



Márcia Catarina Avaliação do Ciclo de Vida aplicada à Gestão de
Oliveira Cardoso Resíduos Urbanos



**Márcia Catarina
Oliveira Cardoso**

**Avaliação do Ciclo de Vida aplicada à Gestão de
Resíduos Urbanos**

Relatório de projeto apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

" Porque eu sou do tamanho do que vejo

E não, do tamanho da minha altura..."

Alberto Caeiro

o júri

presidente

Professor Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
(Orientador)

Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
(Arguente)

agradecimentos

Apesar do trabalho ter uma autora, existe muita gente que esteve envolvida diretamente e indiretamente, os co-autores, e a eles quero deixar as minhas palavras de agradecimento.

Em primeiro lugar, um enorme agradecimento ao Professor Doutor M. Arlindo Matos não só pela orientação dada neste projeto, mas também pela ajuda incansável, compreensão, paciência e por ter confiado em mim e me ter desafiado a ser mais e melhor.

Agradeço ao Departamento de Ambiente e Ordenamento e a todos os envolvidos pelo acolhimento e por me ajudarem a crescer como pessoa e como profissional.

Obrigada ao NEEA, Núcleo de Estudantes de Engenharia do Ambiente, e a todos aqueles que me acompanharam nesta viagem durante dois anos.

Obrigada à Comissão de Faina de Engenharia do Ambiente pelos cinco anos que me acompanhou, a todos que estiveram comigo, pelo desafio e pela recompensa. A praxe quando é feita corretamente, é inesquecível.

Obrigada à família que construí em Aveiro, aos que me acompanharam desde do primeiro ano, aos que fui encontrando ao longo do caminho, àqueles que já foram e àqueles que permanecem.

Um obrigada especial às minhas meninas que se tornaram irmãs, pelo que crescemos juntas, pelas desavenças e pazes imediatas, pelas loucuras e serenidades. Nunca pensei poder sair deste capítulo com amizades assim tão fortes. Obrigada.

Obrigada à família Barradas do Amaral que sempre esteve presente e disponível para a ajudar a minha família e a mim. Obrigada pela vossa amizade e bondade.

Obrigada à minha trindade: mãe, pai e irmão. À minha mãe pela força da natureza que é e por dar-me sempre apoio quando estava prestes a cair. Ao meu pai por me ter ensinado a não desistir e a não me deixar rebaixar. Vocês são a base da minha vida e a razão disto tudo. Por vocês quis ir mais longe, quis conquistar um dos meus sonhos. Por vossa causa estou onde estou, por isso, isto é vosso.

Por último, agradeço aos meus maus momentos por me desafiarem e demonstrarem que sou mais do que vejo, que sou mais forte do que penso, que posso alcançar mais do que sonho. Foi emocionalmente difícil, foi desafiante, mas compensou.

palavras-chave

gestão de resíduos urbanos, avaliação do ciclo de vida, biorresíduos, compostagem doméstica, metas de gestão de resíduos

resumo

A gestão de resíduos urbanos é condicionada pela sua complexidade que resulta da forma difusa como são gerados, pela diversidade da sua composição e pelo custo dos processos de gestão. A legislação relativa à gestão de resíduos tem como objetivos, para além da proteção da saúde humana, a salvaguarda da qualidade do ambiente e da utilização dos recursos naturais, nomeadamente através da fixação de limites máximos para a deposição em aterro, ou de limites mínimos para a valorização material, ou recuperação de energia. Tal é o propósito da diretiva quadro de resíduos 2008/98/CE e da recente diretiva UE 2018/851, em que, para além de reforçar os referidos limites, apresenta especial incidência em relação à gestão de biorresíduos, que é o componente mais abundante dos resíduos urbanos. A gestão de resíduos urbanos apresenta custos económicos, impactos ambientais elevados, exigindo ainda a participação de todos. Estas circunstâncias justificam a elaboração de estratégias de gestão que minimizem estes custos.

Este estudo tem por objetivo contribuir para a definição de um modelo de gestão de resíduos urbanos mais sustentável, nomeadamente no que respeita aos impactos ambientais e em linha com as metas comunitárias referentes à gestão de resíduos.

A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi usada neste trabalho para avaliação ambiental de diferentes alternativas de gestão de resíduos urbanos, tendo sido selecionados três indicadores de impacto ambiental (*IPCC 2013, Ecological Footprint e ReCiPe Endpoint*) determinados para Portugal com base em dados nacionais de 2016. Para este efeito foi desenvolvida uma aplicação ACV em Excel para suporte ao inventário dos diferentes processos de gestão e aos dados de ACV com origem na base de dados *Ecoinvent 3.3* (2016)

Assim, tendo como referência o ano de 2016 para Portugal e em relação ao cenário base que respeita ao atual modelo de gestão e ao total de resíduos urbanos produzidos, foram considerados dois cenários (a) considerando o reforço da recolha seletiva até 30%, a implementação da recolha seletiva de verdes e biorresíduos até 40% mantendo a atual capacidade instalada de tratamento mecânico e biológico e eliminando em aterro os resíduos remanescentes; (b) idem ao caso anterior mas promovendo ainda o tratamento doméstico de biorresíduos e resíduos verdes e contabilizando este tratamento no âmbito das metas de valorização e deposição em aterro.

Os resultados obtidos e em relação às metas fixadas, mostram (i) que em todos os cenários os resíduos finais para aterro excedem os valores máximos fixados para 2035, embora o cenário (b) se aproxime, (ii) que as metas de valorização de 2030 são alcançáveis no âmbito dos diferentes cenários alternativos, mas somente o cenário (b) alcança as metas de valorização fixadas para 2035.

Em relação ao indicador de ACV *IPCC 2013* foi de $2,15 \times 10^3$ Mton CO₂_eq/ano para o cenário de referência, enquanto que os cenários alternativos (a) e (b) apresentam uma redução percentual de 23% e 33%, respetivamente.

keywords

Municipal waste management, life cycle assessment, biowaste, domestic composting, waste management targets

abstract

The management of municipal waste is conditioned by its complexity that results from the diffuse way in which they are generated, the diversity of its composition and the cost of management processes. Waste management legislation aims, in addition to the protection of human health, the safeguarding of the quality of the environment and the use of natural resources, in particular by setting ceilings for landfilling, or minimum limits for material recovery, or energy recovery. This is the purpose of the 2008/98/CE Waste Framework Directive and the recent EU Directive 2018/851, in which, in addition to strengthening these limits, it has a particular focus on biowaste management, which is the most abundant component of urban waste. Urban waste management has economic costs, high environmental impacts, while also requiring everyone's participation. These circumstances justify the development of management strategies that minimize these costs.

This study aims to contribute to the definition of a more sustainable urban waste management model, in particular with regard to environmental impacts and in line with community waste management targets.

The Methodology of Life Cycle Assessment (LCA) was used in this work to environmentally assess different urban waste management alternatives, and three indicators of environmental impact (*IPCC 2013*, *Ecological Footprint* and *ReCiPe Endpoint* were selected) determined for Portugal based on national data from 2016. For this purpose, an ACV application in Excel was developed to support the inventory of different management processes and LCA data originating in the *Ecoinvent 3.3* database (2016).

Thus, with reference to 2016 for Portugal and in relation to the basic scenario regarding the current management model and total urban waste produced, two scenarios (a) considered strengthening selective collection up to 30%, the implementation of selective collection of greens and biowaste up to 40% maintaining the current installed capacity for mechanical and biological treatment and eliminating the remaining waste; (b) like the previous case but, also promoting domestic treatment of biowaste and green waste and accounting for this treatment under the recovery and landfill targets.

The results obtained and in relation to the targets set, show (i) that in all scenarios the final waste for landfill exceeds the maximum values set for 2035, although the scenario (b) approaches, (ii) that the 2030 recovery targets are achievable under the different alternative scenarios, but only the scenario (b) achieves the valuation targets set for 2035.

Regarding the *IPCC 2013* ACV indicator was about 2.15×10^3 Mton CO₂_eq/year for the reference scenario, while alternative scenarios (a) and (b) have a percentage reduction of 23% and 33%, respectively.

Índice

Índice	xv
Índice de Figuras	xvii
Índice de Tabelas	xix
Lista de abreviaturas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Gestão de resíduos urbanos.....	1
1.2 Avaliação do ciclo de vida (ACV).....	3
1.3 Economia circular.....	4
1.4 Objetivos do presente trabalho	6
2 Enquadramento legal.....	7
2.1 Legislação de enquadramento relativo à gestão de resíduos	7
2.2 Novas metas europeias	9
2.3 Enquadramento estratégico atual	10
3 Metodologia	13
3.1 Avaliação do Ciclo de Vida	13
3.1.1 Normas aplicadas	13
3.1.2 Metodologia ACV.....	14
3.2 Aplicação de ACV à gestão de resíduos	16
3.2.1 Descrição do modelo	16
3.2.2 Caracterização do Modelo Excel ACV-UA	18
3.2.2.1 Folha de apresentação	18
3.2.2.2 Folhas de parametrização	20
3.2.2.3 Folhas relativas a operações de gestão	22
3.2.2.4 Folha de dados de LCIA	22
3.2.2.5 Folha de resultados	23
4 Caso de Estudo – ERSUC	25
4.1 Enquadramento geral	25
4.2 Gestão de resíduos urbanos.....	28
4.3 Inventário primário de Ciclo de Vida dos resíduos urbanos na ERSUC	30
4.3.1 Recolha.....	33
4.3.2 Tratamento	34
4.3.3 Eliminação	37
4.4 Aplicação do modelo Excel ACV-UA	37
4.4.1 Resultados de AICV referentes ao cenário atual (ERSUC)	38
4.4.2 Análise de resultados de AICV referentes ao cenário atual (ERSUC).....	40
5 Aplicação Nacional	41
5.1 Enquadramento Geral.....	41

5.2	Gestão de Resíduos Urbanos.....	42
5.2.1	Caracterização física	44
5.2.2	Inventário primário para aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida	49
5.2.2.1	Recolha, transporte e transferência.....	49
5.2.2.2	Tratamento mecânico de resíduos da recolha seletiva	50
5.2.2.3	Tratamento de resíduos indiferenciados.....	51
5.3	Cenários para análise de ciclo de vida	53
5.4	Resultados	55
5.4.1	Metas Europeias.....	55
5.4.2	Impactos ambientais de ciclo de vida	57
5.4.2.1	<i>Ecological Footprint</i>	58
5.4.2.2	<i>ReCiPe Endpoint (EA)</i>	61
5.4.2.3	<i>IPCC 2013 (GWP 100a)</i>	64
5.4.3	Análise comparada dos diferentes cenários.....	68
6	Conclusões e sugestões para trabalho futuro	71
6.1	Conclusões.....	71
6.2	Limitações do trabalho	72
6.3	Sugestões para trabalho futuro.....	73
	Referências bibliográficas	75
	ANEXO I – RARU 2016 – Dados de Resíduos Urbanos do ano 2016	77
	ANEXO II - Tabela de indicadores impacto de ciclo de vida (LCIA)	83
	ANEXO III – Resíduos urbanos geridos pelos diferentes sistemas municipais em Portugal.	87

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Hierarquia das operações de gestão dos resíduos.	8
Figura 3.1 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).	14
Figura 3.2 - As etapas do Ciclo de Vida de um produto.	15
Figura 3.3 - Diagrama dos processos de recolha e tratamento de resíduos de vidro, papel/cartão e de embalagens.	18
Figura 3.4 - Diagrama dos processos de recolha e tratamento de de biorresíduos.	19
Figura 3.5 - Diagrama dos processos de recolha e tratamento mecânico e biológico de resíduos urbanos indiferenciados	19
Figura 3.6 - Diagrama dos processos de recolha e eliminação por incineração e aterro.	19
Figura 3.7 - Diagrama de fluxos na digestão anaeróbia de resíduos biodegradáveis.	20
Figura 4.1 - Localização geográfica da área abrangida pela ERSUC.	25
Figura 4.2 – Municípios integrados no Sistema de Gestão de Resíduos da ERSUC.	26
Figura 4.3 - Modelo técnico de intervenção da ERSUC.	27
Figura 4.4 - Evolução da capitação de resíduos urbanos na ERSUC (2012-2016).	29
Figura 4.5 - Balanço mássico da ERSUC em 2016.	31
Figura 4.6 - Diagrama de fluxos e resíduos geridos por tipologia e origem.	32
Figura 4.7 – Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos ERSUC em 2016, a , com base no indicador <i>IPCC 2013</i>	38
Figura 4.8 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos ERSUC em 2016, a , com base no indicador <i>Ecological Footprint</i>	39
Figura 4.9 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos ERSUC em 2016, a , com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i>	39
Figura 5.1 - Encaminhamento direto de resíduos urbanos, 2016.	42
Figura 5.2 - Mapa da distribuição dos SGRU em Portugal Continental.	43
Figura 5.3 - Caracterização física dos RU produzidos em 2016.	45
Figura 5.4 - Caracterização física da recolha indiferenciada em 2016.	46
Figura 5.5 - Caracterização física do fluxo da produção de papel e cartão.	47
Figura 5.6 - Caracterização física do fluxo da produção de plástico, metal e ECAL.	47
Figura 5.7 - Caracterização física do fluxo da produção de vidro.	48
Figura 5.8 - Caracterização física do fluxo da produção de biorresíduos.	48
Figura 5.9 – Valores percentuais atingidos dos diferentes cenários para os indicadores de referência.	57
Figura 5.10 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>Ecological footprint (m2.a/ano)</i> referente ao Cenário Atual.	58

Figura 5.11 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>Ecological footprint (m2.a/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (a).	59
Figura 5.12 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>Ecological footprint (m2.a/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (b).	60
Figura 5.13 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i> referente ao Cenário Atual.....	62
Figura 5.14 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i> referente ao Cenário Alternativo (a).	63
Figura 5.15 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i> referente ao Cenário Alternativo (b).	64
Figura 5.16 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> referente ao Cenário Atual.	65
Figura 5.17 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (a).....	66
Figura 5.18 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (b).....	67
Figura 5.19 - <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> , comparação entre os cenários atual 2016, alternativo (a) e (b), operação de gestão de resíduos urbanos.	68
Figura 5.20 - <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> , comparação entre os cenários atual 2016, alternativo (a) e (b), do valor total.	69

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Composição de resíduos urbanos da recolha indiferenciada da ERSUC em 2016 (cenário atual ou de referência).	21
Tabela 3.2 - Composição estimada para resíduos urbanos da recolha seletiva da ERSUC em 2016 (cenário atual ou de referência).	21
Tabela 3.3 - Dados referentes ao processo de recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF.	22
Tabela 3.4 - Dados referentes ao processo de recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF (continuação).	22
Tabela 3.5 – Excerto da tabela referente ao separador “LCIA” referente aos processos de gestão de resíduos.	23
Tabela 3.6 - Tabela de resultados AICV respeitantes a 2016 para o indicador <i>IPCC 2013</i> , tendo em conta cada uma das operações de gestão que integram o sistema municipal ERSUC....	24
Tabela 4.1 - Dados globais referentes à gestão de resíduos urbanos da ERSUC em 2016 (cenário atual ou de referência)	33
Tabela 4.2 - Dados relativos à recolha de resíduos urbanos (RS, RI, RE).	34
Tabela 4.3 – Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha seletiva.....	35
Tabela 4.4 - Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha indiferenciada.	36
Tabela 4.5 - Dados relativos ao tratamento biológico.....	36
Tabela 4.6 - Dados relativos à eliminação por aterro.	37
Tabela 4.7 - Valores resultantes dos indicadores ambientais analisados, ERSUC 2016.	38
Tabela 5.1 - Produção de resíduos 2012 a 2016.....	41
Tabela 5.2 - Infraestruturas de gestão de RU para 2016 e 2018.	44
Tabela 5.3 – Valores adaptados de recolha e transporte para Portugal.	50
Tabela 5.4 - Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha seletiva para Portugal.....	51
Tabela 5.5 - Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha indiferenciada para Portugal.....	52
Tabela 5.6 - Dados de entrada dos diferentes cenários para aplicação de ACV, 2016.	55
Tabela 5.7 - Deposição de RU em Aterro calculado a partir do modelo.....	56
Tabela 5.8 – Preparação de RU para reutilização e reciclagem calculado a partir do modelo.....	56
Tabela 5.9 - Metas estabelecidas pela Diretiva (UE) 2018/851.....	57
Tabela 5.10 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>Ecological footprint (m².a/ano)</i> referente ao Cenário Atual.	58
Tabela 5.11 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>Ecological footprint (m².a/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (a).	59

Tabela 5.12 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>Ecological footprint (m2.a/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (b).	60
Tabela 5.13 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i> referente ao Cenário Atual.....	61
Tabela 5.14 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i> referente ao Cenário Alternativo (a).	62
Tabela 5.15 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>ReCiPe Endpoint (EA)</i> referente ao Cenário Alternativo (b).	63
Tabela 5.16 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> referente ao Cenário Atual.....	65
Tabela 5.17 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (a).....	66
Tabela 5.18 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador <i>IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)</i> referente ao Cenário Alternativo (b).....	67

Lista de abreviaturas

ACV	- Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	- Análise de Inventário do Ciclo de Vida
APA	- Agência Portuguesa do Ambiente
CDR	- Combustíveis Derivados de Resíduos
CITVRU	- Centro Integrado de Tratamento e Valorização de Resíduos Urbanos
ECAL	- Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos
HAP	- Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
IPCC	- <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
IWM-2	- <i>Integrated Solid Waste Management</i>
GWP	- <i>Global Warming Potential</i>
LCA	- <i>Life Cycle Assessment</i>
LCIA	- <i>Life Cycle Impact Assessment</i>
PAYT	- <i>Pay As You Throw</i>
PCB	- <i>Polychlorinated Biphenyl</i> , Bifenilos Policlorados
PEHD	- <i>Polyethylene High-Density</i> , Polietileno de Alta Densidade
PERSU	- Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos
POSEUR	- Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
RARU	- Relatório Anual de Resíduos Urbanos
RE	- Recolha Especial (monos, ecopontos)
RI	- Recolha Indiferenciada
RS	- Recolha Seletiva
RUB	- Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SETAC	- <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SGRU	- Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos
TB	- Tratamento Biológico
TM	- Tratamento Mecânico
TMB	- Tratamento Mecânico e Biológico
UE	- União Europeia
VM	- Valorização Material
VO	- Valorização Orgânica
3F	- Trifluxe correspondente à recolha seletiva de resíduos de vidro, papel/cartão e plásticos/metais/ECAL de embalagens

1 INTRODUÇÃO

1.1 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

O ponto de desenvolvimento da sociedade é avaliado pela capacidade em satisfazer os cidadãos nas suas condições de bem-estar, tendo como prioridade o contentamento das suas necessidades primárias. Esta procura contínua pelo bem-estar dos cidadãos encontra-se, inevitavelmente articulada com o desenvolvimento, que num curto espaço de tempo apresenta mudanças significativas nos padrões de consumo aliado ao aumento de consumo de recursos naturais, da pressão sobre o planeta e sobre os seus recursos (Sequeiros, 2012).

Com o aumento do consumo de produtos surge consecutivamente o dilema dos seus resíduos, o que fazer com eles, e as suas consequências ambientais e sociais. A problemática da gestão de resíduos é um tema tão antigo quanto a humanidade (Nunes, 2017).

A gestão dos resíduos urbanos é um serviço público fundamental para assegurar aos cidadãos bem-estar, saúde pública, qualidade de vida e ambiente saudável, sendo por isso, um desafio das sociedades atuais cada vez mais difícil devido ao progressivo aumento da urbanização e do consumo de recursos naturais e tecnológicos (Machado, 2018).

Nas últimas décadas o paradigma dos resíduos sofreu alterações no seu significado e importância, deixando de ser considerados como lixo para passarem a ser considerados como recursos que devem ser otimizados e valorizados, tendo em vista a preservação de recursos naturais e da qualidade do ambiente (Machado, 2018).

No início dos anos 90, em Portugal existiam cerca de 300 lixeiras não controladas em atividade, colocando o sector dos resíduos urbanos numa situação inaceitável em relação a outros países da Europa. Nas últimas duas décadas assistiu-se a uma evolução significativa do sector da gestão dos resíduos em resultado dos investimentos realizados no setor, da legislação aprovada, da melhoria da atividade de regulação da qualidade de serviço (Sequeiros, 2012).

O desenvolvimento da gestão de resíduos em Portugal ao longo das últimas três décadas possibilitou que os resíduos urbanos iniciassem o seu tratamento de uma forma integrada e ambientalmente mais aceitável. Posteriormente à publicação da primeira lei-quadro dos resíduos em 1993, e seguinte legislação ambiental entretanto concebida, teve por

princípio o processo de encerramento das lixeiras que se concluiu por volta do ano 2000. Com a execução crescente de legislação mais rigorosa em matéria de gestão dos resíduos, confirmou-se a necessidade dos municípios e regiões se organizarem com o objetivo de assim conseguirem alcançar maior escala capacidade de tratamento e, ao mesmo tempo, conseguirem diminuir custos e potencializar os recursos na gestão dos resíduos (Ferreira, 2015). Atualmente, em Portugal os resíduos urbanos produzidos são tratados de forma mais apropriada ao nível ambiental e social, tendo como grande pilar a existência de um conjunto de infraestruturas de tratamento de resíduos urbanos que são partilhadas entre municípios (Sequeiros, 2012).

A gestão dos resíduos urbanos é condicionada pela sua complexidade, diversidade e composição. O seu tratamento e valorização são os objetivos mais importantes na elaboração dos sistemas de gestão de resíduos urbanos (SGRU), que se organizaram sob a forma quer de sistemas de serviço público intermunicipais quer multimunicipais de tratamento de resíduos urbanos (Puna and Baptista, 2008).

Torna-se importante a promoção de uma gestão eficiente e sustentável das atividades referentes à gestão de resíduos urbanos, formando uma política integrada de gestão, que estimule a redução na origem e desperte a reutilização e reciclagem, bem como a sua valorização e deposição final em condições seguras, de forma a assegurar uma melhoria contínua das soluções adotadas face aos avanços científico e tecnológico constatados neste setor (Monteiro, 2009).

Ao longo do tempo, o destino final de resíduos urbanos resumia-se aos seguintes métodos de gestão: reciclagem, tratamento biológico, aterro e incineração. Devido à facilidade operativa e aos baixos custos económicos, o aterro foi a forma mais usada para a deposição de resíduos sólidos. No entanto, a deposição em aterro pode apresentar riscos para a saúde pública devido à exposição potencial a agentes patogénicos, substâncias tóxicas e gases. Adicionalmente, o uso do aterro levanta uma série de questões ambientais importantes, incluindo a possibilidade de incêndios e explosões, danos na vegetação, contaminação das águas subterrâneas, poluição atmosférica, entre outros, devido à migração de gases e lixiviados fora dos limites do aterro e sua libertação para o ambiente envolvente (Domingo and Nadal, 2009).

O tratamento térmico por incineração tornou-se um método de gestão importante para os países industrializados devido à notável redução de espaço exigido para os resíduos, em relação ao aterro. Todavia, a incineração tem sido posta em causa devido às emissões de gases ácidos, metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP),

bifenilos policloradas (PCB's) e especialmente pela emissão de potenciais agentes carcinogénicos (Domingo and Nadal, 2009).

Dado que a eliminação de resíduos por deposição em aterro e por incineração tem vindo a constituir motivos de preocupação pelos SGRU tendo em conta as metas a que estão sujeitos, foi reconhecida a necessidade de aplicar outros métodos de gestão de RU. As soluções centram-se na recolha seletiva mais eficiente, de resíduos recicláveis destinados a valorização material e de resíduos orgânicos biodegradáveis destinados a valorização orgânica, diminuindo assim significativamente o volume de resíduos para eliminação (Domingo and Nadal, 2009).

Os processos de valorização orgânica incluem os processos aeróbios por um lado e os processos anaeróbios por outro, dando origem a um produto, designado de composto com reconhecido interesse para o solo, quer pelo conteúdo em matéria orgânica quer pelos nutrientes que apresenta (Messenger, 2019).

A gestão dos resíduos urbanos deve envolver diversas acções de forma a promover a redução de resíduos. Neste âmbito, a compostagem doméstica pode vir a assumir um papel importante para alcançar as metas de valorização material e de deposição em aterro preconizadas pela EU e contribuir decisivamente para uma sustentabilidade ambiental (Silva et al., 2007).

A compostagem doméstica é um processo de pequena escala responsável pelo tratamento e aproveitamento local dos resíduos orgânicos domésticos a saber: resíduos da preparação de alimentos, restos de alimentos, alimentos fora de prazo, guardanapos de papel, etc. e resíduos verdes de jardim, tais como relva, folhas secas, podas, etc. A decomposição é realizada por microrganismos, principalmente bactérias, mas também leveduras e fungos em condições adequadas de oxigénio, humidade e nutrientes, produzindo um composto apropriado para o uso do solo com várias vantagens económicas e ambientais (Silva *et al.*, 2007).

A compostagem doméstica torna-se numa solução onde os cidadãos obtêm mais envolvimento com a gestão dos seus resíduos e assim exercitarem a sua responsabilidade ambiental no dia a dia.

1.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Para alcançar o “desenvolvimento sustentável” são necessários métodos e ferramentas para ajudar na quantificação e comparação dos impactos ambientais alusivos ao

fornecimento de bens e serviços à sociedade. Cada produto tem uma “vida”, tendo a mesma, início na sua produção, passando pela extração de recursos, produção, uso e, por último, operações de eliminação em fim de vida. Os processos envolvidos no ciclo de vida de um produto originam impactos ambientais sob a forma de consumo de recursos, emissões para o ambiente natural e outras trocas ambientais (Rebitzera *et al.*, 2003).

