa: Pactor.

- Tavares, V. (2013). *Análise de Ciclo de Vida dos RU em Destino Final. Caso de Estudo: Aterros e Incineradoras de Portugal*. Lisboa: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais - Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.
- Unger, N., Beigl, P., & Wassermann, G. (2004). *General Requirements for LCA Software Tools*. Vienna, Austria: Institute of Waste Management, BOKU - University of Natural Resources and Applied Life Sciences.
- Teibe, I., Bendere, R., Perova, L., Arina, D. (2012). *Mathematical Models for Regional Solid Waste Management Development*. 18th International Conference Linnaeus ECO-TECH 2012, Sweden.
- Teixeira, A. (2009). *Utilização do Modelo "LCA – IWM, Waste Prognostic Tool" na previsão da produção de resíduos sólidos urbanos para 2016: O Caso LIPOR*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- WAMPS (2013a). RECO Baltic 21 Tech - Rumo a gestão sustentável de resíduos na região do Mar Báltico. <http://www.recobaltic21.net/en/waste-management-planning-system.html> [22 de junho de 2013].
- WAMPS (2013b). RECO Baltic 21 Tech - Rumo a gestão sustentável de resíduos na região do Mar Báltico – Resultados finais. http://www.recobaltic21.net/downloads/Public/Project%20results/reco_baltic_21_tech_-_overview_about_the_main_outputs_of_the_project0.pdf [26 de setembro de 2013].
- WAMPS (2013c). WAMPS user guide version 1.0. http://www.recobaltic21.net/downloads/Public/Project%20results/wamps_user_manual.pdf [24 de maio de 2013].
- Xará, S., Silva, M., Almeida, M. F., Costa, C. (2001). *Aplicação da Análise do Ciclo no Planeamento da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos*. Aveiro: 8th International Chemical Engineering Conference, p. 1467-1474.
- Xará, S. (2009). *Avaliação do Ciclo de Vida na comparação de produtos e resíduos*. Porto: Conferência Conversas sobre Ambiente. <http://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/7107> [21 de abril de 2014].

Anexo A – Composição física dos RU na área da Lipor

TABELA A.1 – Composição física média dos RU indiferenciados na área da Lipor no ano de 2013.
(Caracterização efetuada de acordo com as especificações técnicas de resíduos urbanos definidas na Portaria n.º 851/2009 de 7 de Agosto)

| Categoria | Subcategoria | Campanha Abril (%) | Campanha Outubro (%) | Média (%) |
|-------------------------|---|--------------------|----------------------|--------------|
| Elementos finos (<20mm) | Total | 7,36 | 6,78 | 7,07 |
| Bio-resíduos | Total | 41,52 | 39,34 | 40,43 |
| | Resíduos alimentares | 28,43 | 22,34 | 25,39 |
| | Resíduos de jardim | 13,09 | 17 | 15,05 |
| | Outros resíduos putrescíveis | | | |
| Papel/Cartão | Total | 12,05 | 9,36 | 10,71 |
| | Resíduos de embalagens de papel-cartão | 7,79 | 5,28 | 6,54 |
| | Jornais, revistas e folhetos | 4,25 | 4,08 | 4,17 |
| | Outros resíduos de papel-cartão | | | |
| Plásticos | Total | 10,9 | 10,64 | 10,77 |
| | Resíduos de embalagens em filme de PE | 4,64 | 2,48 | 3,56 |
| | Resíduos de embalagens rígidas em PET | 1,24 | 1,63 | 1,44 |
| | Resíduos de embalagens rígidas em PEAD | 0,53 | 1,18 | 0,86 |
| | Resíduos de embalagens rígidas em EPS | | | |
| | Outros resíduos de embalagens de plástico | 2 | 2,82 | 2,41 |
| | Outros resíduos de plástico | 2,48 | 2,53 | 2,51 |
| Vidro | Total | 6,01 | 4,51 | 5,26 |
| | Resíduos de embalagens de vidro | 5,8 | 4,42 | 5,11 |
| | Outros resíduos de vidro | 0,21 | 0,09 | 0,15 |
| Compósitos | Total | 5,13 | 8,55 | 6,84 |
| | Resíduos de embalagens de cartão para líquidos alimentares (ECAL) | 1,14 | 1,16 | 1,15 |
| | Outros resíduos de embalagens compósitas | 0,57 | 0,46 | 0,52 |
| | Pequenos aparelhos eletrodomésticos | 0,14 | 1,12 | 0,63 |
| | Outros resíduos compósitos | 3,27 | 5,81 | 4,54 |
| Têxteis | Total | 6,56 | 8,11 | 7,34 |
| | Resíduos de embalagens têxteis | 0,22 | 0,08 | 0,15 |
| | Outros resíduos têxteis | 6,34 | 8,03 | 7,19 |
| Têxteis sanitários | Total | 7,53 | 6,86 | 7,2 |

TABELA A.1 (Continuação) – Composição física média dos RU indiferenciados na área da Lipor no ano de 2013. (Caracterização efetuada de acordo com as especificações técnicas de resíduos urbanos definidas na Portaria n.º 851/2009 de 7 de Agosto)

| Categoria | Subcategoria | Campanha Abril (%) | Campanha Outubro (%) | Média (%) |
|---------------------------|--|--------------------|----------------------|-------------|
| Metais | Total | 2 | 1,57 | 1,79 |
| | Resíduos de embalagens ferrosas | 1,48 | 1,12 | 1,3 |
| | Resíduos de embalagens não ferrosas | 0,43 | 0,22 | 0,33 |
| | Outros resíduos ferrosos | 0,05 | 0,21 | 0,13 |
| | Outros resíduos não ferrosos | 0,05 | 0,02 | 0,04 |
| Madeira | Total | 0,3 | 2,15 | 1,23 |
| | Resíduos de embalagens de madeira | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | Outros resíduos de madeira | 0,29 | 2,13 | 1,21 |
| Resíduos perigosos | Total | 0,02 | 0 | 0,01 |
| | Produtos químicos | | | |
| | Tubos fluorescentes e lâmpadas baixo consumo | 0,01 | | 0,01 |
| | Pilhas e acumuladores | 0,01 | | 0,01 |
| | Outros resíduos perigosos | | | |
| Outros | Total | 0,62 | 2,13 | 1,38 |
| | Outros resíduos de embalagem | | | |
| | Outros resíduos não embalagem | 0,62 | 2,13 | 1,38 |