A proteção ambiental e os impactes associados aos produtos, têm sido alvo de crescente atenção tendo em vista o desenvolvimento de métodos para que seja possível entender e reduzir esses impactes. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é considerada uma das ferramentas de avaliação ambiental mais desenvolvidas para avaliar o desempenho dos processos relativos ao ciclo de vida de um produto (Al-Salem *et al.*, 2014).

Avaliação de Ciclo de Vida é definida pela norma ISO 14040 como sendo uma “compilação dos fluxos de entradas e saídas e avaliação dos impactes ambientais associados a um produto ao longo do seu ciclo de vida”. Portanto, a ACV consiste numa análise contínua, desde o momento da extração das matérias-primas até ao fim de vida do produto – “*from cradle to grave*”, passando por uma série de processos intermédios, como por exemplo, produção, distribuição e deposição.

Os resultados obtidos a partir de um estudo ACV em conjunto com outras informações consideradas pertinentes, poderão ser usados na tomada de decisão na eleição de produtos ou processos que terão um menor impacte no ambiente (Ferreira, 2011).

1.3 ECONOMIA CIRCULAR

A economia mundial tem sido construída com base num modelo linear de negócios, baseado em extrair, transformar, produzir, usar e descartar (Leitão, 2015). Num planeta com recursos limitados e serviços ambientais no limiar da sua capacidade, perdurar num modelo económico linear não será sustentável a prazo, pelo que se torna urgente mudar a abordagem estratégica (Miran *et al.*, 2017).

A economia circular surge como um paradigma que responde às carências humanas e reparte de forma contrabalançada, os recursos recrutados sem danificar a atividade da biosfera ou intercalar quaisquer limites físicos do planeta. O presente modelo provém do desenvolvimento de estratégias ao nível tecnológico, de produto, de serviço, de uso ou consumo, que estimulem a reutilização incessante de materiais e recursos com o máximo valor financeiro e utilidade, pelo maior tempo possível, em ciclos convenientemente energizados por fontes renováveis. É possível então a conservação dos recursos como

também a recuperação e reabilitação do capital natural retirado da biosfera. Consequentemente, é restringida a extração ou importação de matérias primas e promovido o decréscimo de emissões e resíduos a eliminar (Miran *et al.*, 2017).

A economia circular é um modelo de crescimento económico que detém como pilares a proteção ambiental, a prevenção da poluição e o desenvolvimento sustentável. Para além da utilização de recursos com maior eficiência, através da sua reutilização e reciclagem, o modelo compreende juntamente a transmutação e o destino da organização industrial, infraestrutura urbana, proteção ambiental, padrões tecnológicos e disposição do bem-estar social (Leal, 2015).

A adoção do modelo da economia circular proporciona vantagens operacionais e estratégicas, a níveis micro e macroeconómicos, oportunidades de inovação e design, criação de empregos e incentiva o progresso económico inteligente, sustentável e interveniente, com resultados favoráveis sobre a saúde económica, ecológica e social, negando a ideia de que o desenvolvimento é desvantajoso para o ambiente (Leitão, 2015).

Em dezembro de 2015, a Comissão Europeia adotou um Plano de Ação para a Economia Circular de enquadramento estratégico para o desenvolvimento da UE, denominada como Pacote Economia Circular, que de entre outros aspetos amplia o encaminhamento de resíduos para reciclagem e valorização e diminuir a deposição de resíduos em aterro, aumentando a eficiência dos recursos através de medidas e metas juridicamente vinculativas. De forma a que a União Europeia caminhe rumo a uma economia circular, o Pacote Economia Circular propõe as seguintes metas (Comissão Europeia, 2014):

- Preparação de resíduos urbanos para reciclagem de 70%, até 2030;
- Preparação de resíduos de embalagem para reciclagem de 80%, até 2030;
- Proibição de deposição em aterro de resíduos considerados recicláveis e biodegradáveis, até 2025.

As metas estabelecidas pela Diretiva Quadro de Resíduos, Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e Conselho de 19 de novembro de 2008, referentes à preparação para reciclagem e reutilização de resíduos e, deposição de resíduos em aterro deverão aumentar a sua exigência de modo a refletirem a ambição da UE avançar rumo a uma economia circular (Diretiva (UE) 2018/851, 2018).

A recente Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e Conselho de 30 de maio de 2018, tem em conta a proposta da Comissão Europeia relativa à Economia Circular, constitui a mais recente alteração à diretiva quadro dos resíduos (Directiva 2008/98/CE).

1.4 OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO

No âmbito da unidade curricular Estágio/Projeto/Dissertação, foi proposta a realização de um projeto com o tema “Avaliação do Ciclo de Vida aplicada à Gestão de Resíduos Urbanos” para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.

O presente trabalho é um projeto em que se pretende avaliar o desempenho ambiental anual do conjunto de todos os sistemas de gestão de resíduos urbanos de Portugal, usando como metodologia a Avaliação do Ciclo de Vida, suportado num modelo AICV - Excel desenvolvido na Universidade de Aveiro, com base em dados nacionais de gestão de resíduos e dados específicos estimados a partir de um caso de estudo de um sistema multimunicipal de gestão de resíduos urbanos.

O presente trabalho apresenta o enquadramento legal para a gestão de resíduos urbanos em Portugal, tendo como referências a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro de 2008, e a nova Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018.

Tendo como base os dados relativos à gestão de resíduos urbanos em Portugal do ano de 2016, foi estabelecido um cenário de referência, e considerados e avaliados cenários alternativos correspondentes a diferentes alternativas de gestão, tendo em conta as novas metas de gestão da UE, a capacidade instalada das infraestruturas de tratamento biológico no país e o tratamento doméstico de biorresíduos.

O projeto tem assim como âmbito a contribuição para a definição de um modelo de gestão de resíduos urbanos mais sustentável, nomeadamente no que diz respeito aos impactos ambientais e em concordância com as metas comunitárias referentes à gestão de resíduos.

2 ENQUADRAMENTO LEGAL

A adesão de Portugal à UE trouxe um forte aumento de matéria legislativa em matéria do ambiente, bem como de obrigações que decorrem de tal ato. Se a primeira legislação se caracterizava pela proteção da qualidade do ambiente, o novo enquadramento proporcionado pela economia circular tem vindo a ganhar grande relevância na União Europeia, subordinando a legislação ambiental a tais objetivos.

2.1 LEGISLAÇÃO DE ENQUADRAMENTO RELATIVO À GESTÃO DE RESÍDUOS

Em matéria da legislação ambiental, a Diretiva 1999/31/CE de 26 de abril, relativa à deposição de resíduos em aterro, tem como principais objetivos a proteção da saúde humana e a preservação da qualidade do ambiente, através da prevenção dos resíduos, tendo como meta para 2016 uma redução dos RUB enviados para aterro de 35%, em peso, da quantidade total de RUB produzida em 1995. Cada Estado-membro deveria definir a sua estratégia nacional para a implementação da redução dos RUB enviados para aterros. Esta diretiva foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 152/2002 de 23 de maio.

A Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, também denominada como Diretiva Quadro de Resíduos, destina-se a proteger o ambiente e a saúde humana, destacando a importância da utilização de técnicas apropriadas de gestão, valorização e reciclagem dos resíduos de forma a reduzir as pressões aplicadas sobre os recursos e melhorar a eficiência da sua utilização. A Diretiva 2008/98/CE estabelece uma política de prevenção e gestão de resíduos: o princípio da hierarquia da gestão dos resíduos. A hierarquia (Figura 2.1) surge de forma a instaurar uma ordem de prioridades que constituem a melhor opção ambiental para a gestão de resíduos.

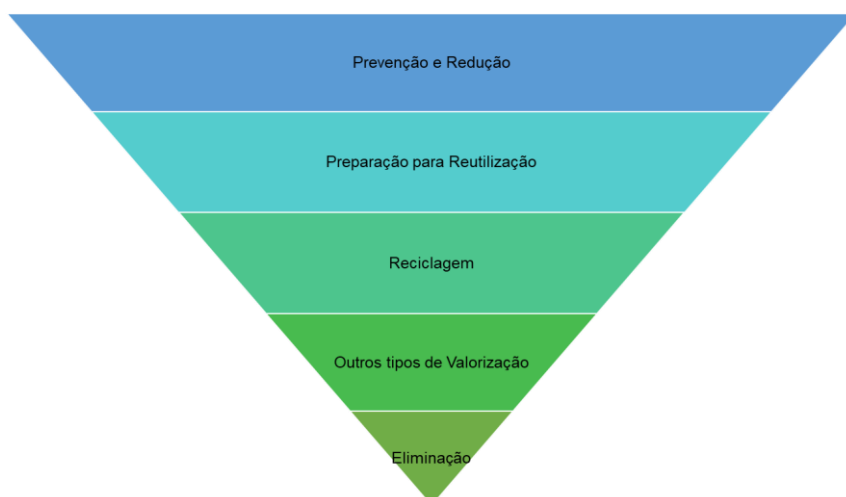


Figura 2.1 - Hierarquia das operações de gestão dos resíduos (Directiva 2008/98/CE).

De forma a aplicar a hierarquia, os Estados-membros deverão tomar medidas a fim de *“incentivar as opções conducentes aos melhores resultados ambientais globais”* (artigo 4º, Capítulo I, Directiva 2008/98/CE).

A Directiva 2008/98/CE faz a distinção entre resíduo e subproduto, onde o subproduto é *“uma substância ou objeto de um processo de produção cujo principal objetivo não seja a produção desse item”*. O subproduto é uma substância ou objeto que possibilita, posteriormente, a sua valorização.

A Directiva 2008/98/CE introduz o fim do estatuto de resíduo, onde são abrangidos determinados resíduos específicos que são submetidos a um processo de valorização, como a reciclagem.

No parágrafo 2 do Artigo 11º da Directiva Quadro de Resíduos, são apresentadas metas, até 2020, sobre a preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos como papel, metal, plástico e vidro domésticos e outros resíduos de carácter doméstico, que deverá representar um aumento mínimo de 50% em peso e, de outros materiais incluindo operações de enchimento utilizando resíduos de outros materiais, de resíduos de construção e demolição não perigosos, que deverá representar um aumento mínimo de 70% em peso.

Esta diretiva quadro foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho.

2.2 NOVAS METAS EUROPEIAS

Para que a economia se torne verdadeiramente circular é necessário reforçar e adicionar medidas no que diz respeito à produção e consumo sustentáveis, a fim de preservar os recursos. Melhorar a eficiência da utilização dos recursos e garantir que os resíduos sejam reconhecidos como recursos pode contribuir para reduzir a dependência da UE da importação de matérias-primas e facilitar a transição para uma gestão dos materiais mais sustentável e para um modelo de economia circular (Diretiva (UE) 2018/851).

Devido ao inconcluso desenvolvimento de infraestruturas necessárias para a gestão de resíduos por parte de muitos Estados-membros, a 30 de maio de 2018 o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia aprovaram as alterações propostas que se apresentam na Diretiva (UE) 2018/851 tendo sido essencial a definição de objetivos claros de política a longo prazo.

A Diretiva (UE) 2018/851 incide no aumento da valorização dos resíduos passando por uma maior eficiência na recolha seletiva, no tratamento e recolha dos biorresíduos, resíduos têxteis e domésticos perigosos. A fim de atingir os objetivos, foram estabelecidas as seguintes metas:

- Aumentar a taxa de preparação para a reutilização e reciclagem de RU para 55%, até 2025;
- Aumentar a taxa de preparação para a reutilização e reciclagem de RU para 60%, até 2030;
- Aumentar a taxa de preparação para a reutilização e reciclagem de RU para 65%, até 2035;
- Reduzir a deposição em aterro para um máximo de 10% de todos os resíduos, até 2035;
- Recolher seletivamente os biorresíduos, obrigatório a partir de 2024;
- Recolher seletivamente os resíduos têxteis, obrigatório a partir de 2025;
- Recolher seletivamente os resíduos domésticos perigosos.

A valorização material insere a preparação para reutilização e reciclagem, bem como outros métodos de valorização material. A nova Diretiva Quadro de Resíduos atribui autonomia aos Estados-membros de tomarem as medidas necessárias para garantir que os resíduos sejam preparados para a reutilização, reciclagem e outras formas de

valorização. De forma a atingir as metas estabelecidas, a Diretiva propõe a recolha seletiva dos resíduos ao invés da mistura de resíduos com diferentes características (parágrafo 2, Artigo 10º, Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho). Se os Estados-membros entenderem que a recolha seletiva não é a melhor solução, podem recorrer à derrogação do 2º parágrafo do artigo 10º desde que seja obedecida uma das seguintes premissas:

- A recolha conjunta de determinados tipos de resíduos não afeta o seu potencial para serem alvo de preparação para a reutilização, de reciclagem ou de outras operações de valorização e os consequentes dessas operações são de qualidade equiparável à que é alcançada através da recolha seletiva;
- A recolha seletiva não concebe os melhores resultados ambientais quando são ponderados os impactos ambientais globais da gestão dos fluxos de resíduos concernentes;
- A recolha seletiva não é tecnicamente exequível tendo em conta as boas práticas em matéria de recolha de resíduos;
- A recolha seletiva traria custos económicos díspares tendo em conta os custos dos impactos adversos no ambiente e na saúde da recolha e tratamento de resíduos indiferenciados, o potencial das melhorias na eficiência da recolha e tratamento de resíduos, as receitas resultantes da venda de matérias-primas secundárias e a aplicação do princípio poluidor-pagador e da responsabilidade alargada do produtor.

Os Estados-membros têm até 31 de dezembro de 2021 para apresentarem à Comissão Europeia um relatório sobre a execução do Artigo 10º, da Diretiva (UE) 2018/851, no que respeita aos resíduos urbanos e biorresíduos, abrangendo sobre o campo de ação material e geográfico incluídos pela recolha seletiva e sobre as possíveis derrogações.

2.3 ENQUADRAMENTO ESTRATÉGICO ATUAL

De forma a executar os objetivos e metas europeias e consequentemente nacionais, foi então concebido o PERSU 2020 – Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos, em vigor para o período 2014-2020, que sucede ao PERSU II, sendo então constituído como uma ferramenta de referência da política de gestão de resíduos urbanos.

Aprovado pela Portaria n.º 187-A/2014, de 17 de setembro, o PERSU 2020 apresentava valores mínimos de eficiência de recuperação de materiais, metas de recuperação de materiais recicláveis, produção de composto e material para combustíveis derivados de resíduos (CDR). O Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos colabora assim para a execução das metas nacionais e comunitárias que envolvem a gestão de resíduos urbanos (APA, 2017c).

Dado que o período de vigência do PERSU 2020 se aproxima do fim e tendo em atenção a estratégia da EU em relação à economia circular, foi recentemente aprovado o novo pacote estratégico para a gestão dos resíduos urbanos denominado PERSU 2020+, destinado ao período 2020 a 2025 (Portaria n.º 241-B/2019, publicada a 31 de julho) que constitui um ajustamento às medidas vertidas no Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU 2020).

Após a divulgação da nova Diretiva Quadro de Resíduos e a avaliação da situação em 2017, o PERSU 2020 tornou-se insuficiente. As novas metas europeias relativas à preparação para reutilização e reciclagem de resíduos urbanos, deposição de resíduos em aterro, recolha seletiva de biorresíduos, têxteis e resíduos domésticos perigosos, colocam a Portugal desafios de grande complexidade. São necessárias respostas claras, multidisciplinares e adaptadas para a sua resolução, sobretudo alterações que passam pela otimização de tecnologia e mudança comportamental dos cidadãos. O PERSU 2020+ apresenta as linhas gerais do alinhamento que é necessário introduzir no PERSU 2020, focando-se numa dimensão prospetiva em face das metas previstas ao nível da União Europeia (APA, *website* visitado a 17/09/2019).

A visão, os objetivos, as metas globais e as medidas a implementar no quadro da gestão de resíduos urbanos contemplados no PERSU 2020+, traduzem a estratégia que suporta a sua execução no período que decorre até 2025. O PERSU 2020+, que esteve recentemente em consulta pública, reconhece como as suas linhas de força prioritárias: recolha seletiva de embalagens, biorresíduos, têxteis e de pequenas quantidades de resíduos perigosos, combustível derivado de resíduos, produção de energia a partir de RU, entre outros (Vaz *et al.*, 2018).

O PERSU 2020+ foi aprovado pela portaria n.º 241-B/2019, de 31 de julho de 2019. As novas medidas propostas estão de acordo com os temas prioritários reforçam o foco nos objetivos para o cumprimento das novas metas orientadas para uma economia circular (APA, 2019a).

- Os SGRU, até 2025, deverão encaminhar cerca de 40 a 45% de embalagens de plástico para reciclagem.
- Como é previsto na nova Diretiva Quadro de Resíduos, a partir de 31 de dezembro de 2023 torna-se obrigatória a recolha seletiva de biorresíduos.
- Utilização de CDR com origem em resíduos urbanos ou da própria “fração resto” noutros setores industriais, para além da utilização dentro do próprio setor de resíduos urbanos.
- Acautelar um sistema tarifário justo para os cidadãos e reavaliar a Taxa de Gestão de Resíduos (TGR).
- Incrementar as campanhas de educação ambiental e sensibilização ambiental dos cidadãos, nomeadamente sobre resíduos perigosos e de têxteis.

3 METODOLOGIA

3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica que permite acumular os impactes ambientais relativos a um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, ou seja, a extração de matéria prima do ambiente, a respetiva transformação até à obtenção do sistema de produto, a utilização e finalmente o descarte em fim de vida. Este procedimento corresponde ao modelo “*from cradle to grave*”.

A metodologia centra-se no desenvolvimento de um modelo onde as fases do ciclo de vida são descritas por processos simples que se encontram interligados por fluxos de energia e de materiais, alguns dos quais correspondem a transferências de energia e massa a partir do ambiente (importações) e para o ambiente (exportações). O conjunto dos vários processos envolvidos denomina-se por “sistema do produto”.

3.1.1 NORMAS APLICADAS

Entre 1990 e 1993, foram organizadas cerca de nove conferências internacionais pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – SETAC, onde se reuniram investigadores líderes no tema para que o tema ACV fosse desenvolvido e compreendido. Em 1992, com a finalidade de normalizar a metodologia da ACV como técnica de gestão ambiental, a *International Organization for Standardization* – ISO criou um comité técnico (TC 207/SC 5) com o propósito de normalizar abordagens de gestão ambiental, abrangendo ACV. Como consequência do trabalho desenvolvido pela SETAC, surgiu o primeiro documento da estruturação da metodologia de ACV, “*Guidelines for Life Cycle Assessment – A Code of Practice*”, direcionando os trabalhos de normalização da ISO (Allen *et al.*, 2009).

Até ao ano de 2006, em ACV existiam as seguintes normas de gestão ambiental:

- ISO 14040 (1997), Life Cycle Assessment. Principles and Framework;
- ISO 14041 (1998), Life Cycle Assessment. Goal and Scope Definition and Inventory Analysis;
- ISO 14042 (2000). Life Cycle Assessment. Life Cycle Impact Assessment;
- ISO 14043 (2000). Life Cycle Assessment. Life Cycle Impact Assessment;

- ISO/TR 14047 (2000). Life Cycle Assessment. Examples of Application of ISO 14042;
- ISO/TS 14048 (2001). Life Cycle Assessment. Data Documentation Format;
- ISO/TR 14049 (2000). Life Cycle Assessment. Examples of Application of ISO 14041 for goal and scope definition and inventory analysis.

Estas séries de normas foram revistas e compiladas nas normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006):

- ISO 14040. Life cycle assessment. Principles and framework;
- ISO 14044. Life cycle assessment. Requirements and Guidelines

A Avaliação do Ciclo de Vida juntamente com as normas ISO 14040 e 14044, deverão ser empregues como métodos de apoio à planificação do sistema de gestão. Neste âmbito, a ACV é usada de forma a complementar os sistemas de gestão ambiental.

3.1.2 METODOLOGIA ACV

De acordo com a ISO 14040, o estudo ACV é composto por quatro componentes (Figura 3.1): definição do objetivo e do âmbito da análise, análise do inventário dos processos envolvidos, avaliação dos impactes ambientais e, interpretação dos resultados tendo em consideração os objetivos iniciais.

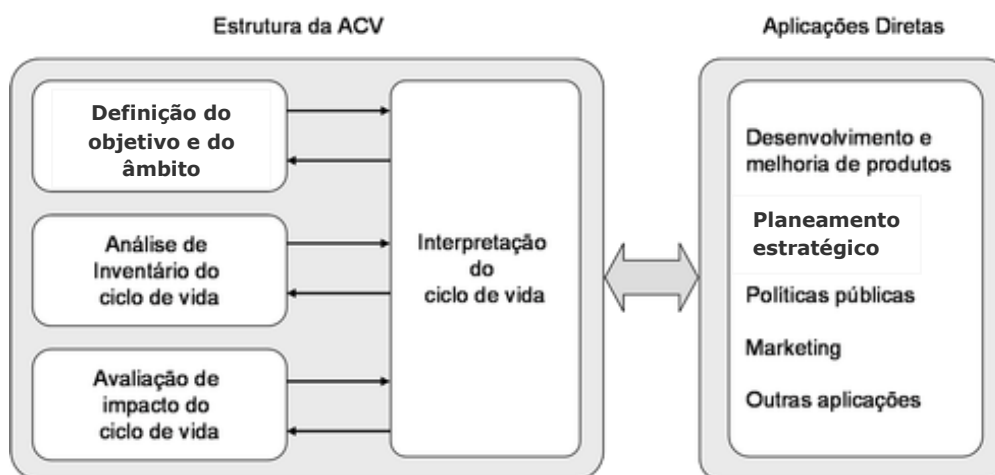


Figura 3.1 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14040).

A definição do objetivo designa o motivo da concretização do estudo, define as opções que serão confrontadas e a utilização pretendida dos resultados. A utilização pretendida do ACV afeta o tipo de estudo a efetuar e os dados necessários. Na mesma etapa, encontram-se compreendidos a identificação dos limites do sistema e os mecanismos de manuseio dos dados. O âmbito de um estudo descreve os critérios dentro dos quais o estudo será realizado (McDougall *et al.*, 2003). Este terá que ser bem estabelecido de forma a assegurar a extensão, a complexidade e os pormenores do estudo sejam compatíveis e suficientes para retratar o objetivo declarado (ISO 14040).

A análise do inventário dos processos envolvidos compreende a caracterização do ciclo de vida como uma série de etapas e a determinação de todas as entradas e saídas de material e energia durante todo o ciclo de vida do produto ou serviço (Figura 3.2). A análise de todas as entradas e saídas para cada etapa do ciclo de vida pode ser combinada para dar o inventário geral do ciclo de vida (McDougall *et al.*, 2003).

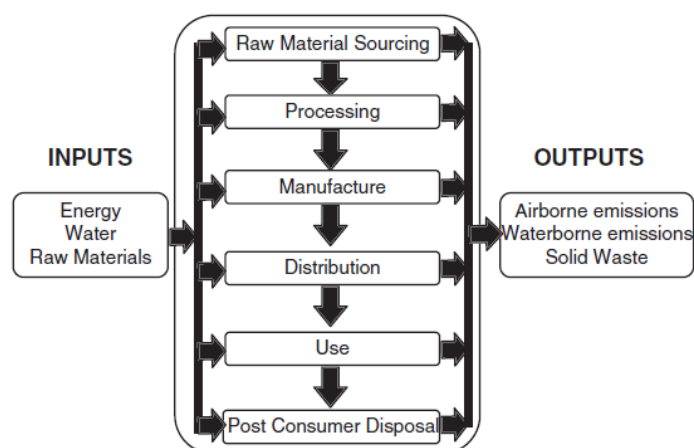


Figura 3.2 - As etapas do Ciclo de Vida de um produto (McDougall *et al.*, 2003).

A avaliação dos impactes ambientais ou avaliação do impacte do ciclo de vida (AICV/LCIA), proporciona uma visão sobre todo o sistema, quer de produtos ou serviços, acerca de questões ambientais e de recursos. Para isso, são atribuídos resultados de impacte de ciclo de vida a categorias específicas selecionadas. Para cada categoria de impacto, os indicadores adequados são selecionados e um modelo de caracterização é usado para determinar os resultados do indicador. A recolha de resultados do indicador proporciona um enquadramento ambiental para as emissões e o uso de recursos associados ao sistema de produtos ou serviços (McDougall *et al.*, 2003).

A etapa de interpretação dos resultados do processo ACV, envolve as outras etapas que constituem a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida, ou seja, os processos de definição do objetivo e âmbito, análise de inventário e avaliação de impacto. A interpretação pode implicar uma retificação de todas as etapas do processo ACV e uma averiguação de que todas os pressupostos são coerentes (McDougall *et al.*, 2003).

3.2 APLICAÇÃO DE ACV À GESTÃO DE RESÍDUOS

As aplicações mais correntes para suporte ao cálculo de ACV encontram-se orientadas para a análise de sistemas de produtos, o que, para além dos custos de licenciamento, origina algumas dificuldades de utilização que necessitam de ser ultrapassadas mediante estratégias adequadas. Para a aplicação à área da gestão de resíduos é possível recorrer a aplicações específicas, nomeadamente a aplicação *IWM-2* (McDougall *et al.*, 2003), que não permite a realização de AICV de facto, e mais recentemente a aplicação *EASETECH* (DTU, 2017), mas que não permitiu a respetiva utilização ao caso de estudo deste trabalho, atendendo a dificuldades operacionais internas evidenciadas pela aplicação.