**Anexo B – Informação obtida no IVL - Swedish
Environmental Research Institute**

Incineration

The principles of the model is based on a description in

- J-O Sundqvist. Life Cycle Assessment and Solid Waste. AFR Report 279. Swedish Environmental Protection Agency 1999.
- A Björklund. Environmental System Analyses Waste Management. Licentiate thesis. Royal Institute of Technology, Department of Chemical Engineering and Technology, Industrial Ecology. Stockholm 1998
- Dalemo M, Sonesson U, Björklund A, Mingarini K, Frostel B, Jönsson H, Nybrant T, Sundqvist J-O, Thyselius L. ORWARE – A Simulation Model for Organic Waste Handling Systems, Part 1: Model Description. Resources, Conservation and Recycling 21, 17-37

It is later adapted to the European waste incineration directive (DIRECTIVE 2000/76/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 4 December 2000 on the incineration of waste) (today by the Industrial Emission Directive).

The model was finally updated (“calibrated”) by using emission data from five new Swedish incineration plants (representing BAT) in 2011.

Landfilling of flyash and bottom ash is included in the model with data from J-O Sundqvist. Life Cycle Assessment and Solid Waste. AFR Report 279. Swedish Environmental Protection Agency 1999.

Composting

The model is based on

- U Sonesson, The Compost and Transport Models in the ORWARE Model. Construction and Data. Report 214. Department of Agricultural Engineering. SLU, Sweden. 1996
- Dalemo M, Sonesson U, Björklund A, Mingarini K, Frostel B, Jönsson H, Nybrant T, Sundqvist J-O, Thyselius L. ORWARE – A Simulation Model for Organic Waste Handling Systems, Part 1: Model Description. Resources, Conservation and Recycling 21, 17-37.

The model was updated in 2011 using field data from 2004

- Emisjoner fra kompostering (emissions from composting) (in Norwegian). RVF Utveckling 2005:13 (<http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Biologisk/2005-13.pdf>)

Carl Jensen

Climate and sustainable cities

IVL Swedish Environmental Research Institute

Direct: +46 (0) 31-725 62 92

Telephone: +46 (0) 31-725 62 00

Website: www.ivl.se

**Anexo C – Resultados obtidos no *software* LCA-IWM:
*prognostic tool***

TABELA C.1 – Estimativa de produção de resíduos urbanos para a área Lipor

| MSW generation forecast for the City of LIPOR | | | | | | | | |
|---|----------------|------------|----------------|-----------------|------------|----------------|----------------------|--------------|
| Waste fraction | Reference year | | | Assessment year | | | Avg. change per year | |
| | 2013 | | | 2020 | | | 2013 - 2020 | |
| | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr |
| Paper and cardboard | 55400 | 57 | 12,00% | 61800 | 64 | 12,40% | 1,60% | 1,60% |
| Glass | 38200 | 39 | 8,30% | 41400 | 43 | 8,30% | 1,20% | 1,20% |
| Metals | 7800 | 8 | 1,70% | 8100 | 8 | 1,60% | 0,40% | 0,50% |
| Plastics and composites | 76200 | 78 | 16,50% | 83700 | 86 | 16,90% | 1,40% | 1,40% |
| Organic waste | 188100 | 194 | 40,70% | 198000 | 204 | 39,80% | 0,70% | 0,80% |
| Bio-waste | 118500 | 122 | 25,70% | 124700 | 129 | 25,10% | 0,70% | 0,80% |
| Garden waste | 69600 | 72 | 15,10% | 73200 | 76 | 14,70% | 0,70% | 0,80% |
| Hazardous waste | 400 | 0 | 0,10% | 400 | 0 | 0,10% | 1,20% | 1,20% |
| WEEE | 9200 | 9 | 2,00% | 9900 | 10 | 2,00% | 1,20% | 1,20% |
| Other (non-bulky) materials | 82800 | 85 | 17,90% | 89700 | 92 | 18,00% | 1,10% | 1,20% |
| Bulky Waste | 3600 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% | 1,20% | 1,20% |
| Municipal Solid Waste | 461600 | 475 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% | 1,10% | 1,10% |

Accuracy and exclusion of liability: Although the underlying model has been proved to allow a high forecasting accuracy (Approx. 4 percent median error for forecasts of the total MSW quantity over 5 to 10 years), the correctness of these forecasts can NOT be legally guaranteed within the framework of this project. This tool respectively these results should be used as a well-funded orientation help.

TABELA C.2 – Previsão de cenários de recolha de resíduos urbanos para a área Lipor

| MSW collection scenarios for the City of LIPOR | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|------------|----------------|-------------------------|------------|----------------|---------------------------|------------|----------------|-----------------|------------|----------------|
| Waste fraction | Reference year | | | Assessment year | | | Assessment year | | | Assessment year | | |
| | Status quo | | | Steady collection rates | | | Recommended target rates* | | | Optimum rates* | | |
| | 2013 | | | 2020 | | | 2020 | | | 2020 | | |
| | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% |
| Paper and cardboard | 14800 | 15 | 3,20% | 16600 | 17 | 3,30% | 27800 | 29 | 5,60% | 45700 | 47 | 9,20% |
| Glass | 18100 | 19 | 3,90% | 19600 | 20 | 3,90% | 20700 | 21 | 4,20% | 28500 | 29 | 5,70% |
| Metals | 1000 | 1 | 0,20% | 1100 | 1 | 0,20% | 1100 | 1 | 0,20% | 1100 | 1 | 0,20% |
| Plastics and composites | 9500 | 10 | 2,10% | 10400 | 11 | 2,10% | 27600 | 28 | 5,60% | 54400 | 56 | 11,00% |
| Organic waste | 35000 | 36 | 7,60% | 36800 | 38 | 7,40% | 43600 | 45 | 8,80% | 101000 | 104 | 20,30% |
| Hazardous waste | 0 | 0 | 0,00% | 0 | 0 | 0,00% | 0 | 0 | 0,00% | 0 | 0 | 0,00% |
| WEEE | 700 | 1 | 0,10% | 700 | 1 | 0,10% | 700 | 1 | 0,10% | 700 | 1 | 0,10% |
| Residual waste | 379000 | 390 | 82,10% | 407800 | 420 | 82,10% | 371500 | 383 | 74,80% | 261500 | 270 | 52,60% |
| Bulky Waste | 3600 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% |
| Municipal solid waste | 461600 | 475 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% |

TABELA C.3 – Previsão de desempenho ao nível da recolha seletiva na área Lipor

| Planned separate collection performance in the City of LIPOR | | | | | | | | | | |
|--|--------|---------|----------------|------------|----------------|-----------------|------------|----------------|--------------|-----------|
| Waste fraction | Actual | Planned | Reference year | | | Assessment year | | | Total change | |
| | 2013 | 2020 | 2013 | | | 2020 | | | 2013 - 2020 | |
| | Mass-% | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr |
| Paper and cardboard | 27% | 35% | 14800 | 15 | 3,20% | 21600 | 22 | 4,40% | 6800 | 7 |
| Glass | 47% | 55% | 18100 | 19 | 3,90% | 22800 | 23 | 4,60% | 4700 | 5 |
| Metals | 13% | 35% | 1000 | 1 | 0,20% | 2800 | 3 | 0,60% | 1800 | 2 |
| Plastics and composites | 12% | 25% | 9500 | 10 | 2,10% | 20900 | 22 | 4,20% | 11400 | 12 |
| Organic waste | 19% | 25% | 35000 | 36 | 7,60% | 49500 | 51 | 10,00% | 14500 | 15 |
| Hazardous waste | 3% | 3% | 0 | 0 | 0,00% | 0 | 0 | 0,00% | 0 | 0 |
| WEEE | 7% | 7% | 700 | 1 | 0,10% | 700 | 1 | 0,10% | 0 | 0 |
| Residual waste | - | - | 379000 | 390 | 82,10% | 374600 | 386 | 75,40% | -4400 | -4 |
| Bulky Waste | - | - | 3600 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% | 300 | 0 |
| Municipal solid waste | - | - | 461600 | 475 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% | 35100 | 37 |

**Anexo D – Resultados obtidos no *software* LCA-
IWM: *waste management system assessment tool***

TABELA D.1 – Resultados obtidos no software LCA-IWM por categoria de impacto

| Categorias de Impacte | Situação de Referência | Cenário 2 | Cenário 3 |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| | C1 RU Lipor 2013 | C2 RU Previsão BAU 2020 | C3 Metas PERSU 2020 |
| (habitantes - equivalente) | | | |
| Depleção Abiótica | -15 494 | -16 831 | -21 840 |
| Aquecimento Global | 3 798 | 4 235 | 1 166 |
| Toxicidade Humana | -1 116 | -1 258 | -1 264 |
| Formação de Foto-oxidantes | -1 902 | -2 111 | -2 575 |
| Acidificação | -13 620 | -15 146 | -18 638 |
| Eutrofização | 266 | 302 | 8 |

Anexo E – Informação introduzida no *software*

WAMPS



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund
and European Neighbourhood and
Partnership Instrument)



Amount of materials

| Material stream (tonnes) | | Treatment method stream (tonnes) | | | |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|------------------|
| C1 RU Lipor 2013 | Plastic packages | 8969.629 | C1 RU Lipor 2013 | Treatment of discarded electronics (WEEE) | 0.000 |
| | Glass | 18094.480 | | Treatment of car batteries | 0.000 |
| | Steel packages and steel scrap | 1274.116 | | Treatment of hazardous batteries | 0.000 |
| | Aluminium packages | 307.211 | | Treatment of the hazardous waste from households | 0.000 |
| | Paper packages | 9248.659 | | Recycling | 43482.095 |
| | Newspapers, magazines etc | 5588.001 | | Incineration | 380109.450 |
| | Organic degradable waste | 37960.964 | | Incineration (Cement kiln) | 0.000 |
| | <i>Anaerobic digestion</i> | 0.000 | | Composting plus landfilling | 0.000 |
| | Vehicle fuel | 0.000 | | Anaerobic digestion plus landfilling | 0.000 |
| | District heating | 0.000 | | Anaerobic digestion | 0.000 |
| | Electricity | 0.000 | | District heating | 0.000 |
| | <i>Composting</i> | 37960.964 | | Electricity | 0.000 |
| | Home composting | 0.000 | | Vehicle fuel | 0.000 |
| | Open windrow composting | 0.000 | | Composting | 37960.964 |
| | Closed composting (static) | 37960.964 | | Home composting | 0.000 |
| | Reactor composting (dynamic) | 0.000 | | Open windrow composting | 0.000 |
| | Hazardous waste (mixed) | 0.000 | | Closed composting (static) | 37960.964 |
| | Hazardous batteries | 0.000 | | Reactor composting (dynamic) | 0.000 |
| | Car batteries | 0.000 | | Landfill | 380.492 |
| | RDF fraction | | | Biocell | 0.000 |
| Fine fraction | | Landfill | 380.492 | | |
| Metal fraction | | Dumping | 0.000 | | |
| Rest waste | 380489.941 | Total | 461933.001 | | |
| Total | 461933.001 | | | | |