Assim, em face destas limitações e em linha de outros trabalhos (Silveira, 2016), foi desenvolvido um procedimento de cálculo baseado em folhas Excel que permitiram conformar a informação necessária e dar origem a uma aplicação, designada ACV-UA, inicialmente desenvolvida para a avaliação de municípios e depois desenvolvida para sistemas municipais e, no âmbito deste trabalho estendida para o todo nacional tendo em conta a totalidade dos sistemas municipais existentes no país, num total de 25, incluindo os Açores e Madeira.

O modelo foi concebido no Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, pelo Professor Doutor Arlindo Matos, desenvolvido para suportar o desenvolvimento dos trabalhos da unidade curricular de mestrado em Engenharia do Ambiente denominada Infraestruturas Ambientais I.

3.2.1 DESCRIÇÃO DO MODELO

A aplicação do modelo Excel foi gerada para a realização da avaliação do ciclo de vida de um ou mais municípios, para o período de um ano, tendo pelo menos dois cenários: referência e alternativo.

O objetivo do modelo consiste na determinação de três indicadores de impacto ambiental: *IPCC 2013*, *Ecological Footprint* e *Recipe Endpoint*.

O modelo de caracterização dos Perfis Ambientais, *IPCC 2013*, baseia-se em fatores desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas - *UN's Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Os fatores são expressos como potencial de aquecimento global ao longo do horizonte temporal de diferentes anos, sendo os 100 anos mais comuns (GWP100), medidos na unidade de referência, kg CO₂ equivalente (Menoufi, 2011).

A Pegada Ecológica (*Ecological footprint*) surgiu como a principal medida mundial de exigência da humanidade sobre a natureza, especificamente sobre o uso da terra. Ao contrário dos métodos de avaliação mencionados no presente trabalho, o método de Pegada Ecológica é considerado como uma ferramenta para a interpretação do recurso de ciclo de vida específico dos produtos. A Pegada Ecológica mede a quantidade de terra e área marítima biologicamente produtiva que a atividade humana requer para produzir os recursos que consome e absorve o desperdício que gera usando a tecnologia e a gestão de recursos prevaletentes. Essas medidas são então comparadas à área terrestre e marítima disponível (Menoufi, 2011).

A principal finalidade do método *ReCiPe* é transformar a longa lista de resultados do inventário do ciclo de vida, num número limitado de pontuações de indicadores. Esses indicadores indicam a gravidade relativa numa categoria de impacte ambiental. No *ReCiPe*, são determinados indicadores em dois níveis: dezoito indicadores de ponto médio e três indicadores de ponto final. Cada indicador de impacto (de ponto médio e de ponto final) contém fatores de acordo com as três perspetivas culturais. Estas perspetivas representam um conjunto de escolhas em questões como o tempo ou as expectativas de que uma gestão adequada ou o desenvolvimento futuro da tecnologia, podem evitar danos futuros (Menoufi, 2011).

Este modelo está delineado para que seja possível, de uma forma automatizada, refletir prontamente qualquer acerto que se mostre apropriado na parametrização das diferentes atividades (Matos, 2017).

A aplicação encontra-se em constante desenvolvimento. As pormenorizações e o detalhe são unicamente informativos e operam como uma base de trabalho, podendo ser adaptadas sempre que possível ou necessário (Matos, 2017).

O modelo foi adaptado para o presente estudo, atingindo assim a 33ª versão da aplicação.

3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO EXCEL ACV-UA

O Modelo Excel ACV-UA é uma aplicação informática desenvolvida em Excel, que se encontra organizada em cinco secções (apresentação, parametrizações, operações de gestão, dados LCIA e resultados), totalizando 26 separadores (folhas).

3.2.2.1 FOLHA DE APRESENTAÇÃO

A apresentação inclui 5 separadores. Nos 3 primeiros separadores é incluída informação geral referente ao objetivo e âmbito, incluindo a identificação do utilizador e a versão de trabalho, o conjunto de processos de gestão dos resíduos urbanos desde a recolha até ao destino final para os diferentes fluxos de resíduos urbanos (Figura 3.3, Figura 3.4, Figura 3.5, Figura 3.6).

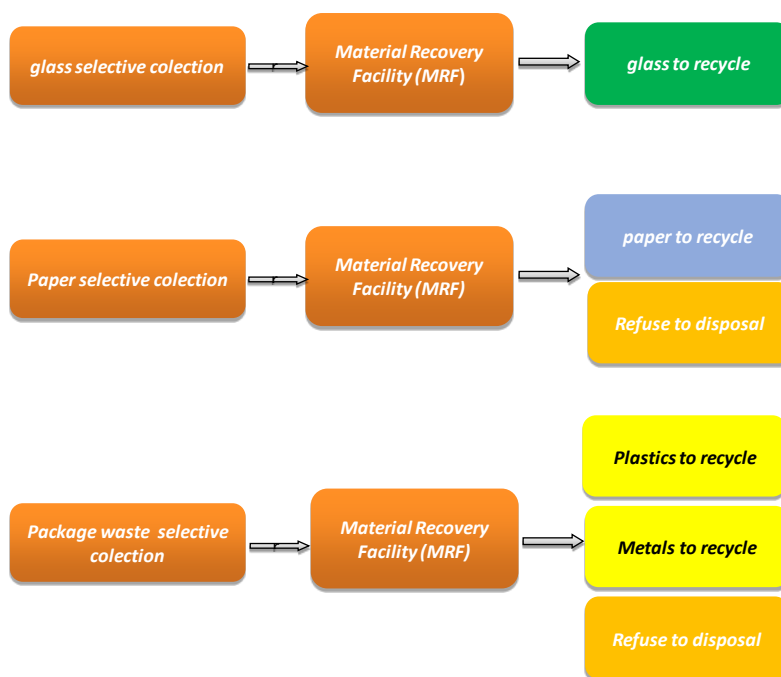


Figura 3.3 - Diagrama dos processos de recolha e tratamento de resíduos de vidro, papel/cartão e de embalagens.

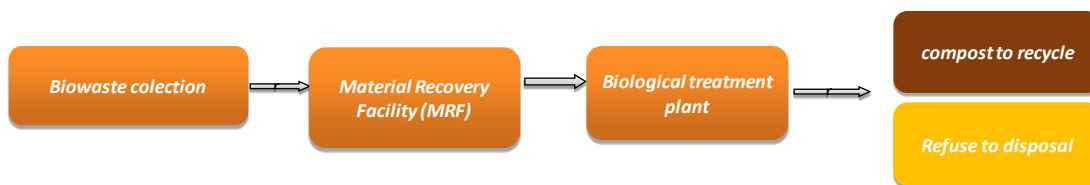


Figura 3.4 - Diagrama dos processos de recolha e tratamento de biorresíduos.

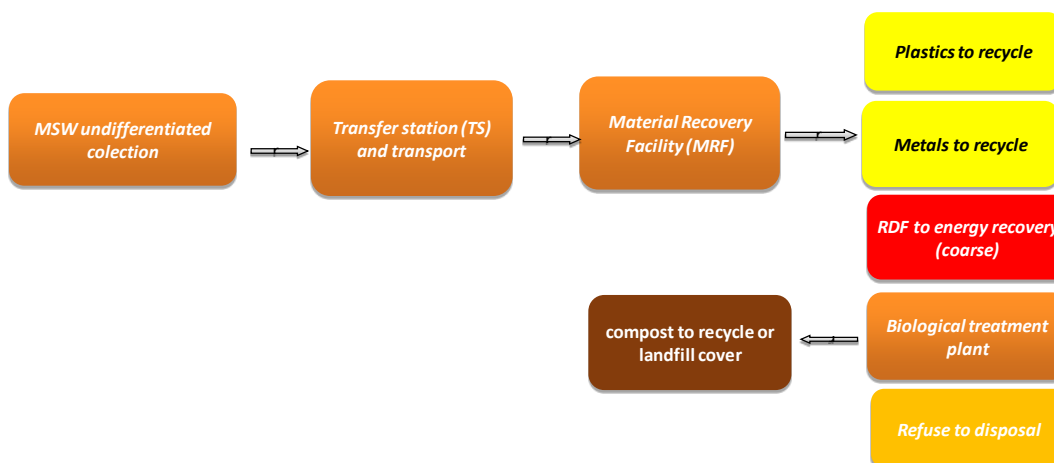


Figura 3.5 - Diagrama dos processos de recolha e tratamento mecânico e biológico de resíduos urbanos indiferenciados.

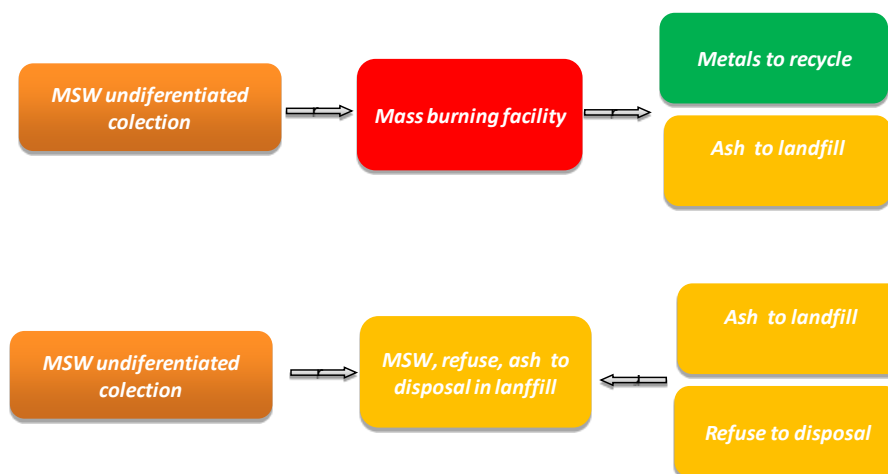


Figura 3.6 - Diagrama dos processos de recolha e eliminação por incineração e aterro.

De facto, para alguns processos, o modelo elaborado é mais complexo do que as figuras anteriores apresentam. Por exemplo, para a operação de tratamento biológico pode referir-se a processos aeróbios ou anaeróbios, cada um dos quais pode incluir subprocessos, tais como ilustra a Figura 3.7, e desenvolvidos nos separadores finais “*TB_BM*”.

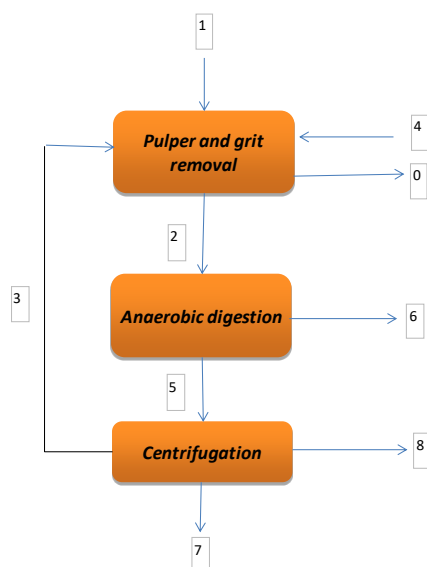


Figura 3.7 - Diagrama de fluxos na digestão anaeróbia de resíduos biodegradáveis.

3.2.2.2 FOLHAS DE PARAMETRIZAÇÃO

A parametrização respeita aos dados referentes à gestão de resíduos urbanos nacionais referentes a 2016, (separador “*RARU2016*” do modelo ACV-UA), disponíveis no *website* da APA (plataforma SILiAmb), que inclui todos os 25 sistemas municipais nacionais (incluindo Açores e Madeira), conforme ANEXO I, constituindo os dados de inventário primário relativos aos fluxos associados a cada uma das operações de gestão de resíduos indicadas.

Ao inventário primário acrescem (separador “*Data_Parameters_RS*”) os dados de caracterização da composição dos resíduos urbanos enquanto misturas (ver Tabela 3.1 e Tabela 3.2) e em termos dos componentes que integram essas misturas (vidro, papel/cartão, plásticos, metais, biorresíduos, refugos), e ainda estimativas relativas a eficiência de separação e de tratamento.

Tabela 3.1 - Composição de resíduos urbanos da recolha indiferenciada da ERSUC em 2016 (cenário atual ou de referência).

Composição dos resíduos urbanos indiferenciados e resíduos equiparados a urbanos (RI)		
Aço - Fração ponderal de aço nos RI	0,040	kg aço RI/kg RI
Alum - Fração ponderal de alumínio nos RI	0,020	kg Alum RI/kg RI
PET - Fração ponderal de PET nos RI	0,030	kg PET RI/kg RI
PEAD - Fração ponderal dos RI	0,050	kg PEAD RI/kg RI
PEBD - Fração ponderal dos PEBD nos RI	0,030	kg PEBD RI/kg RI
Pla_mx - Fração ponderal de plásticos mistos nos RI	0,050	kg Pla_mx RI/kg RI
ECAL - Fração ponderal de ECAL nos RI	0,010	kg ECAL RI/kg RI
PCA - Fração ponderal de PCA nos RI	0,100	kg PCA RI/kg RI
PAP - Fração ponderal de PAP nos RI	0,150	kg PAP RI/kg RI
VIDR - Fração ponderal de VIDR nos RI	0,030	kg VIDR RI/kg RI
BIOR - Fração ponderal dos biorresíduos nos RI	0,410	kg BIOR RI/kg RI
FINOS - Fração ponderal de finos nos RI	0,080	kg FINOS RI/kg RI
Outros nos RI	0,000	kg Rout/kg RI

Tabela 3.2 - Composição estimada para resíduos urbanos da recolha seletiva da ERSUC em 2016 (cenário atual ou de referência).

Composição dos resíduos da recolha seletiva de embalagem (RE)		
Aço - Fração ponderal de aço nos RE	0,060	kg aço RE/kg RE
Alum - Fração ponderal de alumínio nos RE	0,020	kg Alum RE/kg RE
PET - Fração ponderal de PET nos RE	0,080	kg PET RE/kg RE
PEAD - Fração ponderal PEAD nos RE	0,150	kg PEAD RE/kg RE
PEBD - Fração ponderal dos PEBD nos RE	0,200	kg PEBD RE/kg RE
Pla_mx - Fração ponderal de plásticos mistos nos RE	0,200	kg Pla_mx RE/kg RE
ECAL - Fração ponderal de ECAL nos RE	0,050	kg ECAL RE/kg RE
Outros nos RE	0,240	kg Rout/kg RE
Composição dos resíduos da recolha seletiva de papel+cartão (RP)		
PP - Fração ponderal de PP no RP	0,450	kg PP RP/kg RP
CA - Fração ponderal de CA no RP	0,470	kg CA RP/kg RP
Outros nos resíduos de RP	0,080	kg Rout/kg RP
Composição dos resíduos da recolha seletiva de vidro (RV)		
VI - Fração ponderal de VI nos RV	0,980	kg VI RV/kg RV
Outros nos resíduos RV	0,020	kg Rout/kg RV
Composição dos resíduos da recolha seletiva de biorresíduos e de resíduos verdes (RB)		
BI - Fração ponderal de BI nos RB	0,900	kg BI RB/kg RB
Outros nos resíduos RB	0,100	kg Rout/kg RB

Nestas condições, o modelo permite determinar por balanço mássico quer os fluxos entre as diferentes operações e processos quer os fluxos respeitantes a exportações de materiais para valorização e os fluxos de resíduos finais para processos de eliminação por incineração e/ou por aterro.

No separador “Destinos” está presente o resumo do inventário de resíduos destinados a exportação para operações de valorização material e operações de eliminação.

3.2.2.3 FOLHAS RELATIVAS A OPERAÇÕES DE GESTÃO

As operações de gestão de resíduos respeitam ao conjunto de separadores desde “9000” a “9014”. O conteúdo associado a cada operação de gestão de resíduos respeita ao conjunto dos recursos tecnológicos usados, nomeadamente: eletricidade, transporte, materiais auxiliares, etc. (exemplo Tabela 3.3 e Tabela 3.4).

Tabela 3.3 - Dados referentes ao processo de recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF.

Unit Process Raw Data									total
Recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF									IPCC 2013 (GWP 100a)
number10	category11	subCategory12	name15	location16	unit17	meanValue	ns1:inp utGrou	ns1:out putGro	(kg CO2_eq/unit)
1941	transport systems	road	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5	GLO	tkm	126,5000	5		2,76E+01
1947	transport systems	road	market for transport, freight, light commercial vehicle	GLO	tkm	12,7126	5		2,54E+01
631	electricity	production mix	market for electricity, low voltage	PT	kWh	40,0000	5		2,23E+01
1154	metals	extraction	steel, low-alloyed, at plant	GLO	kg	0,8500	5		1,55E+00
7308	transport systems	road	market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5	GLO	tkm	0,2696	5		2,46E-02
9003	Gestão de resíduos	Gestão de resíduos	Recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF	PT	ton	1,000		0	76,90

Tabela 3.4 - Dados referentes ao processo de recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF (continuação).

number10	ref	factores estequiometricos	units	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO2_eq/unit)
1941	Distância específica de recolha de RE	126,50	tkm/ton RE	0,2185
1947	Distância específica de transporte de RE na MRF	19,67	tkm/ton RE	1,9960
631	Consumo unitário de energia eléctrica na MRF (RE)	40,00	kWh/ton RE	0,5577
1154	Consumo específico de materiais de embalagem para fardos de RE	0,850	kg arame/ton RE	1,8269
7308	Distância específica de transporte de refugo de MRF (RE)	0,270	tkm/ton RE	0,0913

3.2.2.4 FOLHA DE DADOS DE LCIA

Presentes no separador “LCIA”, esta folha compreende os dados referentes a apenas 3 indicadores AICV de impacto ambiental de ciclo de vida associados aos diferentes recursos usados, como é possível determinar a partir de base de dados *Ecoinvent*, versão 3.3 (2016), com o modelo de sistema “Allocation, cut-off by classification”.

Tabela 3.5 – Excerto da tabela referente ao separador “LCIA” referente aos processos de gestão de resíduos.

							IPCC 2013 (GWP 100a)
Nome comum	number10	category11	subCategory12	name15	location16	unit17	(kg CO ₂ _eq/unit)
Waste treatment							
Sorting Plastic	2037	waste management	building demolition	disposal, building, plastic plaster, to sorting plant	CH	kg	0,013089
Sorting paper	1742	paper & cardboard	pulps	waste paper sorting plant	CH	units	0,020758
Resíduos Papel	142	paper & cardboard	pulps	waste paper, sorted, for further treatment	CH	kg	0,053994
Produção de vidro de embalagem	820	glass	packaging	glass cullets, sorted, at sorting plant	de	kg	0,010339
reciclagem de vidro de embalagem	10979	waste management	recycling	treatment of waste packaging glass from unsorted public collection	GLO	kg	0,0063396
Composting	58	agricultural means of production	organic fertiliser	compost, at plant	CH	kg	0,21568
Composting	3821	Treatment and disposal of non	agricultural means of	treatment of biowaste, composting	CH	kg	0,21050409
Anaerobic Digestion	6247	biomass	fuels	treatment of manure and biowaste by anaerobic digestion	CH	kg	0,30676
Anaerobic Digestion	6170	biomass	fuels	market for anaerobic digestion plant, for biowaste	GLO	unit	1219100
Biogas electricity	11111	biomass	cogeneration	heat and power co-generation, biogas, gas engine,	AT	kWh	0,42233
Electricidade verde	17100	electricity	high voltage	Heat biogas	CH	kWh	0,4367

Todos os registos LCIA usados no presente trabalho, podem ser consultados no ANEXO II.

3.2.2.5 FOLHA DE RESULTADOS

Os resultados da aplicação são apresentados no separador “10000” da aplicação, com o descritivo da Tabela 3.6. Estes resultados correspondem à acumulação dos efeitos ambientais unitários relativos a cada um dos componentes processuais do sistema de gestão, ponderados respetivamente por cada uma das quantidades estabelecidas no inventário primário. Este exercício pode ser realizado paralelamente para cada um dos indicadores.

Tabela 3.6 - Tabela de resultados AICV respeitantes a 2016 para o indicador *IPCC 2013*, tendo em conta cada uma das operações de gestão que integram o sistema municipal ERSUC.

		includedProcesses					generalComment				
10000		A gestão de resíduos urbanos inclui as actividades de recolha selectiva e indiferenciada, a separação e compactação de resíduos da recolha selectiva para reciclagem, o tratamento dos resíduos urbanos indiferenciados por TMB e o aterro. A unidade inclui armazenamento de material separado em fardo, funcionando como central logística. Inclui o tratamento biológico anaeróbio de resíduos e a compostagem do digestato. A unidade produz CDR. Os refugos são enviados para aterro.					O inventário refere-se ao tratamento de resíduos urbanos nas suas diferentes fracções desde a recolha ao destino final. Não inclui deduções por produção de matéria prima. O âmbito do estudo refere-se a um sistema municipal de gestão de resíduos, referente a um determinado ano.				
Unit Process Raw Data											total
Gestão de resíduos urbanos ERSUC 2016 (Cenário actual)											IPCC 2013 (GWP 100a)
number 10	category11	subCategory 12	name15	location 16	unit17	meanValue	ns1:inp utGrou	ns1:output			(kg CO2_eq/unit)
9000	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha e preparação para valorização orgânica de biorresíduos	PT	ton	1,00E+00	5				9,44E+00
9001	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha e preparação para reciclagem de resíduos de vidro (R	PT	ton	2,12E+04	5				4,90E+05
9002	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha e preparação para reciclagem de resíduos de papel+cartão (RP) em MRF	PT	ton	1,27E+04	5				1,43E+06
9003	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha e preparação para reciclagem de resíduos de embalagem (RE) em MRF	PT	ton	8,49E+03	5				1,41E+06
9004	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha de resíduos urbanos indiferenciados e transporte (recolha hermética SCF; sacos de recolha porta-a-porta) (RI)	PT	ton	2,30E+05	5				4,15E+05
9005	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha especial de resíduos indiferenciados e transporte para tratamento (moloks; varredura de ruas) (RI)	PT	ton	6,00E+03	5				5,58E+04
9006	Gestão de resíduos	stão de residu	Recolha e transporte de resíduos especiais (MONOS) para armazenamento/encaminhamento/desmantelamento em TM (VFV; pilhas; óleos; electrodomésticos; mobílias; verdes;	PT	ton	6,00E+02	5				5,08E+03
9007	Gestão de resíduos	stão de residu	Transferência e transporte em alta de resíduos urbanos indiferenciados (RI)	PT	ton	5,11E+04	5				7,09E+04
9008	Gestão de resíduos	stão de residu	Processo de TRATAMENTO MECÂNICO de resíduos indiferenci	PT	ton	3,49E+05	5				1,65E+05
9009	Gestão de resíduos	stão de residu	TMB - Processo de DIGESTÃO ANAERÓBIA VIA HÚMIDA (valorização orgânica e biogás)	PT	ton	1,31E+05	5				2,85E+04
9010	Gestão de resíduos	stão de residu	CA - Processo de COMPOSTAGEM AERÓBIA (valorização orgâni	PT	ton	1,54E+03	5				3,32E+05
9011	Gestão de resíduos	stão de residu	TTI - Tratamento térmico por incineração de resíduos; recuperação de energia e sucata	PT	ton	5,00E+00	5				2,51E+02
9012	Gestão de resíduos	stão de residu	TAC - Tratamento por aterro controlado de resíduos de recolha indiferenciada, refugos e cinzas, recuperação de	PT	ton	1,39E+05	5				8,97E+06
9013	Gestão de resíduos	stão de residu	- Processo de COMPOSTAGEM DOMÉSTICA (valorização orgâ	PT	ton	0,00E+00	5				0,00E+00
10000	Gestão de resíduos	stão de residu	Gestão de resíduos urbanos ERSUC 2016 (Cenário actual)	PT	ano	1,00		0			13375647

Após a devida adaptação do modelo ao estudo em causa, são inseridos os dados de referência na folha de cálculo nº3, “RARU2016”. No separador seguinte “Dados_Resumo”, inserem-se os dados de entrada relevantes e, no caso dos cenários alternativos, as alterações propostas.

Através da movimentação de colunas referentes aos indicadores em estudo, na folha de cálculo “LCIA”, são determinados os valores resultantes para cada indicador no separador “10000”.

Após a determinação de resultados e respetiva comparação, cabe ao utilizador a referente análise e avaliação.

4 CASO DE ESTUDO – ERSUC

4.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O Sistema Multimunicipal de Tratamento e Valorização de Resíduos Sólidos Urbanos do Litoral Centro, ERSUC, foi fundado através do Decreto-Lei n.º 166/96, de 5 de setembro, abrangendo uma área geográfica correspondente, inicialmente, a 31 municípios (ERSUC, 2017). Mais tarde, foram introduzidos mais 5 municípios, tendo assim no total 36 municípios incorporados no Sistema de Gestão de Resíduos da ERSUC (Coelho, 2014).



Figura 4.1 - Localização geográfica da área abrangida pela ERSUC (ERSUC, 2015).