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund
and European Neighbourhood and
Partnership Instrument)

Amount of materials

| Material stream (tonnes) | | |
|--------------------------|--------------------------------|-----------|
| C2 Previsão BAU 2020 | Plastic packages | 9645.869 |
| | Glass | 19458.662 |
| | Steel packages and steel scrap | 1370.174 |
| | Aluminium packages | 330.372 |
| | Paper packages | 9945.936 |
| | Newspapers, magazines etc | 6009.293 |
| | Organic degradable waste | 49383.161 |
| | <i>Anaerobic digestion</i> | 0.000 |
| | Vehicle fuel | 0.000 |
| | District heating | 0.000 |
| | Electricity | 0.000 |
| | <i>Composting</i> | 49383.161 |
| | Home composting | 0.000 |
| | Open windrow composting | 0.000 |
| | Closed composting (static) | 49383.161 |
| | Reactor composting (dynamic) | 0.000 |
| | Hazardous waste (mixed) | 0.000 |
| | Hazardous batteries | 0.000 |
| | Car batteries | 0.000 |
| | RDF fraction | |
| Fine fraction | | |
| Metal fraction | | |
| Rest waste | 400607.100 | |
| Total | 496750.567 | |

| Treatment method stream (tonnes) | | |
|----------------------------------|--|------------------|
| C2 Previsão BAU 2020 | Treatment of discarded electronics (WEEE) | 0.000 |
| | Treatment of car batteries | 0.000 |
| | Treatment of hazardous batteries | 0.000 |
| | Treatment of the hazardous waste from households | 0.000 |
| | Recycling | 46760.307 |
| | Incineration | 400206.489 |
| | Incineration (Cement kiln) | 0.000 |
| | Composting plus landfilling | 0.000 |
| | Anaerobic digestion plus landfilling | 0.000 |
| | Anaerobic digestion | 0.000 |
| | District heating | 0.000 |
| | Electricity | 0.000 |
| | Vehicle fuel | 0.000 |
| | Composting | 49383.161 |
| | Home composting | 0.000 |
| | Open windrow composting | 0.000 |
| | Closed composting (static) | 49383.161 |
| | Reactor composting (dynamic) | 0.000 |
| | Landfill | 400.609 |
| | Biocell | 0.000 |
| Landfill | 400.609 | |
| Dumping | 0.000 | |
| Total | 496750.566 | |



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund
and European Neighbourhood and
Partnership Instrument)

Amount of materials

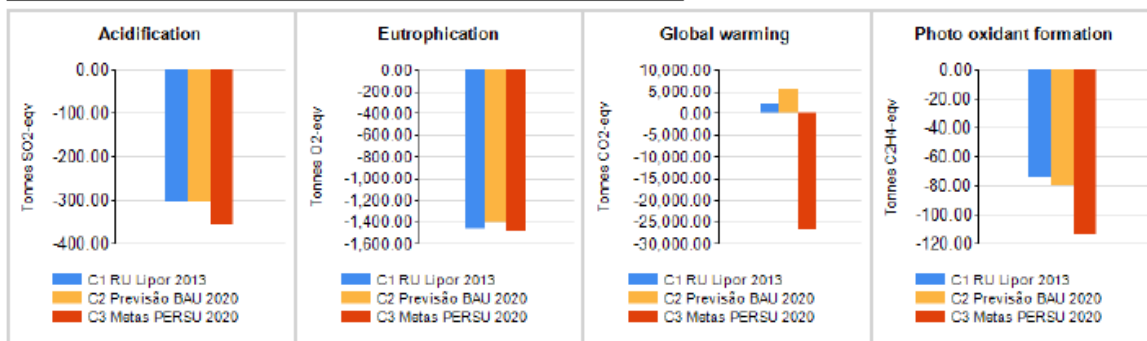
| Material stream (tonnes) | | Treatment method stream (tonnes) | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--|------------------|
| C3 Metas PERSU 2020 | Plastic packages | 20865.600 | C3 Metas PERSU 2020 | Treatment of discarded electronics (WEEE) | 0.000 |
| | Glass | 22776.790 | | Treatment of car batteries | 0.000 |
| | Steel packages and steel scrap | 2156.112 | | Treatment of hazardous batteries | 0.000 |
| | Aluminium packages | 621.000 | | Treatment of the hazardous waste from households | 0.000 |
| | Paper packages | 14345.100 | | Recycling | 68067.562 |
| | Newspapers, magazines etc | 7302.960 | | Incineration | 378794.484 |
| | Organic degradable waste | 49509.222 | | Incineration (Cement kiln) | 0.000 |
| | <i>Anaerobic digestion</i> | 0.000 | | Composting plus landfilling | 0.000 |
| | Vehicle fuel | 0.000 | | Anaerobic digestion plus landfilling | 0.000 |
| | District heating | 0.000 | | Anaerobic digestion | 0.000 |
| | Electricity | 0.000 | | District heating | 0.000 |
| | <i>Composting</i> | 49509.222 | | Electricity | 0.000 |
| | Home composting | 0.000 | | Vehicle fuel | 0.000 |
| | Open windrow composting | 0.000 | | Composting | 49509.222 |
| | Closed composting (static) | 49509.222 | | Home composting | 0.000 |
| | Reactor composting (dynamic) | 0.000 | | Open windrow composting | 0.000 |
| | Hazardous waste (mixed) | 0.000 | | Closed composting (static) | 49509.222 |
| | Hazardous batteries | 0.000 | | Reactor composting (dynamic) | 0.000 |
| | Car batteries | 0.000 | | Landfill | 379.175 |
| | RDF fraction | | | Biocell | 0.000 |
| Fine fraction | | Landfill | 379.175 | | |
| Metal fraction | | Dumping | 0.000 | | |
| Rest waste | 379173.658 | Total | 496750.443 | | |
| Total | 496750.442 | | | | |

Anexo F – Resultados obtidos no *software* WAMPS

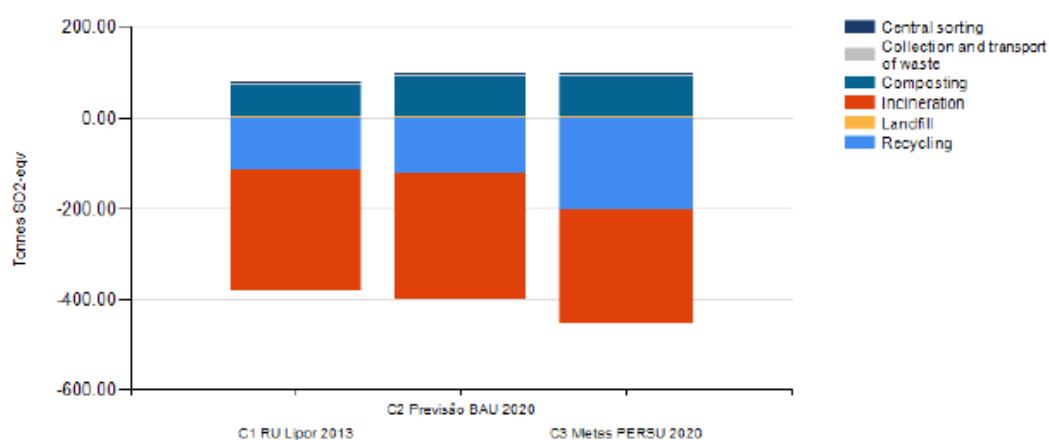
Results overview

Environmental impact category

| Category | Unit | C1 RU Lipor 2013 | C2 Previsão BAU 2020 | C3 Metas PERSU 2020 |
|---|---|------------------|----------------------|---------------------|
| Acidification | Tonnes SO ₂ -eqv | -302.563 | -303.276 | -355.536 |
| Eutrophication | Tonnes O ₂ -eqv | -1457.964 | -1405.610 | -1483.014 |
| Global warming | Tonnes CO ₂ -eqv | 2214.650 | 5519.332 | -26710.715 |
| Photo oxidant formation | Tonnes C ₂ H ₄ -eqv | -74.568 | -79.334 | -112.833 |

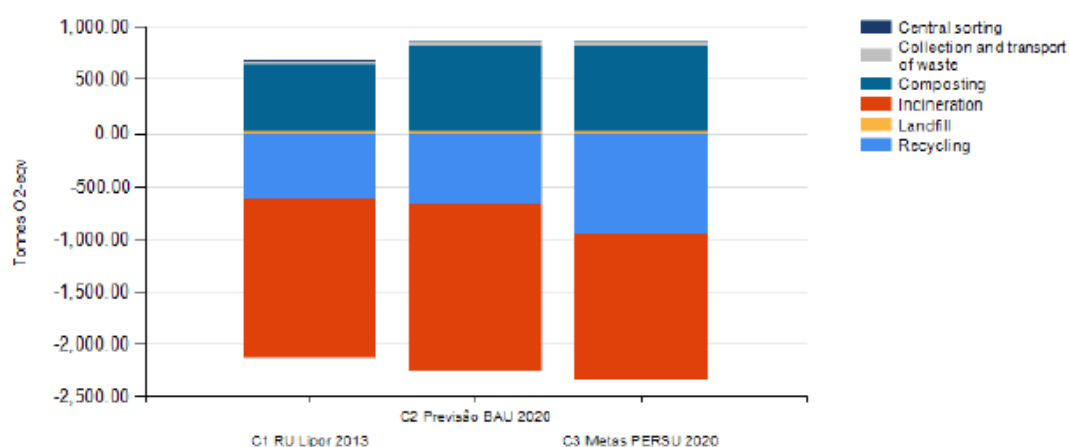


Acidification



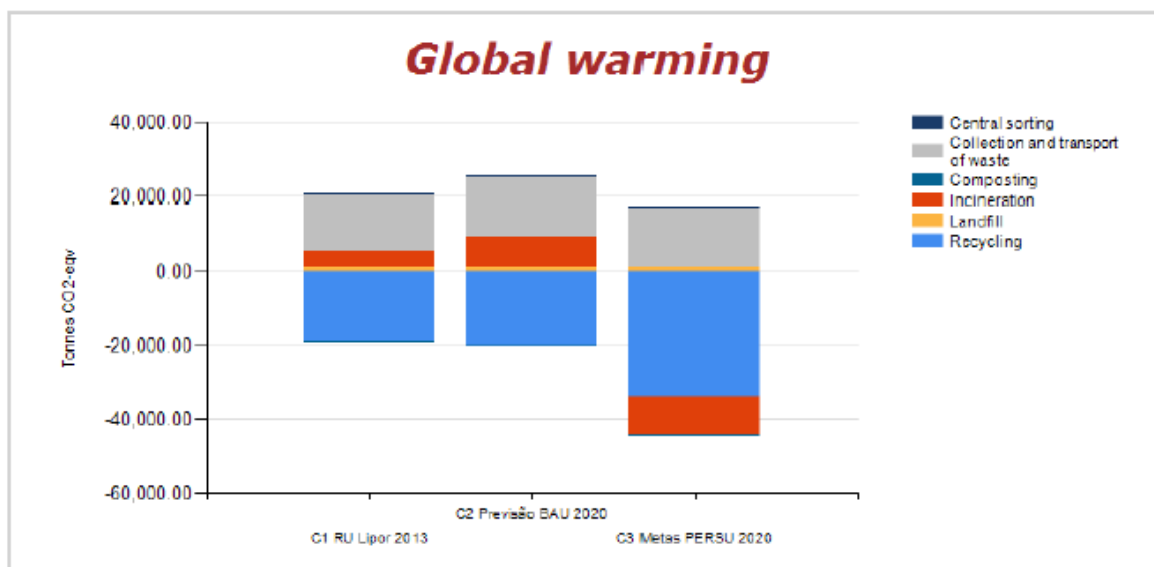
| | Central sorting | Collection and transport of waste | Composting | Incineration | Landfill | Recycling |
|----------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|--------------|----------|-----------|
| C1 RU Lipor 2013 | 1.82 | 5.62 | 67.10 | -267.75 | 2.76 | -112.11 |
| C2 Previsão BAU 2020 | 1.95 | 5.83 | 86.10 | -279.47 | 2.86 | -120.56 |
| C3 Metas PERSU 2020 | 2.84 | 5.84 | 86.31 | -252.24 | 2.79 | -201.08 |