A área geográfica da ERSUC compreende os distritos de Aveiro e Coimbra, tendo os seguintes municípios integrados: Águeda, Albergaria-a-Velha, Alvaiázere, Anadia, Ansião, Arganil, Arouca, Aveiro, Cantanhede, Castanheira de Pêra, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Estarreja, Figueira da Foz, Figueiró de Vinhos, Góis, Ílhavo, Lousã, Mealhada, Mira, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho, Murtosa, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ovar, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penacova, Penela, São João da Madeira, Sever do Vouga, Soure, Vagos, Vale de Cambra e Vila Nova de Poiares. O Sistema de Gestão de Resíduos do Litoral Centro, ERSUC, é considerado o maior da região centro abrangendo uma área de 6.699 km², representando 7% do território nacional, e servindo uma população estimada de 926.772 habitantes, cerca de 9% da população em Portugal, em 2016 (APA, 2016).

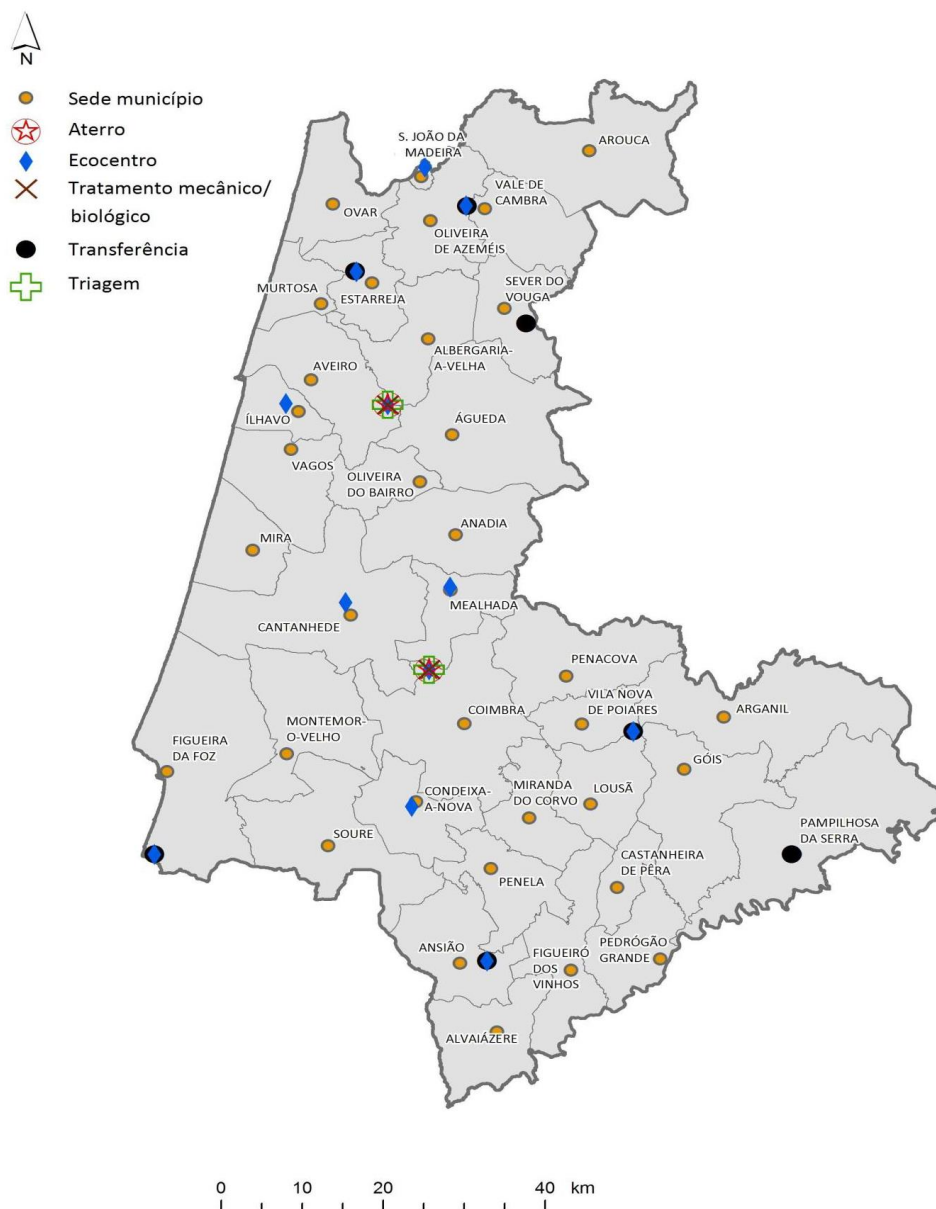


Figura 4.2 – Municípios integrados no Sistema de Gestão de Resíduos da ERSUC (Sociedade Ponto Verde, 2014).

Tendo sido criada em 1993, o contrato de concessão entre o Estado Português e a ERSUC e os contratos de entrega e receção de resíduos e de recolha seletiva entre os municípios e a ERSUC, foram celebrados e assinalados, respetivamente, a 14 de março de 1997. O aditamento ao contrato de concessão foi assinado em 29 de dezembro de 2010 e, para além de outras alterações, o prazo de concessão foi prolongado até 31 de dezembro de 2030. Em 30 de setembro de 2015, o contrato de concessão de exploração

e de gestão foi novamente remodelado, ampliando o seu prazo até 31 de dezembro de 2034 (ERSUC, 2017).

A ERSUC iniciou a sua atividade através da instalação de três novos aterros de grande capacidade para resíduos não perigosos destinados aos resíduos urbanos dos diferentes municípios da área de intervenção – Aveiro, Coimbra e Figueira da Foz, seis estações de transferência, tendo sido responsável pelo encerramento, selagem e requalificação dos 36 locais de despejo municipal de resíduos urbanos (aterros municipais e lixeiras) e, tendo contado para o feito com importante financiamento europeu (ver Figura 4.3).

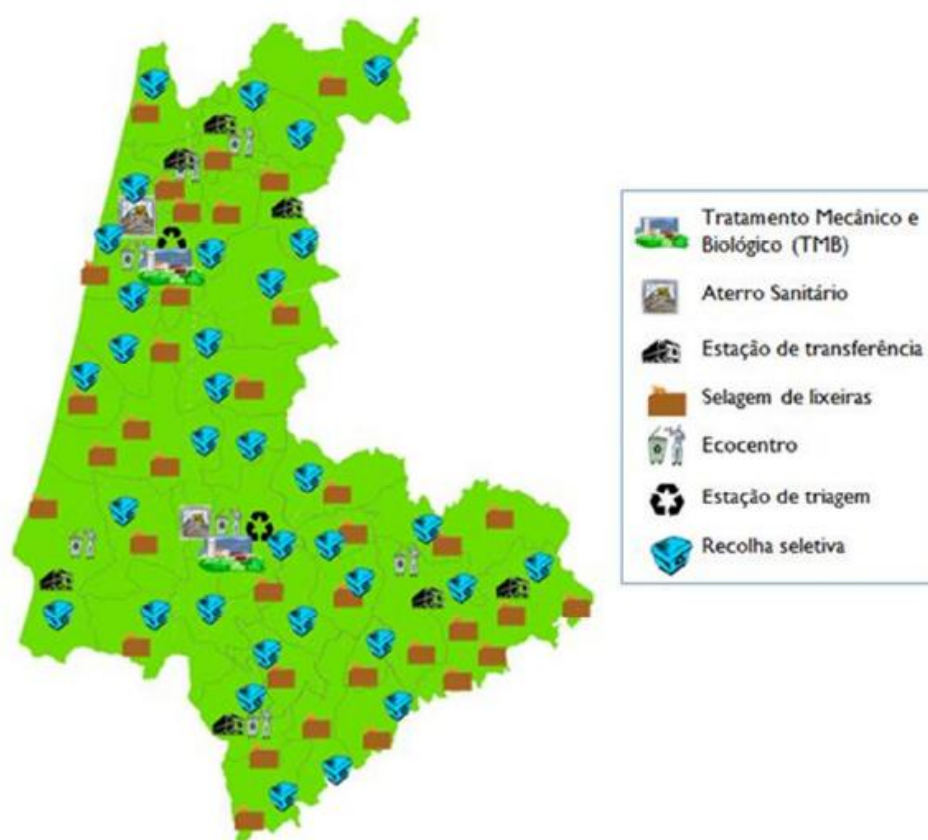


Figura 4.3 - Modelo técnico de intervenção da ERSUC (ERSUC, 2015).

A criação destes mesmos aterros foi considerada pela ERSUC como sendo uma solução temporária devido à área e volume de terra disponíveis pois não permitiriam operações apropriadas após o ano de 2006, levando a entidade à procura de uma solução de substituição. Devido à publicação da Diretiva 1999/31/CE, ao qual estabeleceu limites para a eliminação de resíduos biodegradáveis nos aterros, a ERSUC foi obrigada a procurar novas alternativa para a gestão final dos resíduos urbanos. O sistema de gestão

de resíduos do litoral centro rejeitou a possibilidade de procurar três novos sítios para a instalação de aterros.

No ano de 2012 o aterro situado na freguesia de Taboeira deixou de receber resíduos, tendo sido iniciado o seu encerramento. Perante a necessidade de um novo destino para estes resíduos e a publicação do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, onde indica “*Deve ser privilegiado o recurso às melhores tecnologias disponíveis (...) que permitam o prolongamento do ciclo de vida dos materiais através da sua reutilização*”, em 2008, a ERSUC iniciou a construção de uma unidade de tratamento mecânico e biológico localizado nas freguesias Eirol e Eixo, no concelho de Aveiro. Aquando do encerramento do aterro em Taboeira, a nova unidade TMB já se encontrava a receber resíduos para tratamento, no entanto ainda em fase de testes.

Perante a publicação e objetivos apresentados pelo PERSU 2020, em 2016, a ERSUC apresentou uma candidatura ao abrigo do Aviso POSEUR-11-2015-18, que visa a expansão e a otimização da rede de recolha seletiva. Ainda no mesmo ano, a ERSUC ao abrigo do mesmo aviso, participou numa candidatura conjunta com mais 10 SGRU com o objetivo de contribuir significativamente para o aumento da valorização de resíduos urbanos através da realização de ações de sensibilização e educação.

Mais recentemente, em 2018, a ERSUC juntamente com 6 SGRU apresentou uma candidatura, ao abrigo do Aviso POSEUR-17-2017-21 com a finalidade de elaborar uma ação piloto que procura uma abordagem inovadora junto do cidadão, tendo em vista demonstrar o benefício direto da sua ação nas componentes ambiental, social e económica.

4.2 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

A produção de resíduos na área de influência da ERSUC, no ano de 2016, foi de 388.818 toneladas, correspondendo a uma capitação média de 1,146 kg/hab.dia. Do total de resíduos produzidos 47.936 toneladas, 12%, correspondem a resíduos de recolha seletiva e, as restantes 340.882 toneladas, 88%, a resíduos de recolha indiferenciada.

Na Figura 4.4, está representada a evolução da produção dos resíduos urbanos nos 36 municípios abrangidos pela ERSUC, desde 2012 até 2016.

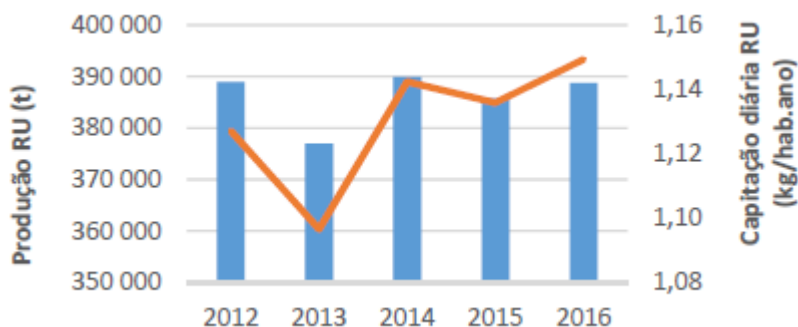


Figura 4.4 - Evolução da capitação de resíduos urbanos na ERSUC (2012-2016). (APA, 2017b)

Em 2016, a ERSUC apresentou um crescimento de produção de RU em relação ao ano anterior, como também um crescimento acentuado da capitação diária de RU, apresentando-se como o maior valor desde 2012.

O sistema de gestão da ERSUC em 2016 compreende a maioria dos municípios dos distritos de Aveiro e de Coimbra, dispondo das seguintes infraestruturas:

Dois Centros Integrados de Tratamento e Valorização de Resíduos Sólidos Urbanos (CITVRSU) localizados em Aveiro e em Coimbra, servidos cada um deles por:

- Uma unidade de Tratamento Mecânico e Biológico, desde 2012;
- Uma unidade de preparação de Combustível Derivado de Resíduos, desde 2014;
- Um aterro para resíduos não perigosos, desde 2012;
- Estações de triagem de resíduos da recolha seletiva, desde 2012;
- Um ecocentro para deposição voluntária de resíduos urbanos, desde 2012;

A ERSUC opera ainda

- Um ecocentro para deposição voluntária de resíduos urbanos, desde 2012, na Figueira da Foz;
- Os sistemas de recolha seletiva através de ecopontos em todos os municípios, desde 1999;
- As estações de transferência de resíduos urbanos nos municípios de Ansião, Góis e Oliveira de Azeméis, desde 1999, da Pampilhosa da Serra, Estarreja e Sever do Vouga, desde 2000;

- Os ecocentros para deposição voluntária de resíduos valorizáveis nas estações de transferência localizadas nos municípios de Ansião, Góis, Estarreja, Figueira da Foz e Oliveira de Azeméis. (ERSUC, 2015)

4.3 INVENTÁRIO PRIMÁRIO DE CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS URBANOS NA ERSUC

ACV da gestão de resíduos assenta no inventário da gestão desses resíduos, ou seja, das quantidades de resíduos que são submetidas às diferentes operações de gestão, desde a recolha, o tratamento até ao destino final.

O ciclo de vida ligado à gestão de resíduos urbanos inclui os processos ligados à recolha dos resíduos, os processos de tratamento de resíduos para valorização e os processos de eliminação de resíduos.

A informação para que o estudo fosse possível, numa primeira instância, foi obtida a partir de documentação disponível no site da APA – Associação Portuguesa do Ambiente referente ao ano de 2016 (Fichas) e nos relatórios de contas da ERSUC, publicados ao longo dos anos. A análise dos dados disponíveis em 2016 mostrou a necessidade de realizar um balanço mássico mais consistente que o indicado nas Figura 4.5 e Figura 4.6, dado que são contraditórios na classificação das operações de recolha, omissos em relação às emissões de biogás e gases de compostagem, omissos em relação aos efluentes líquidos e lamas gerados, confusos em relação à energia elétrica resultante da conversão de biogás, e não esclarecedores em relação à deposição em aterro.

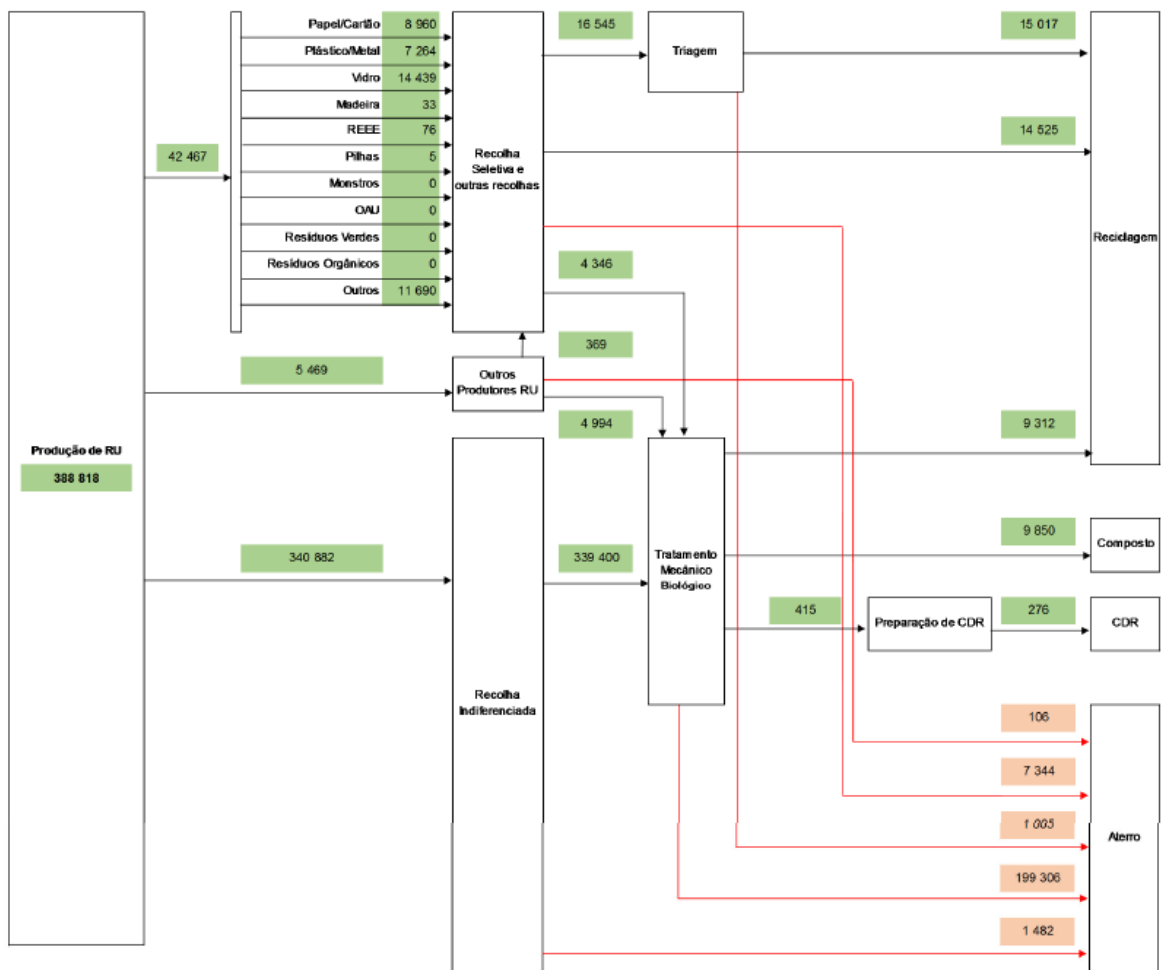


Figura 4.5 - Balanço mássico da ERSUC em 2016 (APA, 2017).

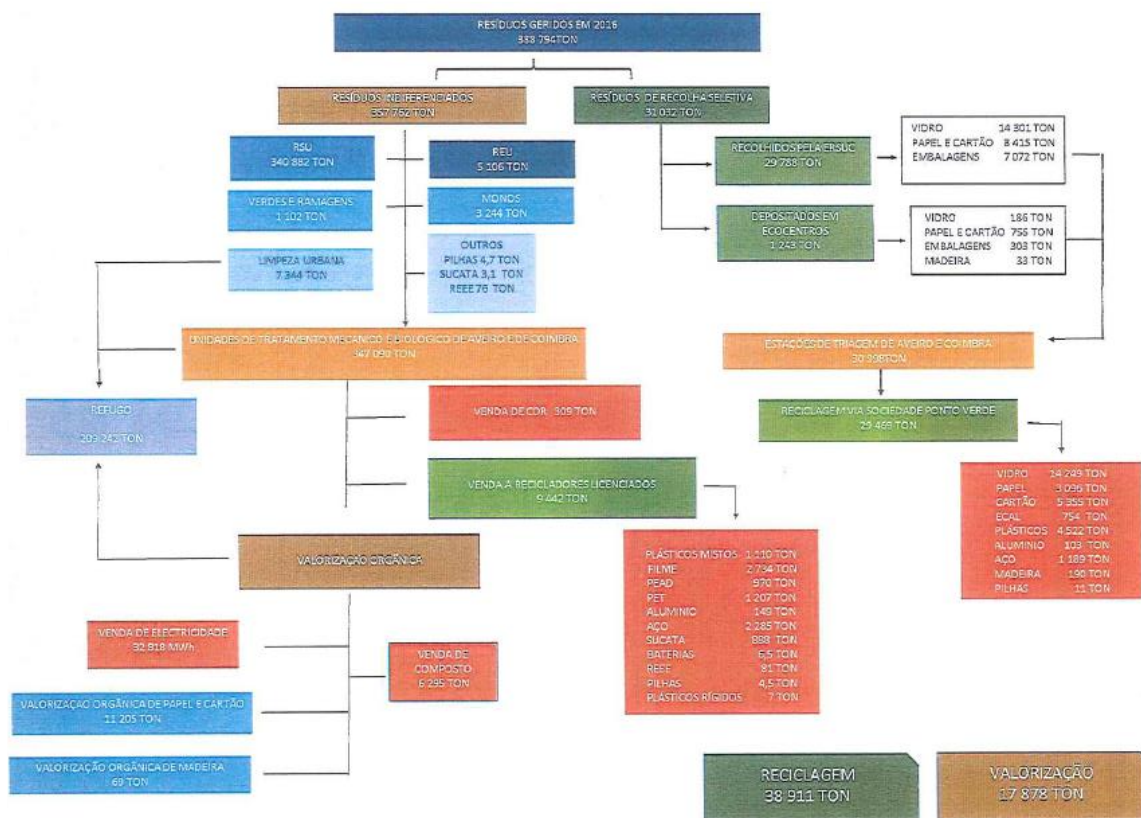


Figura 4.6 - Diagrama de fluxos e resíduos geridos por tipologia e origem (ERSUC, 2017).

Na Figura 4.5 estão representadas as entradas e saídas do sistema e respetivos processos de acordo com as fichas da ERSUC disponíveis na APA. As entradas do sistema da ERSUC respeitam aos resíduos urbanos com origem na recolha seletiva e na recolha indiferenciada; as saídas resultam dos processos de triagem, tratamento mecânico e biológico e preparação de CDR e respeitam a resíduos separados para reciclagem, composto e CDR para o mercado e resíduos finais para aterro.

O sistema de gestão de resíduos da ERSUC não apresenta centrais de incineração, consequentemente consideram-se os valores de entrada de materiais nesta infraestrutura como zero. Não consta a existência de recolha seletiva significativa de resíduos urbanos biodegradáveis e biorresíduos no sistema em questão.

Tabela 4.1 - Dados globais referentes à gestão de resíduos urbanos da ERSUC em 2016 (cenário atual ou de referência).

Cenário actual ERSUC 2016	
Quantidade de RU produzidos/recebidos em 2016 (ton)	388818
Resíduos urbanos recolhidos pelos municípios e sistemas municipais (ton)	388818
Recolha indiferenciada (ton)	340882
Recolha selectiva 3F/outros (ton)	42467
Recolha selectiva de RUB/biorresíduos para unidades de valorização orgânica (ton)	0
Biorresíduos sujeitos a compostagem doméstica (ton)	0
Triagem 3F (ton) (*)	16545
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de TB (ton)	139496
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de TM (ton)	348741
Quantidade total de resíduos que deram entrada em centrais de incineração (ton)	0
Quantidade total de resíduos depositados em aterro calculada pelo modelo (**)	139082
(*) A quantidade de resíduos separados retomados reportados pelo RARU foi de 29 268 toneladas. O valor calculado pelo modelo foi de cerca de 37 932 ton. Admite-se que a discrepância esteja no fluxo de vidro	
(**) A quantidade total de resíduos depositados em aterro reportado pelo RARU2016 foi de 209 242 toneladas. Se se adicionar o "composto" produzido ao à quantidade total calculada depositada em aterro, atinge-se cerca de 190 000 toneladas.	

Através da Tabela 4.1, é possível verificar que a recolha seletiva representa 12% da quantidade de resíduos produzidos e, a recolha indiferenciada representa 88% do total.

4.3.1 RECOLHA

Os dados relativos à recolha para o modelo ACV, respeitam à recolha seletiva e encontram-se disponíveis nos relatórios de atividades e contas da ERSUC 2014, na ausência de dados mais recentes. No que respeita à recolha indiferenciada, foram considerados os resultados obtidos de Silveira (2016) para o município de Estarreja, admitindo-se, arbitrariamente que são representativos do conjunto dos municípios da ERSUC, pese embora as diferenças ao nível da orografia e da demografia (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Dados relativos à recolha de resíduos urbanos (RS, RI, RE).

RECOLHA, TRANSPORTE	
Recolha seletiva de resíduos e transporte para MRF (fluxos de recolha seletiva)	
Distância anual percorrida para a recolha de RE	1074416 km/ano
Distância específica de recolha de RE	127 tkm/ton RE
Distância anual percorrida para a recolha de RP	1090554 km/ano
Distância específica de recolha de RP	86 tkm/ton RP
Distância anual percorrida para a recolha de RV	373710 km/ano
Distância específica de recolha de RV	18 tkm/ton RV
Distância anual percorrida para a recolha de RB	7 km/ano
Distância específica de recolha de RB	7 tkm/ton RB
Recolha de resíduos urbanos indiferenciados e transporte (recolha hermética SCF; sacos de recolha porta-a-porta) (RI)	
Distância anual percorrida para a recolha de RI em percurso de recolha (xR)	2299248 km/ano
Distância específica de recolha de RI (xR)	7,1 tkm/ton RI
Distância anual percorrida para a recolha de RI em percurso de transporte (xT)	388605 km/ano
Recolha especial de resíduos indiferenciados e transporte para tratamento (moloks; varredura de ruas) (RI)	
Distância anual percorrida para a recolha e transporte em circuitos especiais (molok; REU; varreduras das ruas)	121013 km/ano
Distância específica de recolha e transporte de molok e varreduras (xT)	7,1 tkm/ton RI
Recolha e transporte de resíduos especiais (MONOS) para armazenamento/encaminhamento/desmantelamento em TM (VFV; pilhas; óleos; electrodomésticos; mobílias; verdes; etc.) (RD)	
Distância anual percorrida para a recolha e transporte em circuitos especiais para dismantelamento	300600 km/ano
Distância específica de recolha e transporte de resíduos especiais RD	16,7 tkm/ton RD

4.3.2 TRATAMENTO

Os resíduos recolhidos seletivamente são maioritariamente encaminhados para triagem, de forma a serem valorizados através da reciclagem. Parte dos resíduos provenientes da recolha seletiva são objeto de tratamento mecânico. (Tabela 4.3)

Tabela 4.3 – Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha seletiva.