Eutrophication



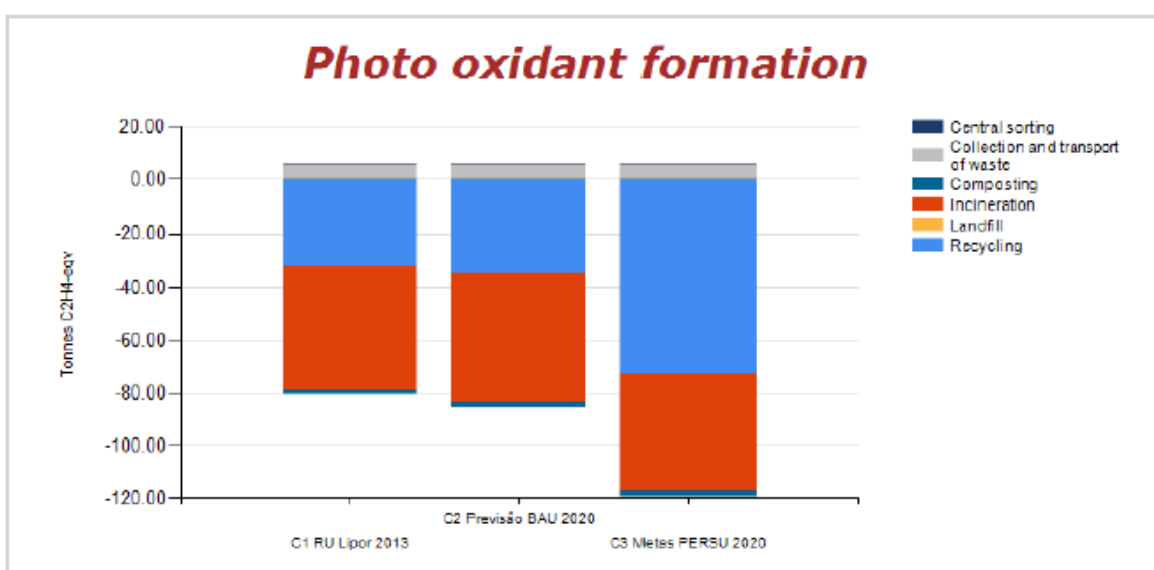
| | Central sorting | Collection and transport of waste | Composting | Incineration | Landfill | Recycling |
|----------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|--------------|----------|-----------|
| C1 RU Lipor 2013 | 12.54 | 23.31 | 613.02 | -1512.36 | 27.00 | -621.48 |
| C2 Previsão BAU 2020 | 13.49 | 24.20 | 786.59 | -1589.57 | 28.03 | -668.34 |
| C3 Metas PERSU 2020 | 19.63 | 24.25 | 788.44 | -1382.42 | 27.29 | -960.20 |

Global warming



| | Central sorting | Collection and transport of waste | Composting | Incineration | Landfill | Recycling |
|----------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|--------------|----------|-----------|
| C1 RU Lipor 2013 | 144.95 | 15383.93 | -92.60 | 4161.78 | 1215.74 | -18599.14 |
| C2 Previsão BAU 2020 | 155.88 | 15971.86 | -117.19 | 8226.14 | 1284.03 | -20001.37 |
| C3 Metas PERSU 2020 | 226.90 | 16005.60 | -117.45 | -10560.26 | 1252.95 | -33518.47 |

Photo oxidant formation



| | Central sorting | Collection and transport of waste | Composting | Incineration | Landfill | Recycling |
|----------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|--------------|----------|-----------|
| C1 RU Lipor 2013 | 0.26 | 4.90 | -1.40 | -46.79 | 0.78 | -32.32 |
| C2 Previsão BAU 2020 | 0.28 | 5.08 | -1.80 | -48.97 | 0.82 | -34.75 |
| C3 Metas PERSU 2020 | 0.41 | 5.09 | -1.80 | -44.27 | 0.80 | -73.07 |

Anexo G – Apresentação Grupo Focal

Workshop Apresentação de Resultados

Aplicação de uma ferramenta de Análise de Ciclo de Vida no
planeamento da gestão integrada de resíduos urbanos:
estudo de caso – Lipor

Mestrado em Cidadania Ambiental e Participação

Maio 2015

Alexandre Ventura Miranda Ferreira



Participantes

- [Redacted]
Chefe de divisão DVECT – Divisão de Valorização Energética e Confinamento Técnico
- [Redacted]
Técnico do DECRI – Departamento de Educação Comunicação e Relações Institucionais
- [Redacted]
Técnico do GASQT – Gabinete de Auditoria Sustentabilidade e Qualidade Total
- [Redacted]
Técnico do DPL – Departamento de Produção e Logística

2

Workshop

Programa:

- Enquadramento do Workshop / distribuição de informação (5 min.)
- Apresentação das metodologias e resultados obtidos (20 min.)
- Espaço discussão/debate (60 min.)

Objetivos:

- Apresentar os principais resultados obtidos neste trabalho de investigação;
- Receber o feedback/comentários sobre os resultados apresentados.