TRATAMENTO MECÂNICO em MRF de resíduos da recolha seletiva	
MRF - Tratamento de resíduos de embalagem (RE), papel+cartão (PC), vidro (RV) e biorresíduos (RB) recolhidos seletivamente	
Massa total diária de resíduos de embalagem a tratar (RE)	32172 kg RE/dia
Massa total diária de resíduos de papel+cartão a tratar (RP)	48258 kg RP/dia
Massa total diária de vidro a tratar (RV)	80430 kg RV/dia
Massa total diária de resíduos biológicos a tratar (RB)	3,788 kg RB/dia
Dias de laboração por mês na MRF	22 dias/mês
Horário de trabalho diário na MRF	16 h/dia
MRF - Tratamento de resíduos de recolha selectiva (produtos para valorização material)	Produção anual
Aço - Produto separado e prensado em fardos	484 ton Aço/ano
ALum - Produto separada e prensado em fardos	102 ton Alum/ano
PET - Produto separado e prensado em fardos	612 ton PET/ano
PEAD - Produto separado e prensado em fardos	1147 ton PEAD/ano
PEBD - Produto separado e prensado em fardos	1529 ton PEBD/ano
Pla_mx - Produto separado e prensado em fardos	1189 ton Pla_mx/ano
ECAL - Produto separado e prensado em fardos	340 ton ECAL/ano
PP - Produto separado e prensado em fardos	5733 ton PP/ano
CA - Produto separado e prensado em fardos	5988 ton CA/ano
VI - Produto separado para reciclagem	20809 ton VI/ano
BI - Produto separado (biorresíduos) para tratamento biológico	0,81 ton BI/ano
Quantidade total de materiais separados e embalados para valorização material ou orgânica	37932 ton total separado /ano
Quantidade total de refugos para eliminação	4536 ton refugo/ano

Os resíduos de recolha indiferenciada são, na sua maioria, sujeitos primeiramente ao tratamento mecânico (Tabela 4.4) por forma a que sejam encaminhados para tratamento biológico (Tabela 4.5), dando origem a composto, preparação de CDR ou reciclagem.

Tabela 4.4 - Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha indiferenciada.

TM - Processo de TRATAMENTO MECÂNICO de resíduos indiferenciados		
Inventário de resíduos indiferenciados para tratamento e eliminação directa		
Massa anual de resíduos indiferenciados (RI) RECOLHIDOS para entrega ao sistema municipal (Nota: Uma parte pode necessitar de transferência)	346351	ton RI/ano
Massa anual de resíduos equiparados a urbanos(REU) entregues aos sistemas de tratamento pelos detentores	5106	ton RI/ano
Teor de humidade dos resíduos indiferenciados RECOLHIDOS	0,35	kg H2O/kg RI
Massa anual de resíduos indiferenciados (RI) recebidos para TRATAMENTO MECÂNICO e TRATAMENTO MECÂNICO e BIOLÓGICO	348741	ton RI/ano
Massa anual de resíduos indiferenciados recebidos e enviados para ELIMINAÇÃO DIRECTA (RI)	2716	ton RI/ano
TM - Produto de separação de RI para preparação de reciclados (PRE) do tratamento de resíduos urbanos indiferenciados (9921)	Produção anual	
Metais - Rendimento ponderal do processo de separação TM	8370	ton metais/ano
Alum - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
PLastico - Rendimento ponderal do processo de separação TM	9590	ton plástico/ano
PEAD - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
PEBD - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
Pla_mx - Rendimento ponderal do processo de separação de plásticos mistos	0	
ECAL - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
Cartão - Rendimento ponderal do processo de separação de cartão TM	2267	ton Papelcartão/ano
PAP - Rendimento ponderal de PAP nos RI	0	
VIDR - Rendimento ponderal de VIDR nos RI	0	
BIOR - Rendimento ponderal de BIOR nos RI	0	
Mass total anual de RI separado para reciclagem (PRE)	20227	ton PRE/ano
Metais - Rendimento ponderal do processo de preparação para reciclagem de RI (TM)	0,024	ton metais/ton RI
PLastico - Rendimento ponderal do processo de preparação para reciclagem de RI (TM)	0,0275	ton plástico/ton RI
Cartão - Rendimento ponderal do processo de preparação para reciclagem de RI (TM)	0,0065	ton cartão/ton RI

Tabela 4.5 - Dados relativos ao tratamento biológico.

TRATAMENTO BIOLÓGICO		
Inventário de resíduos para tratamento biológico		
Massa total anual de RI separado por TM para valorização orgânica (MSD)	146367	ton MSD/ano
Teor de humidade ESTIMADA nos RI separados por TM para valorização orgânica	0,7	kg H2O/kg MSD
Fracção dos RI separado por TM para valorização orgânica mas enviada directamente para eliminação	0,1	
Fracção dos RI separado por TM enviada para DIGESTÃO ANAERÓBIA (TBDA)	0,89	
Fracção dos RI separados por TM enviada directamente para COMPOSTAGEM AERÓBIA (TBCA)	0,01	
Massa anual de resíduos valorizáveis como biorresíduos (resíduos verdes para TB)	900	ton BI/ano
Massa anual de Biorresíduos (BI) recolhidos selectivamente	1	ton BI/ano
Teor de humidade ESTIMADA nos biorresíduos BI recolhidos selectivamente	0,65	kg H2O/kg BI
Fracção dos biorresíduos RECEBIDOS enviada directamente para eliminação	0,02	
Fracção dos biorresíduos RECEBIDOS enviada para DIGESTÃO ANAERÓBIA (TBDA)	0,9	
Fracção dos biorresíduos RECEBIDOS enviada directamente para COMPOSTAGEM AERÓBIA (TBCA)	0,08	
Massa anual de Biorresíduos (BI) sujeitos a COMPOSTAGEM DOMÉSTICA	0	ton BI/ano

4.3.3 ELIMINAÇÃO

O destino para os resíduos finais da ERSUC é a eliminação por aterro (Tabela 4.6). No aterro são recebidos os refugos dos processos do sistema de tratamento bem como resíduos provenientes diretamente da recolha indiferenciada ou, da limpeza de ruas e são encaminhados para aterro, sendo o tratamento mecânico e biológico o seu maior contribuidor.

Tabela 4.6 - Dados relativos à eliminação por aterro.

DISPOSIÇÃO FINAL (Eliminação)	
Inventário de resíduos a eliminar	
Massa anual de resíduos indiferenciados recebidos e enviados para ELIMINAÇÃO DIRECTA (RI)	2716 ton RI/ano
Teor de humidade dos resíduos indiferenciados RECOLHIDOS	0,35 kg H ₂ O/kg RI
MRF - Massa anual de refugos de MRF para eliminação (RI)	4536 ton REF/ano
Teor de humidade dos refugos da MRF para eliminação	0,6 kg H ₂ O/kg REF
TM - Massa anual de refugos de MONOS para eliminação (RI)	6840 ton REF/ano
Teor de humidade dos refugos de MONOS para eliminação	0,4 kg H ₂ O/kg REF
TM - Massa anual de refugos do TM de RI para eliminação (RI)	111876 ton REF/ano
Teor de humidade dos refugos de TM para eliminação	0,279 kg H ₂ O/kg REF
TBDA - Massa anual de refugos do TBDA para eliminação em aterro (TAC)	13108 ton REF/ano
Teor de humidade dos refugos de TBDA para eliminação (areias)	0,6 kg H ₂ O/kg S0
Biofiltração do efluente gasoso	0
Massa total anual de resíduos indiferenciados IMPORTADOS(+) ou EXPORTADOS (-) para eliminação (RI)	0 ton RI/ano
Massa total anual de refugos combustíveis IMPORTADOS(+) ou EXPORTADOS (-) para eliminação (PL)	10 ton REF/ano
Massa total anual de refugos inertes IMPORTADOS(+) ou EXPORTADOS (-) para eliminação em aterro (TAC)	0 ton REF/ano
TAC- Tratamento por aterro controlado de resíduos de recolha indiferenciada, refugos e cinzas, recuperação de energia de biogás	
Massa anual de resíduos indiferenciados para eliminação DIRECTA em aterro (RI)	125968 ton RI/ano
Massa anual de refugos para eliminação por aterro (PL)	5 ton REF_PL/ano
Massa anual de refugos inertes para eliminação (IN)	13108 ton REF_TM/ano
Massa anual de resíduos de incineração inertes para eliminação em aterro (IN)	1,23 ton REF_IN/ano
Massa anual de resíduos de LAMAS DE etar SECAS inertes para eliminação em aterro (IN)	100 ton REF_ETAR/ano
Massa anual total de resíduos ELIMINADOS em aterro (TAC)	139082 ton TAC/ano

4.4 APLICAÇÃO DO MODELO EXCEL ACV-UA

A avaliação do ciclo de vida relativa à gestão de resíduos passa pela determinação e análise de indicadores ambientais da gestão dos resíduos urbanos onde se inserem o tipo e a quantidade dos materiais, os processos envolventes e os seus destinos finais.

4.4.1 RESULTADOS DE AICV REFERENTES AO CENÁRIO ATUAL (ERSUC)

Após a introdução dos dados de entrada do sistema de gestão de resíduos em avaliação, tornou-se assim possível a obtenção dos valores resultantes referentes a cada indicador em análise. Os valores foram obtidos para cada operação de gestão de resíduos urbanos, representados na Tabela 4.7 e Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9.

Tabela 4.7 - Valores resultantes dos indicadores ambientais analisados, ERSUC 2016.

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário atual ERSUC 2016					
	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/year)	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/ton)	Ecological footprint (m ² .a/year)	Ecological footprint (m ² .a/ton)	ReCiPe endpoint (EA) CC, ecosystems (points/year)	ReCiPe endpoint (EA) CC, ecosystems (points/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	3,88E+06	9,97	2,45E+05	0,63	1,00E+05	0,26
Tratamento mecânico	4,06E+06	10,44	1,36E+06	3,51	9,86E+04	0,25
Digestão anaeróbia	4,58E+07	117,78	1,56E+07	40,00	5,49E+05	1,41
Compostagem	3,32E+05	0,85	3,36E+04	0,09	4,15E+03	0,01
Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aterro	8,09E+07	208,16	1,21E+06	3,10	4,06E+05	1,04
Compostagem doméstica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	1,35E+08	347,2058	1,84E+07	47,33	1,16E+06	2,98

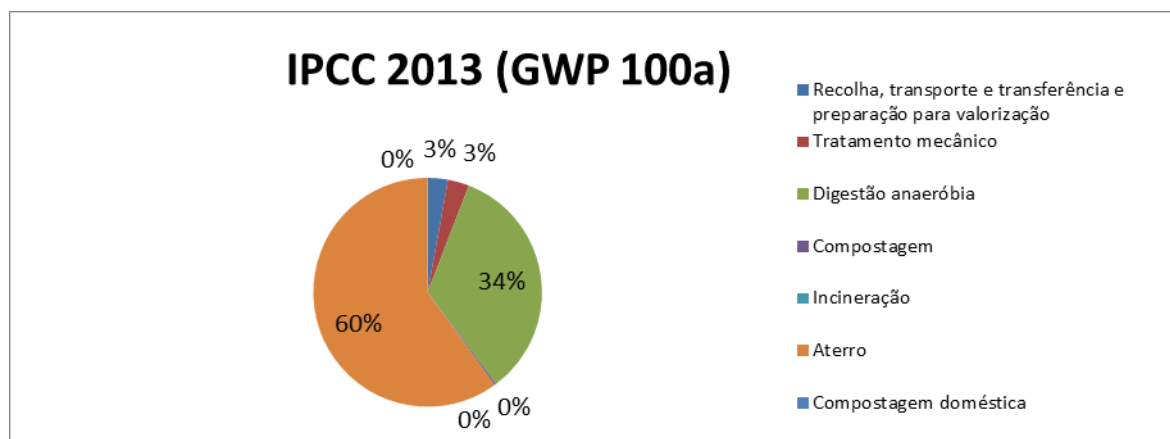


Figura 4.7 – Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos ERSUC em 2016, com base no indicador IPCC 2013.

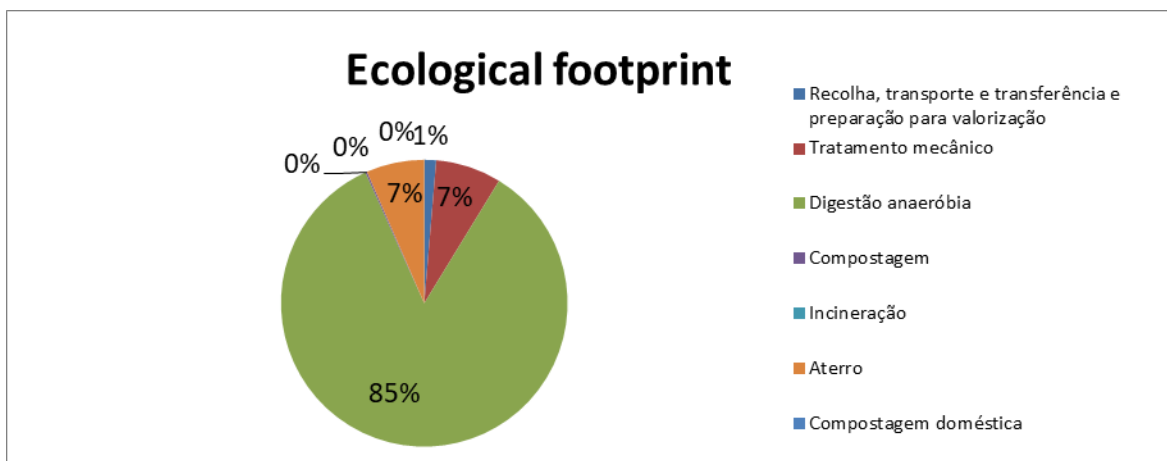


Figura 4.8 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos ERSUC em 2016, com base no indicador *Ecological Footprint*.

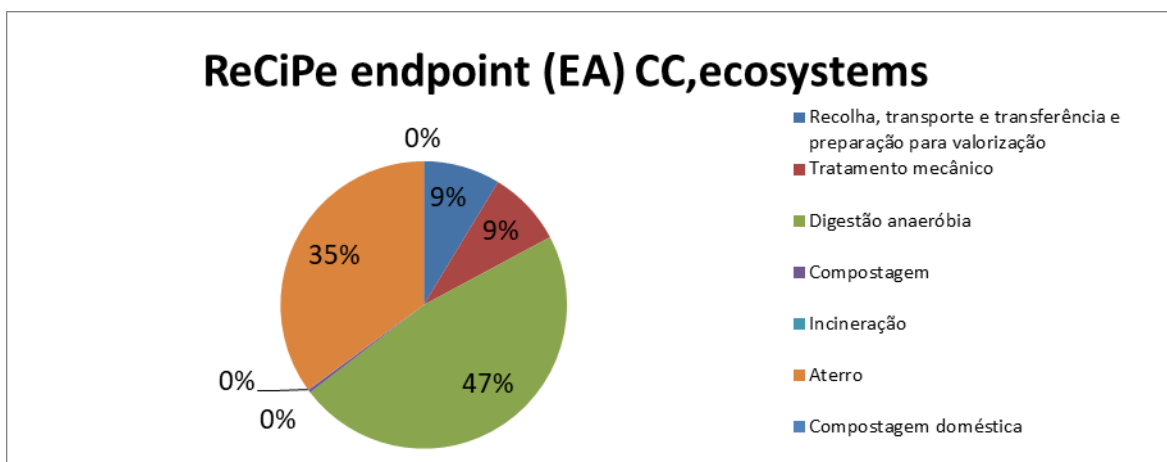


Figura 4.9 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos ERSUC em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)*.

Os resultados obtidos para os diferentes indicadores em análise mostram a mesma tendência no que diz respeito às operações de gestão com maior relevância: digestão anaeróbia e aterro.

O indicador *IPCC 2013* (Figura 4.7) apresenta o aterro como maior responsável, com 60% do total. O processo de digestão anaeróbia contribui com 34% do total. Os processos de recolha (seletiva e indiferenciada), transporte, transferência e preparação para valorização 3F representam apenas 3% do impacto ambiental total da gestão dos resíduos urbanos da ERSUC.

Os indicadores *Ecological Footprint* (Figura 4.8) e *ReCiPe Endpoint (EA)* (Figura 4.9), apresentam como o processo mais prejudicial a digestão anaeróbia, abrangendo 84% e

47% do total, respetivamente. Sendo que o aterro contribui com 7% e 36% do total, respetivamente. Os processos de recolha (seletiva e indiferenciada), transporte, transferência e preparação para valorização 3F representam apenas 1% (*Ecological Footprint*) e 9% (*ReCiPe Endpoint*) do impacto ambiental total da gestão dos resíduos urbanos da ERSUC.

4.4.2 ANÁLISE DE RESULTADOS DE AICV REFERENTES AO CENÁRIO ATUAL (ERSUC)

No que diz respeito ao indicador *IPCC 2013*, a ERSUC, em 2016, emitiu cerca de 34,4 kg CO₂_eq por cada tonelada de resíduos produzida. A operação aterro contribui com cerca de $8,09 \times 10^7$ kg CO₂_eq, tornando-se o maior contribuidor relativamente às emissões de dióxido de carbono equivalente.

O indicador *Ecological Footprint* indica a área terrestre e marítima biologicamente produtiva que a atividade humana requer para produzir os recursos que consome e absorve o desperdício que gera. Em 2016, a ERSUC por cada tonelada de resíduos produzidos foi necessário cerca de 47,3 m² de área. A digestão anaeróbia foi a operação que mais contribuiu com $1,56 \times 10^7$ m²a.

O indicador *ReCiPe Endpoint* aponta a pontuação da lista de resultados indicando a gravidade relativa numa categoria de impacte ambiental. A ERSUC, em 2016, para cada tonelada de resíduos produzida apontou cerca de 3,0 pontos. A operação que apresentou o maior valor foi a digestão anaeróbia com 1,41 pontos.

5 APLICAÇÃO NACIONAL

5.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Portugal, com 92.212 km² de área, é constituído por 18 distritos e 2 arquipélagos, Açores e Madeira. Em 2016, segundo dados do *PORDATA*, a população nacional era constituída por 10.325.452 habitantes, perfazendo assim uma densidade populacional de 111,98 hab/km².

No ano em estudo, 2016, em Portugal foram produzidas 4.891.000 ton de resíduos urbanos, mais 3% que no ano anterior, mantendo-se a tendência de crescimento do ano anterior.

Tabela 5.1 - Produção de resíduos 2012 a 2016 (APA, 2019).

(unidade: milhares de toneladas)

	2012	2013	2014	2015	2016
Portugal Continental	4 525	4 363	4 474	4 523	4 640
Região Autónoma dos Açores	143	139	136	132	132
Região Autónoma da Madeira	114	106	110	110	119
Total	4 782	4 608	4 719	4 765	4 891
Varição face ao ano anterior	↓ 7%	↓ 4%	↑ 2%	↑ 1%	↑ 3%

Nos anos seguintes, continuou a verificar-se a tendência do aumento da produção de resíduos urbanos ao nível nacional.

Referente ao encaminhamento de resíduos urbanos para as principais operações de tratamento, verifica-se que o principal destino dos resíduos urbanos em 2016 ainda foi o aterro, seguido do tratamento mecânico e biológico e depois a incineração, de acordo com a Figura 5.1.

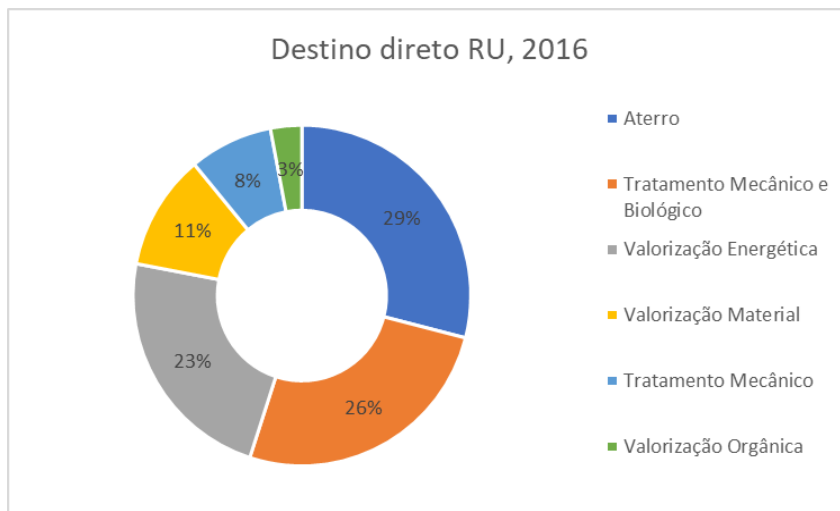


Figura 5.1 - Encaminhamento direto de resíduos urbanos, 2016 (APA, 2017).

5.2 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

Nas últimas duas décadas sucedeu um importante avanço ao nível dos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos. Num período prévio a 1995, o modo de gestão de resíduos era predominantemente municipal, progredindo então para uma gestão plurimunicipal através da criação dos sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão de resíduos urbanos. No final do ano de 2010, encontravam-se constituídos os atuais 23 sistemas responsáveis pelo serviço de tratamento e destino final adequado dos resíduos urbanos produzidos nos 258 municípios de Portugal Continental (Figura 5.2) (APA, 2017c). Os arquipélagos dos Açores e da Madeira possuem também SGRU, que farão também parte da avaliação.

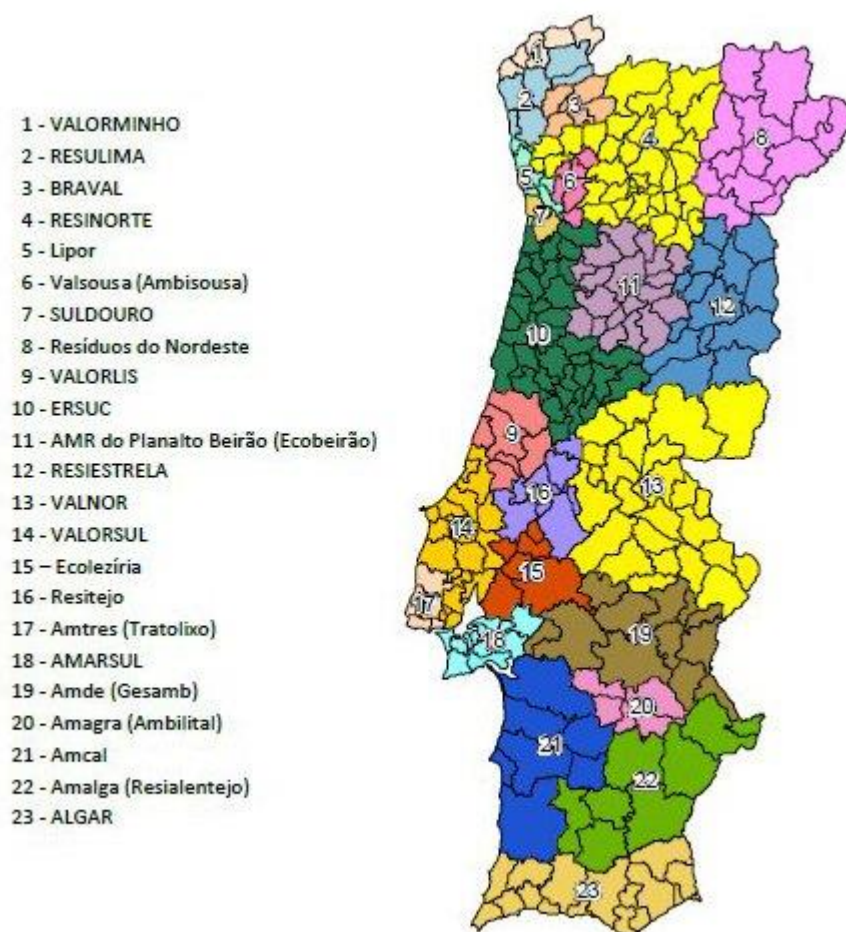


Figura 5.2 - Mapa da distribuição dos SGRU em Portugal Continental (APA, 2019).

Constata-se uma grande diversidade entre SGRU em relação ao número de municípios incluídos, dispersão geográfica, demografia e condições socioeconómicas, que é possível constatar através das opções empregues em termos de recolha e tratamento dos seus resíduos urbanos, bem como na rede de equipamentos e infraestruturas de gestão de resíduos e fluxos de resíduos. Estas variáveis regulam ainda os custos associados à gestão de resíduos (APA, 2019).

Na tabela seguinte é apresentado o número de infraestruturas de gestão de resíduos urbanos em Portugal no ano em análise, 2016, e atualmente, considerando o ano de 2018.

Tabela 5.2 - Infraestruturas de gestão de RU para 2016 (adaptado de APA, 2017c) e 2018 (adaptado de APA, 2019).