3

Objetivos

- Realizar um enquadramento ao nível dos SIGR nacionais, quanto à produção, gestão e tratamento de resíduos, analisando em particular o SIGR da Lipor;
- Aplicar uma metodologia de ACV à gestão de RU no SIGR da Lipor.

- Caracterização do SIGR da Lipor com base numa Análise de Ciclo de Vida;
- Desenvolver uma base de referência de atuação para o sistema, com base nos resultados obtidos;
- Identificar e analisar os fatores mais relevantes que têm influência sobre a modelação do sistema em estudo – propostas de melhoria para o sistema.

4

Materiais e métodos

Foram aplicados 2 softwares de utilização gratuita

- Software LCA-IWM “Life Cycle Assessment – Integrated Waste Management”:

Previsão de produção de RU (*municipal waste prognostic tool*),

Avaliação do sistema de gestão de resíduos (*waste management system assessment tool*)

“Software desenvolvido em *excel / VBA / Java* “

- Software WAMPS - Waste Management Planning System

“Software desenvolvido em *html* “

5

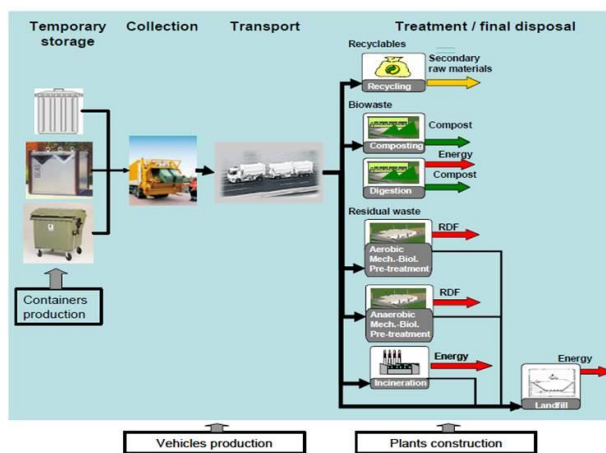
Materiais e métodos: LCA-IWM

Software LCA-IWM “Life Cycle Assessment – Integrated Waste Management”

- Ferramenta desenvolvida no âmbito de um projeto financiado pela EU através 5º programa de ação em matéria de ambiente. A coordenação do projeto esteve a cargo da universidade de Dramstad na Alemanha, sendo a ferramenta desenvolvida no período compreendido entre 2002 e 2005 (Den Boer et al., 2005).
- No que respeita ao cálculo do impacto ambiental, o *software* utiliza a metodologia CML 2001, em que os fatores de impacto são agrupados em 6 categorias: depleção abiótica, toxicidade humana, aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes.

6

Materiais e métodos: LCA-IWM



7

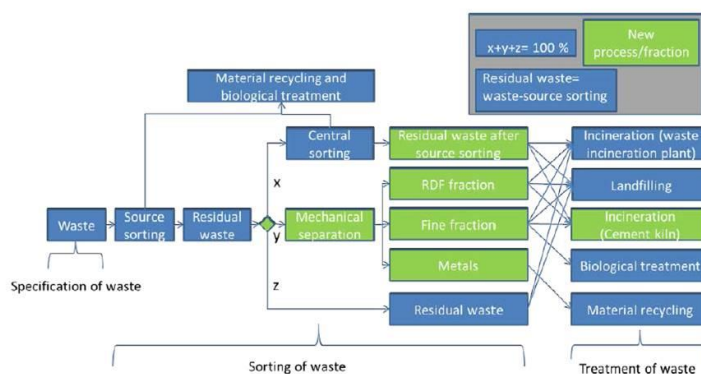
Materiais e métodos: WAMPS

WAMPS - Waste Management Planning System

- O funcionamento do programa baseia-se na inserção de dados referentes a cinco parâmetros: Composição dos Resíduos, Triagem de resíduos, Sistemas de Tratamento, Recolha e Transporte. Após a introdução dos dados, é calculado o desempenho ambiental do sistema através da medição do impacto nas 4 categorias seguintes: aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de foto oxidantes. É também possível a comparação de cenários.

8

Materiais e métodos: WAMPS



9

Cenários

- Cenário C1 – Situação verificada na área Lipor no ano de 2013

Cenário de referência, sendo que os dados são relativos ao ano de 2013.

- Cenário C2 – Situação prevista na área Lipor para o ano de 2020

Mantém-se sensivelmente as mesmas taxas de recolha de resíduos, ajustando-se às variações da quantidade total de resíduos.

- Cenário C3 – Situação prevista na área Lipor com cumprimento das metas do PERSU 2020

Este cenário está construído com o pressuposto que será desenvolvido um esforço no processo de recolha de resíduos, para que sejam atingidas as metas preconizadas no âmbito do PERSU 2020.

10

Cenários

| Cenários | Quantidade RU | Reciclagem | Valorização | | Confinamento |
|--------------------------|--------------------|------------|-------------|------------|--------------|
| | Rececionadas (ton) | | Orgânica | Energética | Técnico |
| C1 RU Lipor 2013 | 461 971 | 9,6 % | 8,3 % | 82 % | < 0,1 % |
| C2 RU Previsão BAIU 2020 | 496 800 | 10,2 % | 8,0 % | 81 % | 0,7 % |
| C3 Metas PERSU 2020 | 496 800 | 15,8 % | 8,8 % | 74,7 % | 0,7 % |

Quantitativos relativos aos 8 municípios Lipor

11

Dados LCA-IWM prognostic tool

- Informação Geral:
- Quantidade de RU rececionada no ano de referência;
- Composição dos RU na zona em estudo no ano de referência;
- Indicadores socioeconómicos no ano de referência;
- Indicadores socioeconómicos no ano de previsão;
- Previsão de aplicação de medidas de prevenção e redução na zona em estudo;
- Taxa de recolha seletiva no ano de referência e no ano de previsão.

12

Resultados LCA-IWM prognostic tool

| MSW generation forecast for the City of LIPOR | | | | | | |
|---|----------------|-----------|---------|-----------------|-----------|---------|
| Waste fraction | Reference year | | | Assessment year | | |
| | 2013 | | | 2020 | | |
| | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% |
| Paper and cardboard | 55400 | 57 | 12,00% | 61800 | 64 | 12,40% |
| Glass | 38200 | 39 | 8,30% | 41400 | 43 | 8,30% |
| Metals | 7800 | 8 | 1,70% | 8100 | 8 | 1,60% |
| Plastics and composites | 76200 | 78 | 16,50% | 83700 | 86 | 16,90% |
| Organic waste | 188100 | 194 | 40,70% | 198000 | 204 | 39,80% |
| Bio-waste | 118500 | 122 | 25,70% | 124700 | 129 | 25,10% |
| Garden waste | 69600 | 72 | 15,10% | 73200 | 76 | 14,70% |
| Hazardous waste | 400 | 0 | 0,10% | 400 | 0 | 0,10% |
| WEEE | 9200 | 9 | 2,00% | 9900 | 10 | 2,00% |
| Other (non-bulky) materials | 82800 | 85 | 17,90% | 89700 | 92 | 18,00% |
| Bulky Waste | 3600 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% |
| Municipal Solid Waste | 461600 | 475 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% |

13

Resultados LCA-IWM prognostic tool

| Planned separate collection performance in the City of LIPOR | | | | | | | | |
|--|--------|--------|----------------|-----------|---------|-----------------|-----------|---------|
| Waste fraction | Actual | | Reference year | | | Assessment year | | |
| | 2013 | 2020 | 2013 | | | 2020 | | |
| | Mass-% | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% | Tons/yr | Kg/cap/yr | Mass-% |
| Paper and cardboard | 27% | 35% | 14800 | 15 | 3,20% | 21600 | 22 | 4,40% |
| Glass | 47% | 55% | 18100 | 19 | 3,90% | 22800 | 23 | 4,60% |
| Metals | 13% | 35% | 1000 | 1 | 0,20% | 2800 | 3 | 0,60% |
| Plastics and composites | 12% | 25% | 9500 | 10 | 2,10% | 20900 | 22 | 4,20% |
| Organic waste | 19% | 25% | 35000 | 36 | 7,60% | 49500 | 51 | 10,00% |
| Hazardous waste | 3% | 3% | 0 | 0 | 0,00% | 0 | 0 | 0,00% |
| WEEE | 7% | 7% | 700 | 1 | 0,10% | 700 | 1 | 0,10% |
| Residual waste | - | - | 379000 | 390 | 82,10% | 374600 | 386 | 75,40% |
| Bulky Waste | - | - | 3600 | 4 | 0,80% | 3800 | 4 | 0,80% |
| Municipal solid waste | - | - | 461600 | 475 | 100,00% | 496800 | 512 | 100,00% |

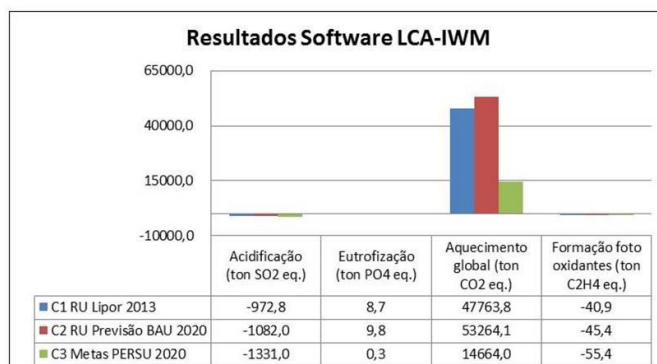
14

Dados LCA-IWM assessment tool

- Dados Gerais;
- Dados obtidos através do modelo de previsão;
- Dados relativos ao acondicionamento e armazenamento dos resíduos (equipamentos de deposição);
- Elementos relativos à recolha e transporte;
- Dados relacionados com o tratamento de destino final dos resíduos.

15

Resultados LCA-IWM assessment tool



16

Dados WAMPS

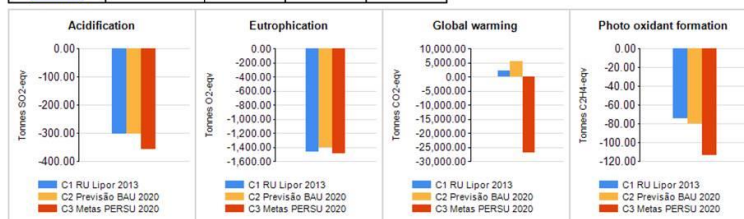
- Composição dos Resíduos (Anexo A)
- Triagem de resíduos;
- Sistemas de Tratamento;
- Recolha;
- Transporte.

17

Resultados WAMPS

Environmental impact category

| Category | Unit | C1 RU Lipor 2013 | C2 Previsão BAU 2020 | C3 Metas PERSU 2020 |
|---|-----------------|------------------|----------------------|---------------------|
| Acidification | Tonnes SO2-eqv | -302.563 | -303.276 | -355.536 |
| Eutrophication | Tonnes O2-eqv | -1457.964 | -1405.610 | -1483.014 |
| Global warming | Tonnes CO2-eqv | 2214.650 | 5519.332 | -26710.715 |
| Photo oxidant formation | Tonnes C2H4-eqv | -74.568 | -79.334 | -112.833 |



18

Debate / Discussão

7 Questões Chave

- Consideram os dados de base que foram utilizados nos softwares adequados?
- Projeção apresentada para 2020, é realista?
- Consideram os resultados “válidos” ?
- Qual dos softwares consideram que apresenta dados mais úteis?
- Qual a mais valia para a Lipor, com a realização deste estudo?
- Têm conhecimento de aplicação de softwares de ACV noutros SIGR?
- Comentários / Sugestões.

19

Obrigado

20