Principais Infraestruturas	Existentes em 2016	Existentes em 2018
Aterros	38	38
Tratamento Mecânico	14	12
Tratamento Mecânico e Biológico (RI)	16	18
Central de Valorização Orgânica (RS)	13	13
Central de Valorização Energética	5	5
Estação de Triagem	41	41
Estação de Transferência	100	100
Ecocentros	201	201

Cerca de 14 Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos possuem apenas uma unidade de aterro e outros 7 SGRU têm dois aterros ativos. A RESINORTE, que abrange o distrito de Vila Real e vários municípios dos distritos circundantes, possui 4 unidades de aterro dada a extensão territorial que ocupa (APA, 2017c).

As duas únicas unidades de valorização energética, em Portugal Continental, estão presentes nas instalações da Lipor e VALORSUL que se encontram nas cidades mais populosas do país, Porto e Lisboa respetivamente (APA, 2019). O arquipélago dos Açores apresenta 2 unidades de valorização energética presentes nas ilhas S. Miguel e Terceira. Na Madeira, na Camacha, em Santa Cruz, encontra-se a única unidade de valorização energética do arquipélago.

Existem 21 centrais de valorização orgânica distribuídas por 16 sistemas de gestão, apresentando modos distintos de funcionamento. A maioria dos SGRU caracterizam-se por ter a montante do tratamento biológico um tratamento mecânico destinado a receber resíduos provenientes da recolha indiferenciada. (APA, 2017c) Atualmente, 8 SGRU apresentam valorização orgânica de biorresíduos, através da recolha seletiva, por digestão anaeróbia como ALGAR, VALORSUL, Açores e Lipor. A Lipor recebe biorresíduos provenientes dos SGRU Ambisousa e Resultima.

5.2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O presente trabalho teve como influência a caracterização física dos resíduos urbanos produzidos no ano de 2016. Os dados em questão foram retirados do Relatório Anual de Avaliação do PERSU 2020, em 2016, publicado pela APA. Os resultados da

caracterização física dos resíduos urbanos produzidos em Portugal Continental, foram formulados com base nas especificações técnicas da Portaria nº 851/2009, de 7 de agosto.

Através de dados dos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos, foi apurada a composição média dos fluxos das recolhas indiferenciada e seletiva de papel e cartão, embalagens de plástico, metal e ECAL, e vidro.

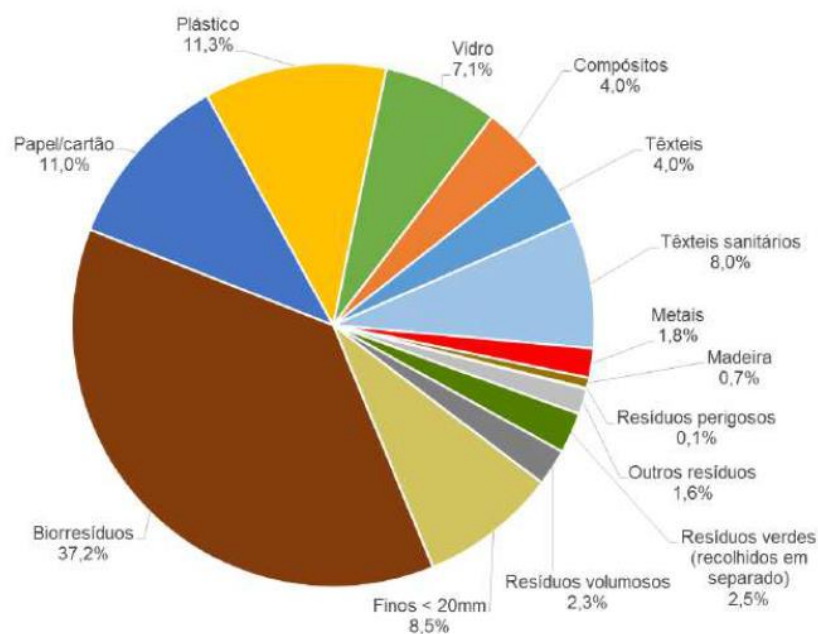


Figura 5.3 - Caracterização física dos RU produzidos em 2016 (APA, 2017).

É de notar que a produção de biorresíduos se destaca, abrangendo cerca de 37% do total de resíduos urbanos produzidos em Portugal Continental. Neste trabalho irão ser contabilizados como biorresíduos os resíduos verdes, dando um total de aproximadamente 40%.

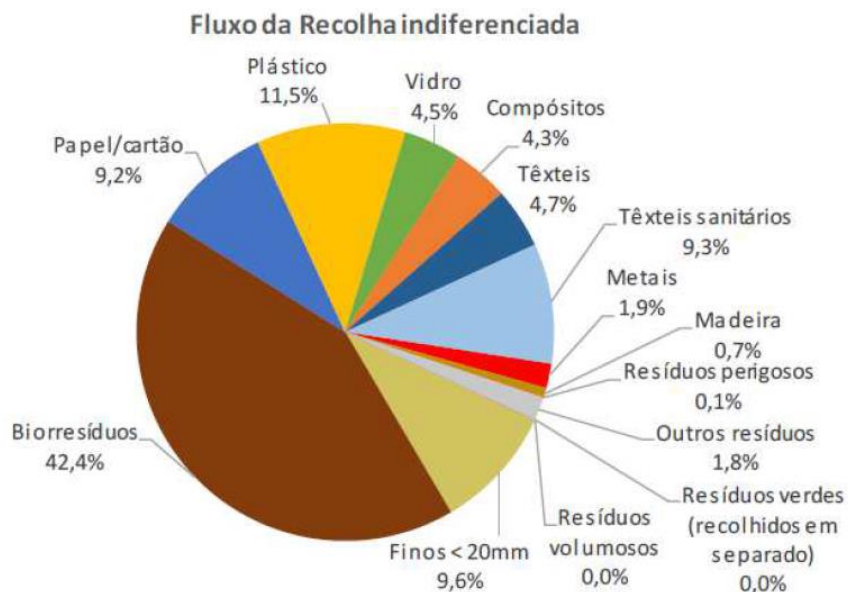


Figura 5.4 - Caracterização física da recolha indiferenciada em 2016 (APA, 2017).

À caracterização física dos resíduos recolhidos indiferenciadamente mostra que, em 2016, a fração dos biorresíduos é superior à situação anterior. De resto existem semelhanças da caracterização física entre os dados da Figura 5.3 e Figura 5.4. Esta semelhança evidencia o alheamento generalizado dos cidadãos em relação aos problemas ambientais e, eventualmente a falta de ecopontos de recolha seletiva nas localidades.

Os fluxos de recolha seletiva também apresentam contaminações, tal como é apresentado nas figuras Figura 5.5 Figura 5.6 Figura 5.7 Figura 5.8:

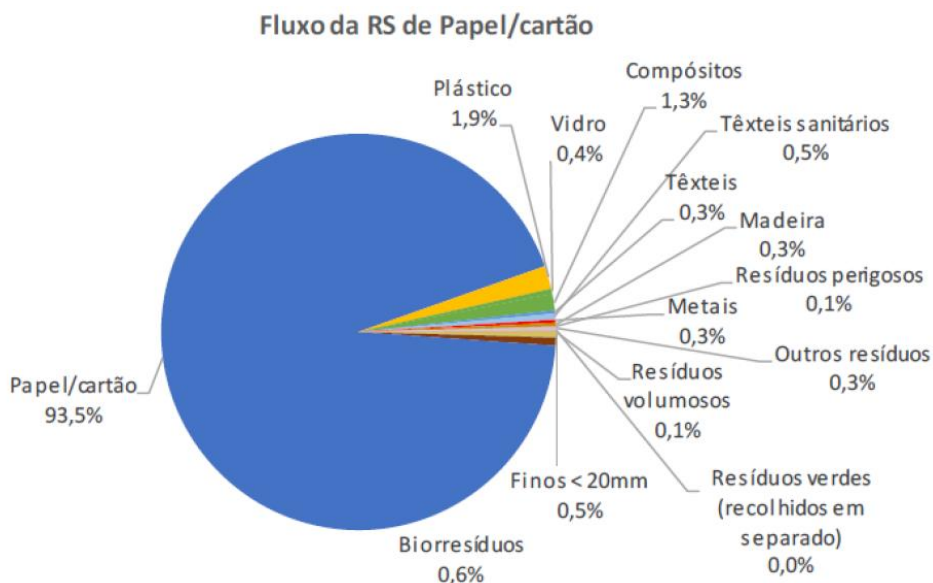


Figura 5.5 - Caracterização física do fluxo da produção de papel e cartão (APA, 2017).

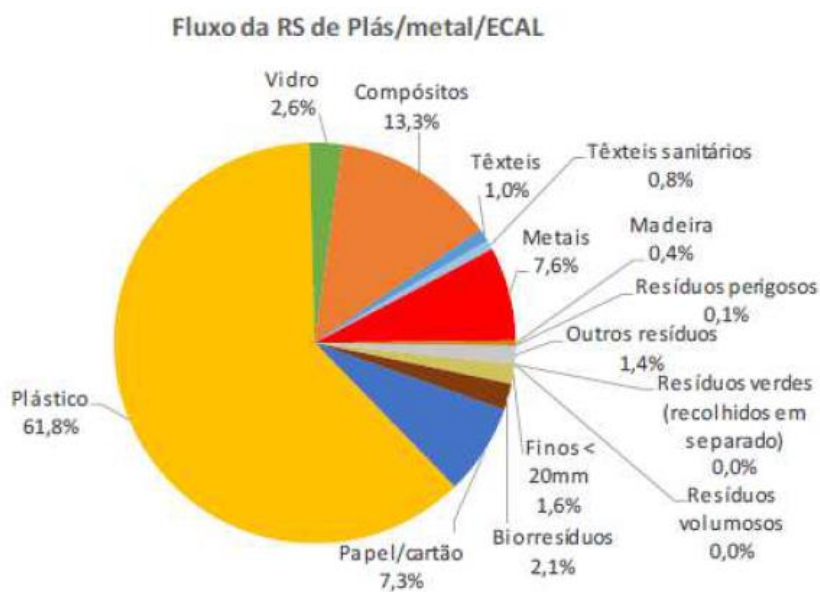


Figura 5.6 - Caracterização física do fluxo da produção de plástico, metal e ECAL (APA, 2017).

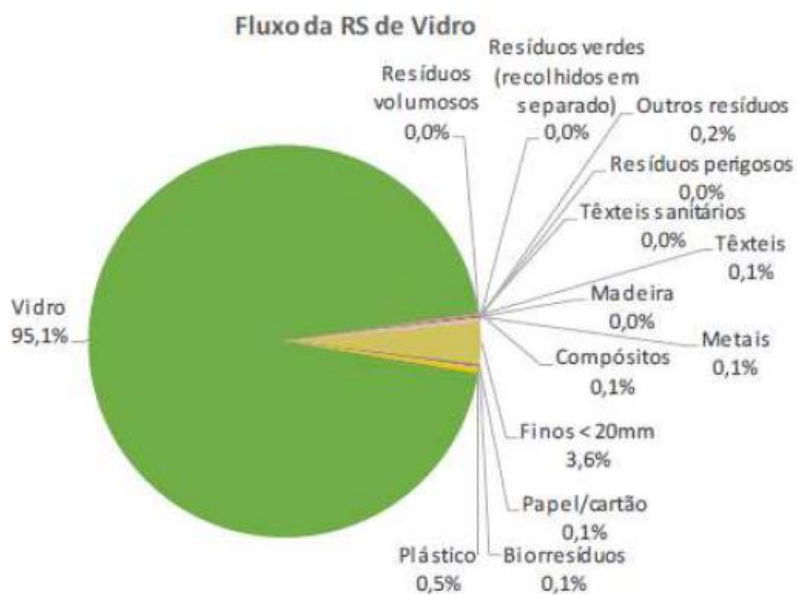


Figura 5.7 - Caracterização física do fluxo da produção de vidro (APA, 2017).

Entre os dados da caracterização física da recolha seletiva de 3F, o vidro apresenta-se como sendo o resíduo melhor sucedido no ato de separação por parte da população, ao invés das embalagens de plástico, metal e ECAL.

No que respeita ao fluxo de biorresíduos, este evidencia algumas contaminações, conforme a figura seguinte

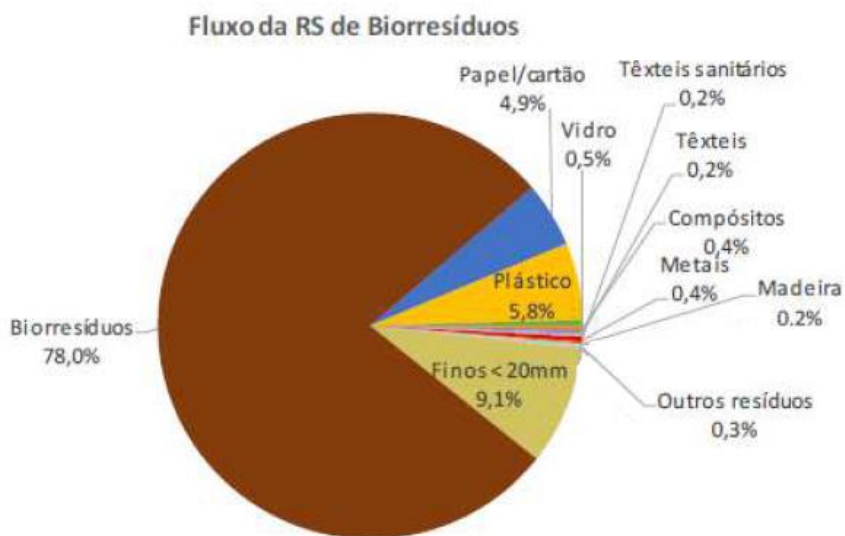


Figura 5.8 - Caracterização física do fluxo da produção de biorresíduos (APA, 2017).

Através da Figura 5.8, é possível observar que existe uma percentagem significativa de resíduos contaminantes (22%) nos biorresíduos recolhidos seletivamente, nomeadamente plástico e papel e cartão.

5.2.2 INVENTÁRIO PRIMÁRIO PARA APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Os dados obtidos para a construção do estudo foram retirados e baseados a partir de informação disponível nos *websites* da APA e de todos os SGRU em Portugal, incluindo Açores e Madeira, bem como através da consulta dos Relatórios e Contas de 2016 dos diferentes SGRU. Contudo uma parte dos valores usados no modelo foi obtida por estimativa, dado que se tratava de informação omissa na generalidade dos sistemas municipais.

5.2.2.1 RECOLHA, TRANSPORTE E TRANSFERÊNCIA

Em relação à recolha de resíduos urbanos, verificou-se que para além das quantidades recolhidas, não há informação disponível para o esforço específico de recolha por fluxo recolhido (km/ton). Assim, para a recolha seletiva 3F foram adotados os valores como determinado no ponto 4.3.1 para o caso de estudo da ERSUC na Tabela 5.3. No caso da recolha indiferenciada foi considerado um valor de 7 km/ton e idêntico ao estimado para a recolha seletiva de biorresíduos, a que acresce o valor de 1,2 km/ton para o transporte a destino de tratamento ou estação de transferência.

Tabela 5.3 – Valores adaptados de recolha e transporte para Portugal.

RECOLHA, TRANSPORTE	
Recolha selectiva de resíduos e transporte para MRF (fluxos de recolha selectiva)	
Distância anual percorrida para a recolha de RE	17229083 km/ano
Distância específica de recolha de RE	127 tkm/ton RE
Distância anual percorrida para a recolha de RP	17487860 km/ano
Distância específica de recolha de RP	86 tkm/ton RP
Distância anual percorrida para a recolha de RV	5992724 km/ano
Distância específica de recolha de RV	18 tkm/ton RV
Distância anual percorrida para a recolha de RB	796851 km/ano
Distância específica de recolha de RB	7 tkm/ton RB
Recolha de resíduos urbanos indiferenciados e transporte (recolha hermética SCF; sacos de recolha porta-a-porta) (RI)	
Distância anual percorrida para a recolha de RI em percurso de recolha (xR)	26866637 km/ano
Distância específica de recolha de RI (xR)	7,1 tkm/ton RI
Distância anual percorrida para a recolha de RI em percurso de transporte (xT)	4540840 km/ano
Distância específica de transporte de RI (xT)	1,2 tkm/ton RI
Recolha especial de resíduos indiferenciados e transporte para tratamento (moloks; varredura de ruas) (RI)	
Distância anual percorrida para a recolha e transporte em circuitos especiais (molok; REU; varreduras das ruas)	1414034 km/ano
Distância específica de recolha e transporte de molok e varreduras (xT)	7,1 tkm/ton RI
Recolha e transporte de resíduos especiais (MONOS) para armazenamento/encaminhamento/desmantelamento em TM (VFV; pilhas; óleos; electrodomésticos; mobílias; verdes; etc.) (RD)	
Distância anual percorrida para a recolha e transporte em circuitos especiais para desmantelamento	300600 km/ano
Distância específica de recolha e transporte de resíduos especiais RD	16,7 tkm/ton RD

Ainda no que respeita ao serviço de recolha, admitiu-se que outros tipos de recolha de resíduos indiferenciados (porta-a-porta e molok) correspondiam a 5% do total de indiferenciados recolhidos e apresentavam os mesmos índices de esforço de transporte na recolha por contentores. A recolha de resíduos de grandes dimensões (monos) e de resíduos verdes apresentava um índice de esforço de transporte semelhante ao vidro, ou seja, 16,7 km/ton, e que a quantidade a recolher era de 18 kton/ano.

Devido à distância aos locais de tratamento de alguns municípios, uma parte dos resíduos indiferenciados é ainda sujeita a transferência e depois transporte em “alta”, num total de 600 kton/ano e uma distância de transporte de 25 km.

5.2.2.2 TRATAMENTO MECÂNICO DE RESÍDUOS DA RECOLHA SELETIVA

Os resíduos recolhidos seletivamente são objeto de tratamento mecânico tendo em vista a separação das diferentes frações com destino aos processos de valorização por recuperação material no âmbito da indústria de reciclagem. Este estudo não inclui os impactos ambientais da indústria de reciclagem, com a exceção da valorização orgânica

para a produção de composto. Os dados de inventário primário nacional em 2016 estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha seletiva para Portugal.

TRATAMENTO MECÂNICO em MRF de resíduos da recolha seletiva		
MRF - Tratamento de resíduos de embalagem (RE), papel+cartão (PC), vidro (RV) e biorresíduos (RB) recolhidos seletivamente		
Massa total diária de resíduos de embalagem a tratar (RE)	515903	kg RE/dia
Massa total diária de resíduos de papel+cartão a tratar (RP)	773854	kg RP/dia
Massa total diária de vidro a tratar (RV)	1289756	kg RV/dia
Massa total diária de resíduos biológicos a tratar (RB)	431196	kg RB/dia
Dias de laboração por mês na MRF	22	dias/mês
Horário de trabalho diário na MRF	16	h/dia
MRF - Tratamento de resíduos de recolha seletiva (produtos para valorização material)	Produção anual	
Aço - Produto separado e prensado em fardos	7763	ton Aço/ano
ALum - Produto separada e prensado em fardos	1634	ton Alum/ano
PET - Produto separado e prensado em fardos	9806	ton PET/ano
PEAD - Produto separado e prensado em fardos	18387	ton PEAD/ano
PEBD - Produto separado e prensado em fardos	24516	ton PEBD/ano
Pla_mx - Produto separado e prensado em fardos	19068	ton Pla_mx/ano
ECAL - Produto separado e prensado em fardos	5448	ton ECAL/ano
PP - Produto separado e prensado em fardos	91934	ton PP/ano
CA - Produto separado e prensado em fardos	96020	ton CA/ano
VI - Produto separado para reciclagem	333686	ton VI/ano
BI - Produto separado (biorresíduos) para tratamento biológico	92207	ton BI/ano
Quantidade total de materiais separados e embalados para valorização material ou orgânica	700469	ton total separado /ano
Quantidade total de refugos para eliminação	94359	ton refugo/ano

Os recursos necessários ao processamento destes resíduos incluem eletricidade, gasóleo e materiais auxiliares.

Também os resíduos objeto de recolha especial podem ser sujeitos a operações de desmantelamento e juntar-se aos produtos separados da recolha seletiva.

5.2.2.3 TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS

Os resíduos indiferenciados são sujeitos a tratamento mecânico (Tabela 5.5) para separação de materiais para reciclagem material, preparação de CDR, e para tratamento biológico anaeróbio ou compostagem quando este processo existe no sistema; os refugos deste tratamento são enviados para aterro. Em alternativa, os resíduos indiferenciados são sujeitos a incineração direta (“*mass-burning*”) ou aterro direto.

Tabela 5.5 - Dados relativos ao tratamento mecânico de resíduos de recolha indiferenciada para Portugal.

TM - Processo de TRATAMENTO MECÂNICO de resíduos indiferenciados		
Inventário de resíduos indiferenciados para tratamento e eliminação directa		
Massa anual de resíduos indiferenciados (RI) RECOLHIDOS para entrega ao sistema municipal (Nota: Uma parte pode necessitar de transferência)	4182310	ton RI/ano
Massa anual de resíduos equiparados a urbanos(REU) entregues aos sistemas de tratamento pelos detentores	0	ton RI/ano
Teor de humidade dos resíduos indiferenciados RECOLHIDOS	0,35	kg H2O/kg RI
Massa anual de resíduos indiferenciados (RI) recebidos para TRATAMENTO MECÂNICO e TRATAMENTO MECÂNICO e BIOLÓGICO	1743033	ton RI/ano
Massa anual de resíduos indiferenciados recebidos e enviados para ELIMINAÇÃO DIRECTA (RI)	2439277	ton RI/ano
TM - Produto de separação de RI para preparação de reciclados (PRE) do tratamento de resíduos urbanos indiferenciados (9921)	Produção anual	
Metais - Rendimento ponderal do processo de separação TM	41833	ton metais/ano
Alum - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
PLastico - Rendimento ponderal do processo de separação TM	47933	ton plástico/ano
PEAD - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
PEBD - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
Pla_mx - Rendimento ponderal do processo de separação de plásticos mistos	0	
ECAL - Rendimento ponderal do processo de separação	0	
Cartão - Rendimento ponderal do processo de separação de cartão TM	11330	ton Papelcartão/ano
PAP - Rendimento ponderal de PAP nos RI	0	
VIDR - Rendimento ponderal de VIDR nos RI	0	
BIOR - Rendimento ponderal de BIOR nos RI	0	
Mass total anual de RI separado para reciclagem (PRE)	101095,89	ton PRE/ano
Metais - Rendimento ponderal do processo de preparação para reciclagem de RI (TM)	0,024	ton metais/ton RI
PLastico - Rendimento ponderal do processo de preparação para reciclagem de RI (TM)	0,0275	ton plástico/ton RI
Cartão - Rendimento ponderal do processo de preparação para reciclagem de RI (TM)	0,0065	ton cartão/ton RI

Tendo em conta que nem todos os dados necessários para a realização da avaliação do ciclo de vida são disponibilizados pela APA e pelos SGRU, foi necessário realizar estimativas de alguns dos dados, nomeadamente para a obtenção das capacidades de tratamento biológico das unidades de tratamento mecânico e biológico (TMB).

Para este efeito foram considerados valores do ano 2018 para a obtenção da capacidade das unidades de tratamento de resíduos urbanos. Quando os valores não constavam na informação disponível, consideram-se que em 2016 só estaria a ser utilizada cerca de 80% da capacidade instalada das unidades. De facto, a informação sobre a capacidade das unidades de tratamento biológico era escassa para os seguintes SGRU: Algar, Amarsul, Ambital, Amcal, Braval, Planalto Beirão, ERSUC, Gesamb, Resiestrela, Resitejo, Resíduos Nordeste, Suldouro, Valnor, RESINORTE, Açores e Madeira. Adicionalmente, considerou-se que a capacidade de tratamento biológico era de 40% da

capacidade e tratamento de resíduos indiferenciados admitidos ao tratamento mecânico tal como calculada anteriormente, sendo que algumas unidades não dispõem de tratamento biológico.

Os valores utilizados neste estudo podem ser comparados com os valores apresentados no ANEXO III.

5.3 CENÁRIOS PARA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

No âmbito definido para este caso de estudo de ACV, e para o efeito do cálculo das incidências ambientais, considerou-se que a responsabilidade ambiental no âmbito do sistema em estudo terminava a partir do ponto em que os resíduos 3F eram entregues a retomadores (operadores de gestão de resíduos, recicladores), o que não sucede no caso dos resíduos indiferenciados em que são considerados os impactos dos processos até à eliminação (incineração e aterro).

Na avaliação do ciclo de vida aplicada à gestão de resíduos urbanos a nível nacional, efetuou-se o estudo e análise sob 3 cenários, em que o primeiro cenário (cenário atual 2016) servirá de base de comparação para os 2 cenários alternativos (cenários alternativos a) e b).

No cenário alternativo (a) admite-se que a quantidade de resíduos sujeitos a recolha seletiva 3F e tratamento corresponde a 30% da quantidade de resíduos urbanos produzidos enquanto que a recolha seletiva de biorresíduos e resíduos verdes corresponde a 40% do total de resíduos produzidos. As percentagens consideradas baseiam-se na caracterização física dos resíduos urbanos no ano de 2016.

No cenário alternativo (b) à recolha seletiva 3F, acresce a recolha seletiva da madeira, representando um total de 33% da quantidade de resíduos produzidos. À semelhança do cenário alternativo (a), a porção de recolha seletiva de biorresíduos e resíduos verdes representa cerca de 40%.

O desenvolvimento do cenário alternativo (b) centrou-se na separação e tratamento de biorresíduos e resíduos verdes. De facto, quer a qualidade quer o rendimento em composto e até em biogás dos processos biológicos de tratamento de biorresíduos e resíduos verdes provenientes de recolha seletiva é expectavelmente superior ao obtido a partir da fração separada para tratamento biológico em unidades TMB, dada a presença de contaminantes em quantidades importantes que se verifica nestes últimos, conforme se comprova no relatório PERSU 2020+ (2019).

Tendo em consideração, por um lado, a capacidade estimada das infraestruturas de valorização orgânica prevista por este modelo num total de 860 kton/ano (que compara favoravelmente com a estimativa de 898 kton/ano apresentada no PERSU 2020+ (2019)), e por outro a quantidade anual de biorresíduos e resíduos verdes disponíveis prevista de kton/ano a valorizar, e ainda a meta de valorização material imposta pela UE em 2035 (65%), propõe-se para o cenário (b) que a diferença dos valores mencionados, cerca de 335 ktoneladas, poderia ser tratada por compostagem doméstica, subtraindo-se o referido valor à totalidade de resíduos urbanos produzidos pelos municípios que assim deixavam de ser recolhidos e tratados pelos sistemas municipais para passar a serem tratados localmente por compostagem doméstica e/ou alimentação animal, com produção de composto para utilização local e contrapartida em termos de PAYT (“Pay As You Through”).

Para as operações de tratamento biológico, e através da análise dos *datasets* disponíveis na base de dados *Ecoinvent*, foi possível concluir que, para o caso do indicador *IPCC 2013*, a maior incidência no indicador resultava da emissão de metano associada aos processos quer aeróbio quer anaeróbio.

Para a operação de compostagem doméstica, na base de dados *Ecoinvent* não constam atividades relacionadas com a referida operação. A pesquisa na literatura mostrou que o assunto se encontra mal estudado. Contudo na base de dados IPCC foi possível encontrar informação específica para “*backyard composting*” aplicado a biorresíduos e no que concerne as emissões de metano e óxido nitroso por tonelada de biorresíduos húmidos, de 788 g CH₄ e 192 g N₂O. Tendo em conta os fatores de caracterização *ReCiPe* de 22.25kg CO₂-eq/kg de CH₄ de origem biogénica e 298 kg CO₂-eq/kg de N₂O, o que permitiu obter uma estimativa para o indicador IPCC de 74,7 kg CO₂-eq/ton de biorresíduos, apesar de tudo significativamente abaixo do valor apresentado no *Ecoinvent* para compostagem industrial de 210 aplicada a biorresíduos. Através de valores de metano e óxido nitroso foi calculado o valor referente ao indicador *IPCC 2013* e estimados os valores dos indicadores *Ecological Footprint* e *ReCiPe Endpoint*, na mesma base percentual. No âmbito deste exercício, foi também considerado que, para a prática de compostagem doméstica, são necessários compostores em plástico. Para este efeito admitiu-se que cada compostor é constituído por 5 kg de polietileno de alta densidade (PEHD), estimando um tempo de vida útil de 10 anos e que o composto produzido é utilizado localmente.

Os dados de entrada para a aplicação de ACV, encontram-se discriminados na.

Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Dados de entrada dos diferentes cenários para aplicação de ACV, 2016.

	Cenário actual	Cenário alternativo (a)	Cenário alternativo (b)
Quantidade de RU produzidos/recebidos em 2016 (ton)	4890592	4890592	4890592
Resíduos urbanos recolhidos pelos municípios e sistemas municipais (ton)	4778020	4778020	4444020
Recolha indiferenciada (ton)	3983193	1433406	956065
Recolha selectiva 3F/outros (ton)	680991	1433406	1576747
Recolha selectiva de RUB/biorresíduos para unidades de valorização orgânica (ton)	113836	1911208	1911208
Biorresíduos sujeitos a compostagem doméstica (ton)	0	0	334000
Triagem 3F (ton)	681000	1433406	1576747
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de TB (ton)	1312600	745758	745758
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de TM (ton)	430432	1433406	956065
Quantidade total de resíduos que deram entrada em centrais de incineração (ton)	1198827	1198827	1198827
Quantidade total de resíduos depositados em aterro calculada pelo modelo (*)	2271166	938932	675945
(*) A quantidade total de resíduos depositados em aterro reportado pelo RARU2016 foi de 2539353 toneladas			

Como referido no ponto 5.2.2, foram consideradas as capacidades das unidades de tratamento. Os valores da quantidade de resíduos depositados em aterro foram calculados através do modelo.

5.4 RESULTADOS

Os resultados apresentados respeitam por um lado ao cumprimento das metas europeias relativamente à gestão dos resíduos urbanos e por outro aos impactos ambientais associados às diferentes alternativas de gestão (cenários) entendida em termos de Análise Impacto de Ciclo de Vida.

5.4.1 METAS EUROPEIAS

Através do modelo, e a sua descrição e cálculo detalhado, e tendo em conta as metas de deposição de RU em aterro (Tabela 5.7) e preparação para reutilização e reciclagem (Tabela 5.8), foram determinados valores percentuais atingidos dos diferentes cenários

de modo a relacionar com os valores das referentes metas estabelecidas pela Diretiva (UE) 2018/850 relativa à deposição de resíduos em aterros e Diretiva (UE) 2018/851 relativa aos resíduos.

Tabela 5.7 - Deposição de RU em Aterro calculado a partir do modelo.

Indicador	Cenário Atual	Cenário Alternativo (a)	Cenário Alternativo (b)
Deposição de RU em aterro	46,44%	19,20%	13,82%

Analisando os valores apresentados na Tabela 5.7, é possível concluir que a deposição de resíduos urbanos em aterro decresce substancialmente quando, é realizada uma recolha seletiva mais eficaz e alargada aos biorresíduos com encaminhamento para valorização como ocorre no âmbito dos cenários alternativos relativamente ao cenário de referência. O cenário alternativo (b) demonstra maior eficácia neste parâmetro, apresentado um decréscimo de mais de 30% em relação ao cenário atual.

Tabela 5.8 – Preparação de RU para reutilização e reciclagem calculado a partir do modelo.

Indicador	Cenário Atual	Cenário Alternativo (a)	Cenário Alternativo (b)
Preparação para reutilização e reciclagem	23,80%	64,64%	67,66%

À semelhança dos resultados da Tabela 5.7, aquando da aplicação dos cenários alternativos, a quantidade de RU destinada a preparação para reutilização e reciclagem apresenta grandes melhorias em relação ao cenário atual. É observável um aumento substancial de quantidade de resíduos urbanos encaminhados para valorização onde, mais uma vez, o cenário alternativo (b) ganha destaque com um aumento de, aproximadamente, 44% em relação ao cenário atual.

Tendo em conta as metas estabelecidas pelo Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia de acordo com as Diretivas (UE) 2018/851 e 2018/850 indicadas na Tabela 5.9, é possível avaliar se os cenários atual, (a) e (b) cumprem essas mesmas metas.

Tabela 5.9 - Metas estabelecidas pela Diretiva (UE) 2018/851.

Indicador	2020	2025	2030	2035
Preparação para reutilização e reciclagem	50%	55%	60%	65%
Deposição de RU em aterro	-	-	-	< 10%

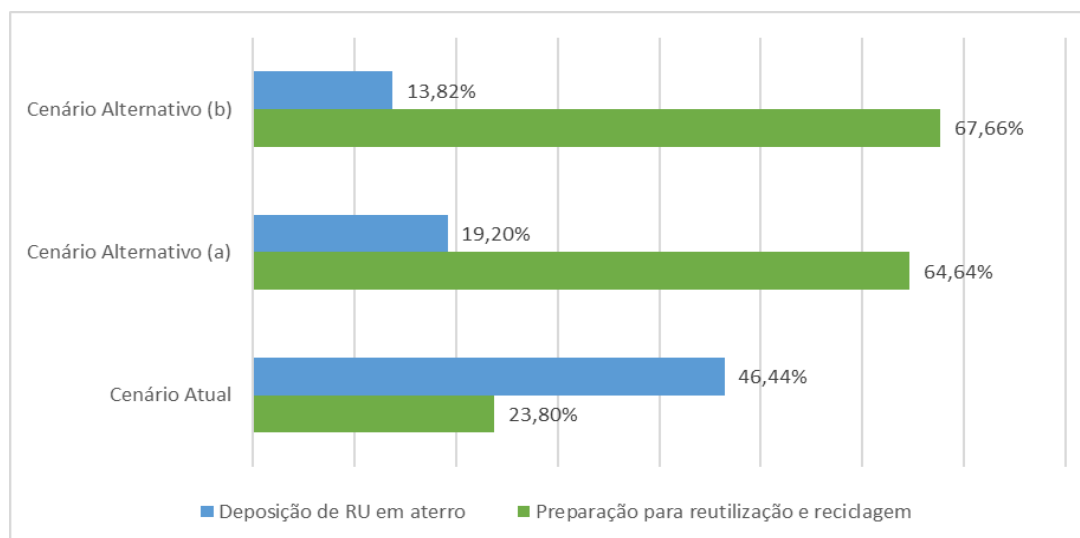


Figura 5.9 – Valores percentuais atingidos dos diferentes cenários para os indicadores de referência.

O valor percentual estabelecido como meta para a deposição de resíduos urbanos em aterro (<10%) até 2035, não é atingido por nenhum dos cenários apresentados. No entanto, o cenário (b) é o que se encontra mais próximo da meta, com 13,8%.

No que diz respeito à preparação para reutilização e reciclagem, o valor percentual das metas aumenta progressivamente entre 2020 e 2035. Neste âmbito, o cenário atual aponta para 23,8%, concluindo-se que se encontra longe da meta estabelecida para 2020. Por outro lado, o cenário alternativo (a) com 64,6% atinge as metas estabelecidas para os anos 2020, 2025 e 2030 ficando bastante próximo da meta para 2035. O cenário alternativo (b) com 67,7% apresenta-se como o cenário que cumpre a meta estabelecida para 2035. (ver Tabela 5.9 e Figura 5.9)

5.4.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DE CICLO DE VIDA

A análise de impacto ambiental referente a um ano de gestão de resíduos urbanos em Portugal, com base nos dados relativos a 2016, foi realizada com base em três indicadores: *Ecological Footprint*, *ReCiPe Endpoint*, *IPPC 2013*.

5.4.2.1 ECOLOGICAL FOOTPRINT

Para os diferentes cenários, à semelhança do caso de estudo ERSUC, após a introdução dos dados de entrada para a aplicação do ACV, foram obtidos os valores resultantes referentes ao indicador *Ecological Footprint*.

Tabela 5.10 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *Ecological footprint (m2.a/ano)* referente ao Cenário Atual.

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário actual 2016	
	Ecological footprint (m2.a/year)	Ecological footprint (m2.a/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	3,57E+06	0,73
Tratamento mecânico	6,81E+06	1,39
Digestão anaeróbia	9,00E+07	18,39
Compostagem	3,75E+05	0,08
Incineração	4,10E+06	0,84
Aterro	2,05E+07	4,19
Compostagem doméstica	0	0
TOTAL	1,25E+08	25,62

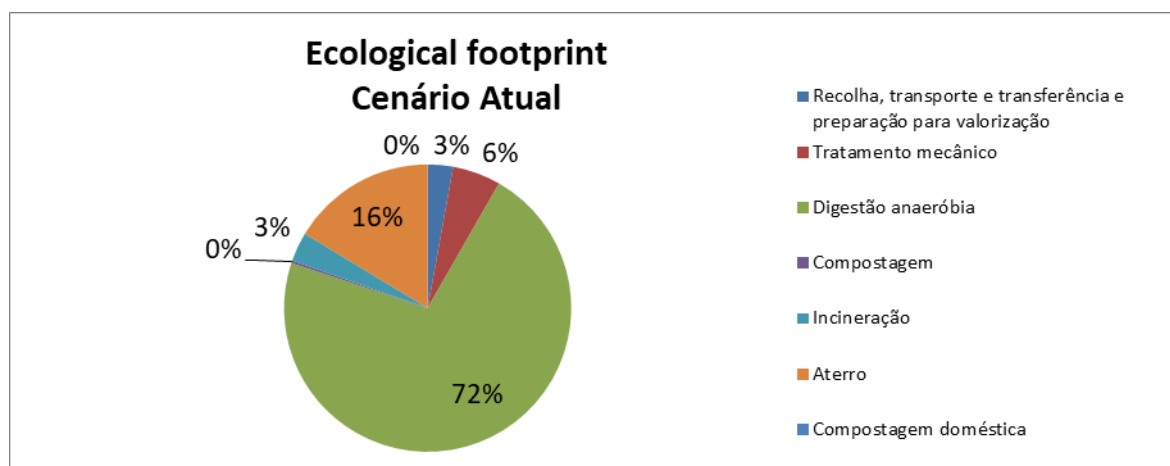


Figura 5.10 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *Ecological footprint (m2.a/ano)* referente ao Cenário Atual.

Avaliando os valores referentes ao cenário atual, na Tabela 5.10 e Figura 5.10, verifica-se que a operação digestão anaeróbia apresenta um valor bastante elevado em relação às restantes operações, com 72% do valor total.

Para cada tonelada de resíduos produzida em 2016, é requerido cerca de 25,62 m² de área biologicamente produtiva.

Tabela 5.11 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *Ecological footprint* (m².a/ano) referente ao Cenário Alternativo (a).

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário Alternativo (a) 2016	
	Ecological footprint (m ² .a/year)	Ecological footprint (m ² .a/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	1,58E+07	3,23
Tratamento mecânico	5,61E+06	1,15
Digestão anaeróbia	1,14E+08	23,31
Compostagem	1,96E+07	4,00
Incineração	5,10E+06	1,04
Aterro	8,40E+06	1,72
Compostagem doméstica	0	0
TOTAL	1,68E+08	34,45

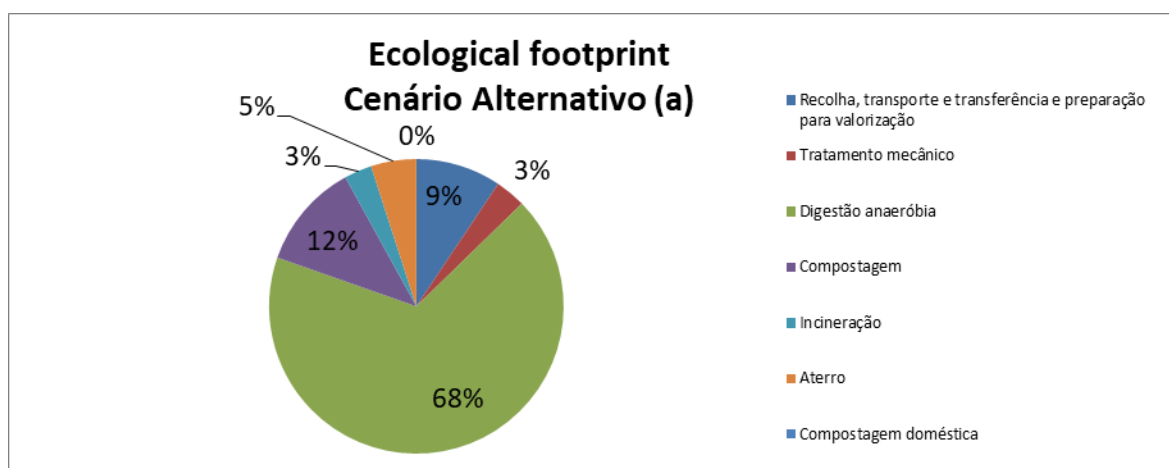


Figura 5.11 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *Ecological footprint* (m².a/ano) referente ao Cenário Alternativo (a).

No caso do cenário alternativo (a) (Tabela 5.11 e Figura 5.11), a predominância da digestão anaeróbia mantém-se. Observa-se uma diminuição do valor referente ao aterro e um aumento da compostagem. O valor do indicador de *Ecological footprint* apresentou um aumento de 26% no cenário alternativo (a), relativamente ao cenário de referência, num total de 9 m²/ton de resíduos geridos.

Tabela 5.12 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *Ecological footprint* (m².a/ano) referente ao Cenário Alternativo (b).

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário alternativo (b) 2016	
	Ecological footprint (m ² .a/year)	Ecological footprint (m ² .a/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	1,98E+07	4,06
Tratamento mecânico	3,74E+06	0,77
Digestão anaeróbia	9,12E+07	18,65
Compostagem	2,17E+07	4,44
Incineração	4,05E+06	0,83
Aterro	6,02E+06	1,23
Compostagem doméstica	8,73E+06	1,78
TOTAL	1,55E+08	31,76

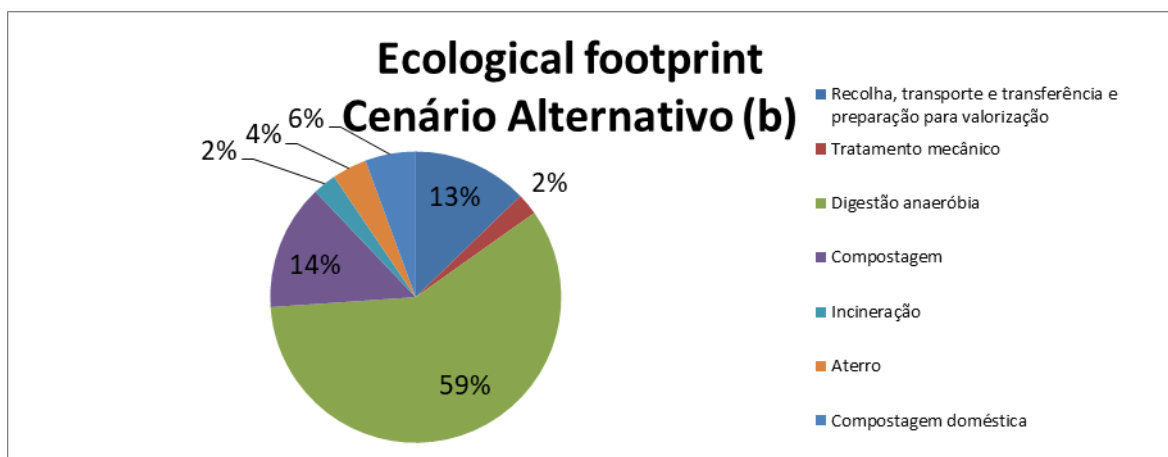


Figura 5.12 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *Ecological footprint* (m².a/ano) referente ao Cenário Alternativo (b).

No cenário alternativo (b) (Tabela 5.12 e Figura 5.12), a digestão anaeróbia permanece dominante. Os valores referentes às operações de recolha, transporte, transferência e

preparação para valorização, compostagem e compostagem doméstica evidenciam um aumento. No entanto, operações como a incineração e aterro sofrem decréscimo.

O valor do indicador de *Ecological footprint* apresentou um aumento de 19% no cenário alternativo (b), relativamente ao cenário de referência, num total de 6 m²/ton de resíduos geridos.

5.4.2.2 RECIPE ENDPOINT (EA)

Para os diferentes cenários, após a introdução dos dados de entrada para a aplicação do ACV, foram obtidos os valores resultantes referentes ao indicador *ReCiPe Endpoint (EA)*.

Tabela 5.13 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* referente ao Cenário Atual.

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário actual 2016	
	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems (points/year)	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems (points/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	5,90E+05	0,12
Tratamento mecânico	4,93E+05	0,10
Digestão anaeróbia	3,17E+06	0,65
Compostagem	4,62E+04	0,01
Incineração	1,69E+07	3,46
Aterro	6,44E+06	1,32
Compostagem doméstica	0	0
TOTAL	2,77E+07	5,66

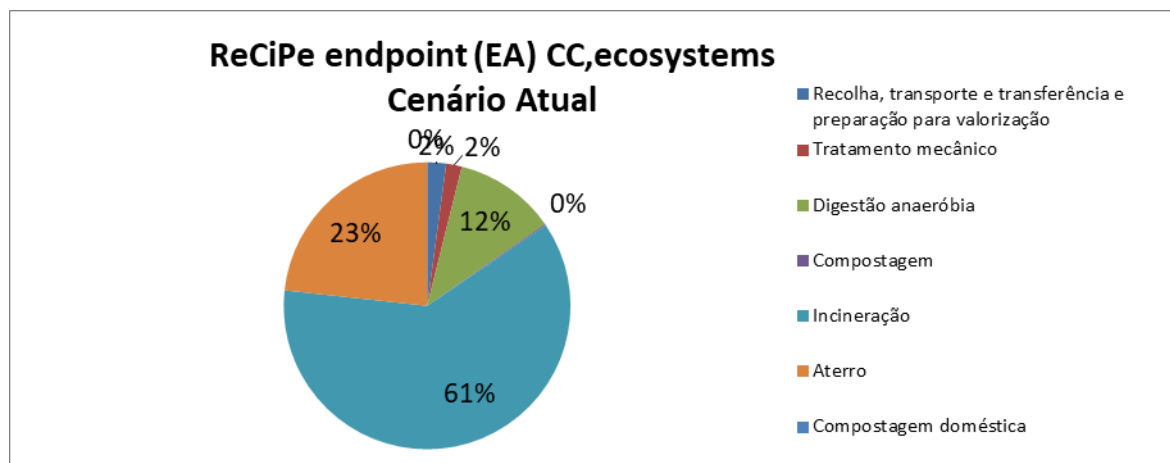


Figura 5.13 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* referente ao Cenário Atual.

Avaliando os valores referentes ao cenário atual, na Tabela 5.13 e Figura 5.13, verifica-se que a operação incineração apresenta-se como dominante, representando 61% do total. A seguir, o maior impacte ambiental resulta da operação de aterro, com 23%.

Por cada tonelada de resíduos produzida em 2016, o indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* acumula um total de 5,66 pontos.

Tabela 5.14 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* referente ao Cenário Alternativo (a).

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário Alternativo (a) 2016	
	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems (points/year)	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems (points/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	1,82E+06	0,37
Tratamento mecânico	4,06E+05	0,08
Digestão anaeróbia	4,02E+06	0,82
Compostagem	2,41E+06	0,49
Incineração	1,76E+07	3,59
Aterro	1,92E+06	0,39
Compostagem doméstica	0	0
TOTAL	2,81E+07	5,75

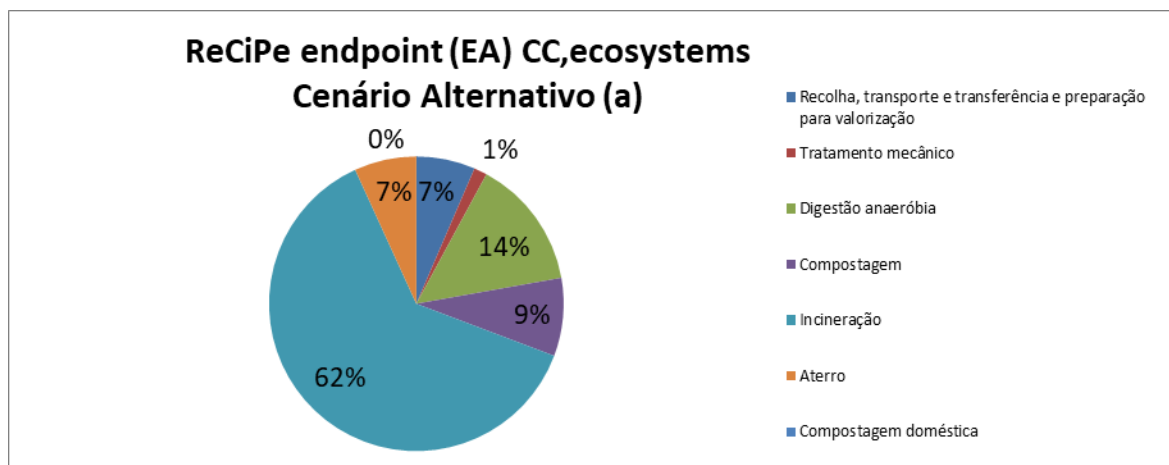


Figura 5.14 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* referente ao Cenário Alternativo (a).

No cenário alternativo (a) (Tabela 5.14 e Figura 5.14), a incineração continua a destacar-se com 62% do total. A operação de aterro sofre um decréscimo, ao contrário da compostagem e da digestão anaeróbia que ganha destaque.

O valor do indicador de *ReCiPe Endpoint* apresentou um aumento de 2% no cenário alternativo (a), relativamente ao cenário de referência, num total de 0,09 points/ton de resíduos geridos.

Tabela 5.15 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* referente ao Cenário Alternativo (b).

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário alternativo (b) 2016	
	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems (points/year)	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems (points/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	2,31E+06	0,47
Tratamento mecânico	2,71E+05	0,06
Digestão anaeróbia	3,21E+06	0,66
Compostagem	2,68E+06	0,55
Incineração	1,68E+07	3,43
Aterro	1,10E+06	0,22
Compostagem doméstica	8,02E+06	1,64
TOTAL	3,44E+07	7,03

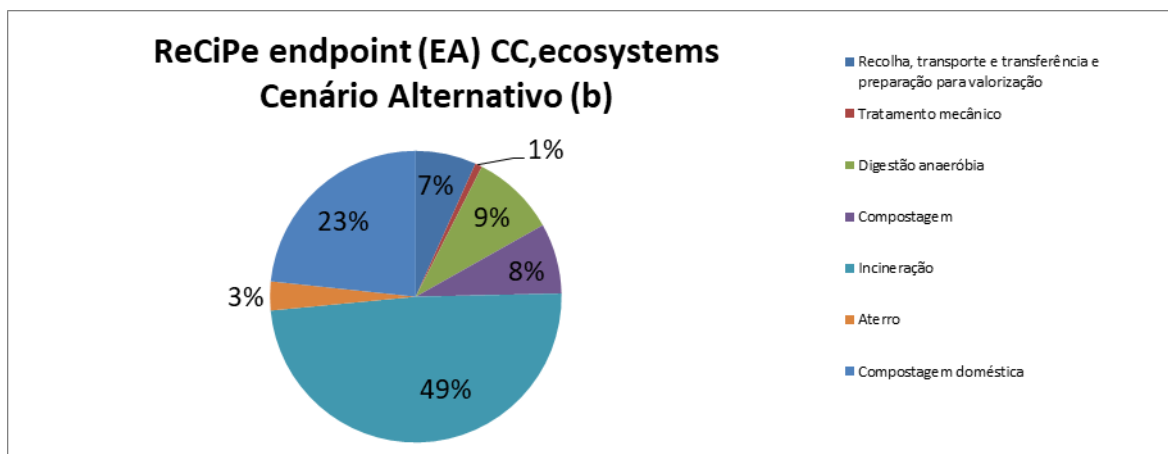


Figura 5.15 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *ReCiPe Endpoint (EA)* referente ao Cenário Alternativo (b).

O cenário alternativo (b) (Tabela 5.15 e Figura 5.15), mantêm a predominância da incineração com 49% do valor total. A compostagem doméstica ganha destaque com 23% do total, ao invés do valor referente ao aterro que continua a diminuir.

O valor do indicador de *ReCiPe Endpoint* apresentou um aumento de 19% no cenário alternativo (b), relativamente ao cenário de referência, num total de 1,33 points/ton de resíduos geridos.

5.4.2.3 IPCC 2013 (GWP 100A)

Para os diferentes cenários, após a introdução dos dados de entrada para a aplicação do ACV, os valores resultados referentes ao indicador *IPCC 2013 (GWP 100a)* são apresentados na Tabela 5.16 para o cenário atual.

Tabela 5.16 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)* referente ao Cenário Atual.

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário actual 2016	
	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/year)	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	2,29E+07	4,67
Tratamento mecânico	1,96E+07	4,00
Digestão anaeróbia	2,63E+08	53,86
Compostagem	4,17E+06	0,85
Incineração	6,31E+08	129,03
Aterro	1,21E+09	246,39
Compostagem doméstica	0	0
TOTAL	2,15E+09	438,82

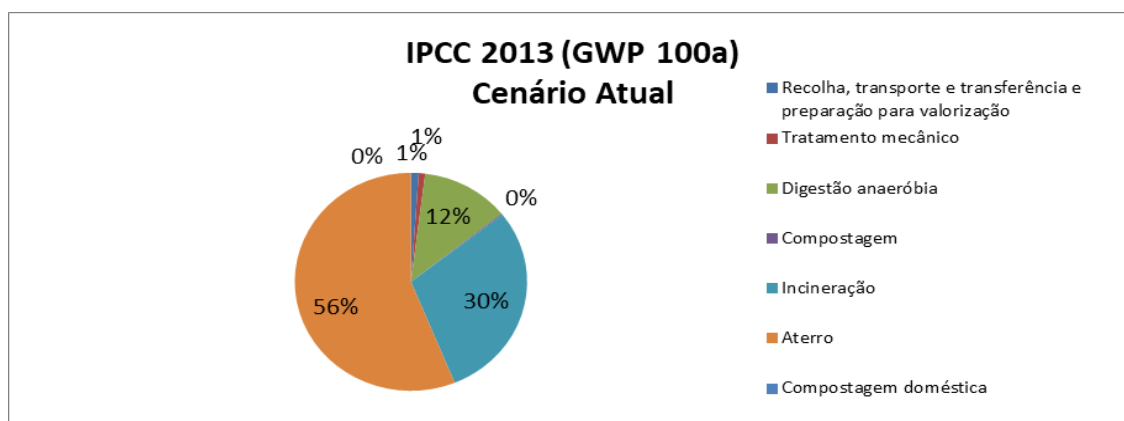


Figura 5.16 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)* referente ao Cenário Atual.

Através da Tabela 5.16 e com o auxílio da Figura 5.16, é possível constatar que a operação mais influente na emissão de dióxido de carbono equivalente é o aterro, correspondendo a 56% do total de emissões, enquanto que a incineração contribui com cerca de 30%. Estes resultados levam a concluir que as operações de eliminação são os maiores emissores GHG. Neste cenário atual por cada tonelada de resíduos produzida em 2016, são emitidos 438,82 kg CO₂_eq.

Tabela 5.17 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)* referente ao Cenário Alternativo (a).

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário Alternativo (a) 2016	
	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/year)	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	7,10E+07	14,51
Tratamento mecânico	1,61E+07	3,29
Digestão anaeróbia	3,34E+08	68,26
Compostagem	2,18E+08	44,50
Incineração	6,57E+08	134,29
Aterro	3,50E+08	71,57
Compostagem doméstica	0	0
TOTAL	1,65E+09	336,43

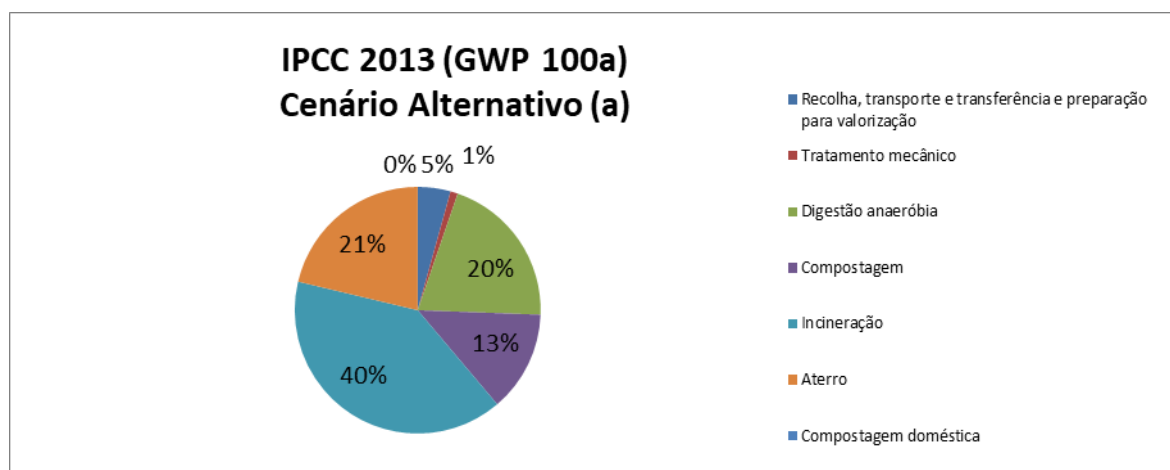


Figura 5.17 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)* referente ao Cenário Alternativo (a).

No caso do cenário alternativo (a) (Tabela 5.17, Figura 5.17), a unidade de tratamento dominante é a incineração com 40%, seguida do aterro com 21%. Em relação ao cenário atual, neste cenário o aterro diminui os seus valores de dióxido de carbono, sendo conciliável com a diminuição de deposição de RU em aterro. A contribuição da digestão anaeróbia e da compostagem sofre um aumento, o que traduz o aumento de entrada de RU nestas unidades de tratamento.

O valor do indicador de IPCC 2013 apresentou um decréscimo de 23% no cenário alternativo (a), relativamente ao cenário de referência, num total de 102 kg CO₂_eq/ton de resíduos geridos.

Tabela 5.18 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)* referente ao Cenário Alternativo (b).

Operações de gestão de resíduos urbanos	Cenário alternativo (b) 2016	
	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/year)	IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO ₂ _eq/ton)
Recolha, transporte e transferência e preparação para valorização	9,01E+07	18,42
Tratamento mecânico	1,07E+07	2,20
Digestão anaeróbia	2,67E+08	54,61
Compostagem	2,42E+08	49,45
Incineração	6,25E+08	127,88
Aterro	1,96E+08	40,01
Compostagem doméstica	3,28E+07	6,70
TOTAL	1,46E+09	299,26

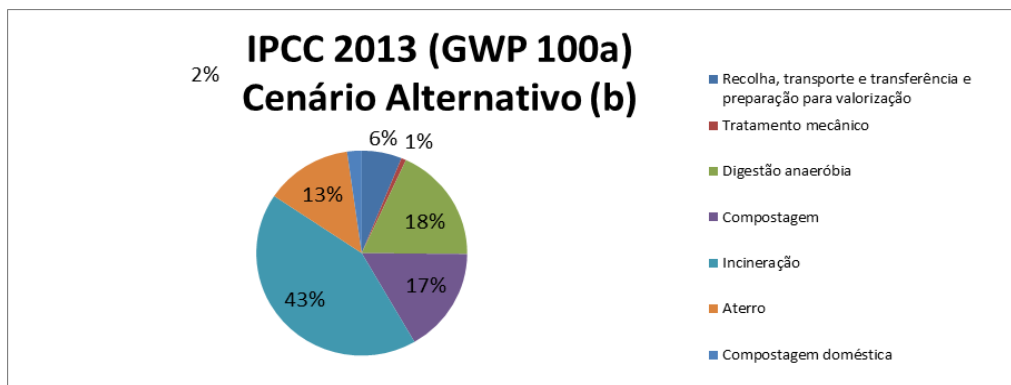


Figura 5.18 - Impacte ambiental relativo das diferentes operações de gestão de resíduos urbanos, em 2016, com base no indicador *IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano)* referente ao Cenário Alternativo (b).

A incineração no cenário alternativo (b) (Tabela 5.18 e Figura 5.18), mantém o seu domínio com 43%. Por outro lado, o valor referente ao aterro volta a diminuir proporcionalmente com a diminuição da deposição de RU em aterro. Como no cenário alternativo (a), a contribuição da digestão anaeróbia (18%) e da compostagem (17%) novamente em resposta ao novo aumento da entrada de RU nestas unidades de

tratamento. O cenário alternativo (b) a compostagem doméstica apresentando valores bastante baixos com 2,2% do total de emissões.

O valor do indicador de IPCC 2013 apresentou um decréscimo de 33% no cenário alternativo (b), relativamente ao cenário de referência, num total de 145 kg CO₂_eq/ton de resíduos urbanos produzidos em Portugal.

5.4.3 ANÁLISE COMPARADA DOS DIFERENTES CENÁRIOS

Para os diferentes cenários foram obtidos os valores resultantes referentes aos indicadores *IPCC 2013 (GWP 100a)*, *Ecological Footprint* e *ReCiPe Endpoint (EA)*. No entanto, dar-se-á destaque ao indicador *IPCC 2013 (GWP 100a)* para os cenários atual, (a) e (b).

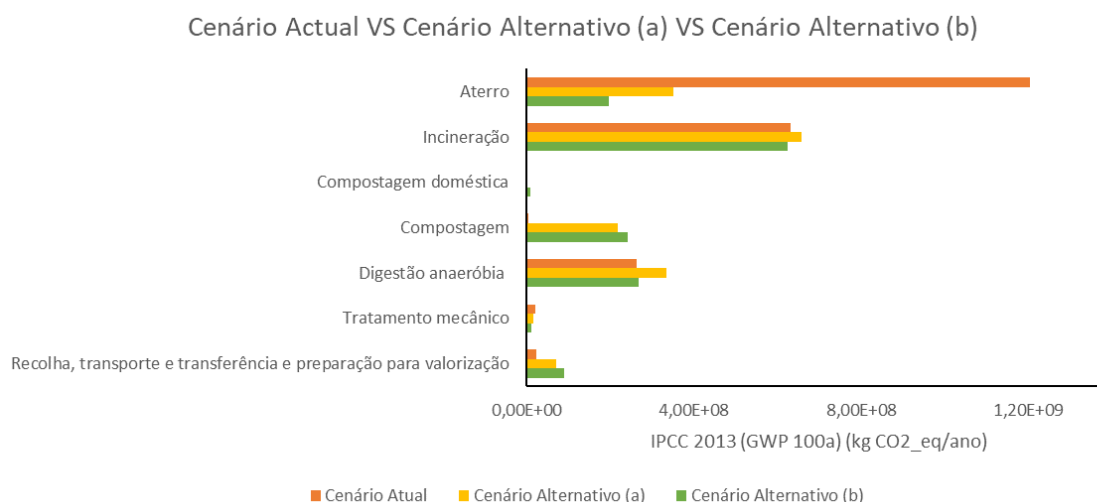


Figura 5.19 - IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano), comparação entre os cenários atual 2016, alternativo (a) e (b), operação de gestão de resíduos urbanos.

Pela Figura 5.19, é possível concluir que o cenário atual apresenta maiores valores de emissão de CO₂_eq em relação ao aterro.

No caso da incineração, não existem grandes alterações entre os cenários apresentados. No entanto, o cenário alternativo (a) apresenta o maior valor de kg CO₂_eq.

Em relação à compostagem, o cenário que apresenta maior valor de kg CO₂_eq é o cenário alternativo (b). Esta operação de gestão de resíduos urbanos não apresenta valores significativos cenário atual.

O cenário alternativo (a) é maioritário no que diz respeito a emissões de CO₂_eq em relação à digestão anaeróbia. Os restantes cenários apresentam valores semelhantes.

O tratamento mecânico e a recolha, transporte, transferência e preparação para valorização, nos quatro cenários não demonstra valores significativos quando comparando com as restantes unidades de tratamento.

Após a análise dos valores resultantes do indicador *IPCC 2013 (GWP 100a)* dos diferentes cenários, torna-se possível a respetiva comparação e avaliação dos mesmos.

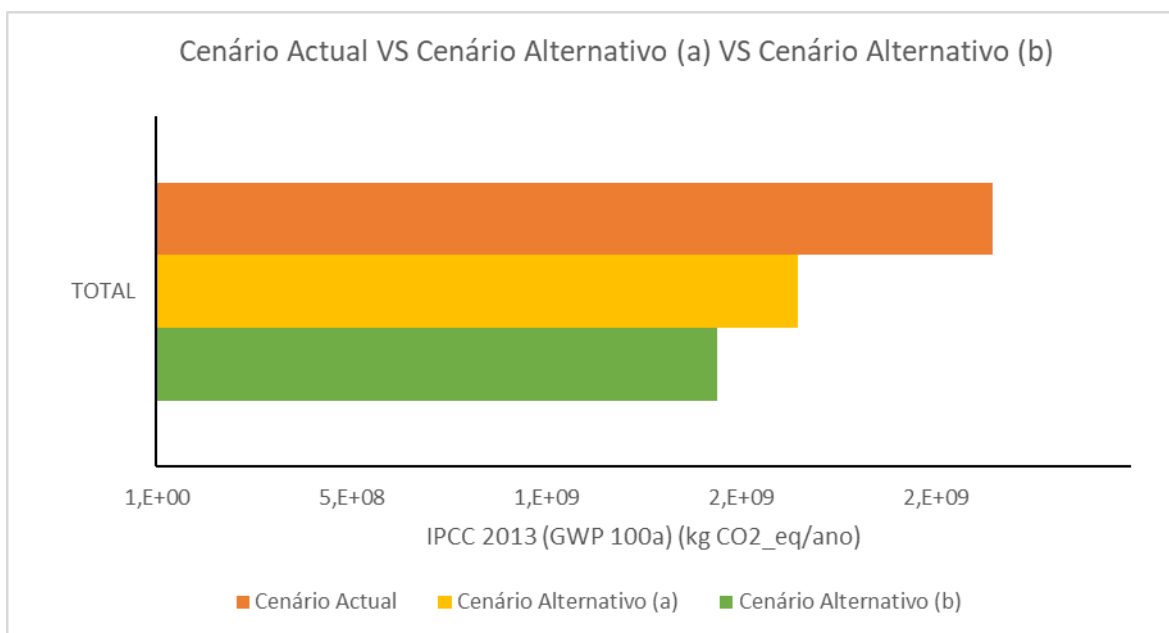


Figura 5.20 - IPCC 2013 (GWP 100a) (kg CO₂_eq/ano), comparação entre os cenários atual 2016, alternativo (a) e (b), do valor total.

Através da Figura 5.20, conclui-se que as alterações realizadas em relação ao cenário atual tendem a diminuir significativamente as emissões de dióxido de carbono.

O cenário alternativo (b) apresenta-se como o cenário com o melhor resultado, tendo o valor mais baixo relativamente às emissões de dióxido de carbono equivalente.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

A Avaliação do Ciclo de Vida é um método referenciado pela União Europeia no sector da avaliação ambiental no contexto do apoio à tomada de decisão. Este método possibilita o estudo comparado das ocorrências ambientais de diferentes alternativas aspirando respeitar e cumprir um conjunto de objetivos legais, ou seja, valores limite, ou estratégicos.

A Diretiva (UE) 2018/850 relativa à deposição de resíduos em aterro e a Diretiva (UE) 2018/851 relativa aos resíduos, do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018, e as suas principais metas para a deposição de resíduos em aterro e preparação para reutilização e reciclagem, foram consideradas para uma avaliação mais completa.

No âmbito da gestão de resíduos urbanos a aplicação de ACV manifesta certas complexidades que advêm do facto dos processos de tratamento de resíduos urbanos usados em Portugal serem insuficientemente descritos no âmbito da documentação disponível quer para efeitos de balanço mássico ou de uso de recursos ambientais e tecnológicos.

Perante a dificuldade, foram feitas suposições e estimativas de valores, nomeadamente para a obtenção da capacidade das infraestruturas, a partir do valor de entrada de resíduos em cada processo.

O uso do modelo Excel ACV-UA para a aplicação de ACV, ao longo do trabalho, sofreu alterações para possibilitar a aplicação de sugestões para os cenários alternativos. Uma das sugestões, foi a introdução de compostagem doméstica no sistema idealizando o uso de um compostor constituído por 5kg de PEHD e com 10 anos de vida útil.

A compostagem doméstica permite que o cidadão/produtor obtenha mais responsabilidade ambiental. A compostagem doméstica promove a redução de deposição de biorresíduos e RUB em aterro, de emissões de gases, de custos económicos e fornece um produto, o composto, apropriado para o uso do solo com várias vantagens económicas e ambientais.

6.1 CONCLUSÕES

Após a aplicação do modelo Excel ACV-UA nos cenários atual, alternativos (a) e (b), e a obtenção dos resultados para o indicador *IPCC 2013 (GWP 100a)* e as metas europeias,

foi possível concluir que o cenário alternativo (b) apresenta os melhores resultados. O cenário (b) exibe os menores valores de emissões de dióxido de carbono, encontra-se mais próximo da meta europeia de deposição de RU em aterro e atinge a meta de preparação para reutilização e reciclagem para 2035.

O cenário alternativo (b) envolve uma maior eficácia na separação de resíduos de papel/cartão, embalagens de plástico/metálico, vidro, madeira e biorresíduos, RUB e verdes. Este cenário introduz no sistema a compostagem doméstica, diminuindo a quantidade de resíduos na entrada dos SGRU.

Numa análise comparada para o indicador *IPCC 2013* verifica-se que o impacto ambiental de gestão de resíduos a nível nacional é superior ao verificado no sistema municipal ERSUC, o que se compreende dado que a nível nacional a eliminação (aterro e incineração) atinge 86% enquanto que na ERSUC a eliminação (aterro) de resíduos atinge 60%. Com base no mesmo indicador, o estudo realizado permitiu também concluir que as operações de recolha e transporte de resíduos urbanos têm uma relevância ambiental significativamente inferior às operações de tratamento, quer a nível do sistema municipal ERSUC (3%) quer a nível nacional (1%).

A otimização da gestão de resíduos passa pelo desenvolvimento e potencialização dos processos envolventes nos SGRU, mas primeiramente pelo cidadão. Cabe ao cidadão realizar a separação no seu domicílio corretamente, adotar medidas de redução e reutilização do que consome, permitindo assim a redução da produção de resíduos.

6.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Os indicadores de impacto ambiental usados respeitam as diferentes incidências/intervenções ambientais pelo que, no âmbito de um trabalho de desenvolvimento como este, não foi considerado um objetivo prioritário de estudo. De facto, para a intercomparação de indicadores em termos do seu significado, ter-se-ia que ter em consideração uma mais alargada seleção de indicadores de impacto (indicadores intermédios) e indicadores de dano (indicadores finais).

Ao longo da realização do presente trabalho foram encontradas algumas dificuldades, nomeadamente a falta de informação acerca dos SGRU e a incoerência dos seus valores. Para que o cidadão esteja informado, é necessário haver transparência e conformidade na divulgação pública das informações e valores.

A introdução do processo de compostagem doméstica demonstrou ser um desafio. Não existe qualquer tipo de informação e dados para o processo na base de dados *Ecoinvent*, versão 3.5 (2016), com o modelo de sistema “*Allocation, cut-off by classification*”. Perante a dificuldade, foi idealizado o processo de gestão.

A literatura sobre a compostagem doméstica e estudos sobre a mesma são escassos, e bastante antigos, causando uma maior incerteza sobre a informação apresentada.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Melhorar o modelo Excel ACV-UA alargando-o a mais indicadores de impacto ambiental. Desenvolver o conhecimento relativo à compostagem doméstica, ao nível do processo, tecnologia e impactos ambientais associados, bem como do papel que pode desempenhar em contexto de PAYT, e contribuição dos cidadãos para a circularidade.

De acordo com este estudo, é evidente que os cidadãos têm um papel fundamental a desempenhar no contexto da separação de resíduos na origem. Para este efeito os cidadãos necessitam de ser educados de forma a moldar o seu comportamento por padrões ambientais compatíveis com as exigências ambientais que a UE propõe a todos os europeus, garantindo uma maior sustentabilidade do seu dia-a-dia.

Referências bibliográficas

- Al-Salem, S. M., Evangelisti, S. and Lettieri, P. (2014) 'Life cycle assessment of alternative technologies for municipal solid waste and plastic solid waste management in the Greater London area', *Chemical Engineering Journal*. Elsevier B.V., 244, pp. 391–402. doi: 10.1016/j.cej.2014.01.066.
- Allen, D. T. *et al.* (2009) 'PROPULSION AND POWER RAPID RESPONSE RESEARCH AND DEVELOPMENT (R & D) SUPPORT Delivery Order 0011 : Advanced Propulsion Fuels Research and Development – Subtask: Framework and Guidance for Estimating Greenhouse Gas Footprints of Aviation Fuels'.
- APA (2016) *Evolução da Capitação RU Capitação diária RU Produção RU (t) Origem Recolha Diferenciada Recolha seletiva Recolhas Ecopontos Circuitos Ecopontos Ecocentros Porta-a-Porta Preparação para Reutilização e RUB depositado em Aterro.*
- APA (2017a) 'Dados Resíduos Urbanos 2016'. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA (2017b) *Fichas Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos 2016.*
- APA (2017c) *Relatório de Avaliação PERSU 2016.*
- APA (2019a) *PERSU2020+, Reflexão Estratégica e Ajustamentos às Medidas do PERSU 2020.*
- APA (2019b) *Relatório Anual Resíduos Urbanos 2018.*
- Coelho, A. (2014) *Otimização do consumo de água no pré-tratamento de RSU para a digestão anaeróbia - Caso de Estudo ERSUC, Aveiro.* Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu.
- Comissão Europeia (2014) *Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe.* Bruxelas.
- 'Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho' (no date) *Jornal Oficial da União Europeia*, pp. 3–30.
- 'Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e Conselho, de 30 de maio de 2018' (2018) *Jornal Oficial da União Europeia.*
- Domingo, J. L. and Nadal, M. (2009) 'Domestic waste composting facilities : A review of human health risks', *Environment International*. Elsevier Ltd, 35(2), pp. 382–389. doi: 10.1016/j.envint.2008.07.004.
- DTU (2017) *EASETECH User Manual.* Lyngby.
- ERSUC (2015) *Plano de Ação PERSU 2020 - PAPERSU 2020.*
- ERSUC (2017) *Relatório de contas ERSUC 2016.*
- Ferreira, A. (2015) *Aplicação de uma ferramenta de Análise de Ciclo de Vida no planeamento da gestão integrada de resíduos urbanos: estudo de caso da Lipor.* Dissertação de Mestrado. Universidade Aberta.
- Ferreira, J. (2011) *Análise de ciclo de vida dos produtos, 1ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono.*
- International Standard 14040* (2006) *International Organization.* doi: 10.1021/es0620181.

- Leitão, A. (2015) 'Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. Circular economy: a new management philosophy for the XXI st century', *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, 1(2), pp. 2183–3826.
- Machado, M. I. (2018) *Avaliação Técnica e Económica de Soluções de Recolha Seletiva de Resíduos Orgânicos*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- McDougall, F. R. et al. (2003) *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*. (2nd Ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Menoufi, K. A. I. (2011) *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lérida.
- Ministério do Ambiente, do O. do T. e do D. R. (2006) 'Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro', *Diário da República*, pp. 6526–6545.
- Miran, S. et al. (2017) '2 , 3 , 4', 58, pp. 841–845. doi: 10.3390/ijms12118052.
- Monteiro, J. (2009) *Os SIG aplicados à gestão da recolha de resíduos urbanos*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Nunes, B. (2017) *Evolução e Situação atual dos RSU em Portugal: Estudo de caso: comparação dos sistemas de RSU em Sintra e Münster*. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
- Puna, J. and Baptista, B. (2008) 'A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - Perspectiva Ambiental e Económico-Energética', 31(3), pp. 645–654.
- Rebitzera, G. et al. (2003) 'Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications', 87(3), pp. 96–103. doi: 10.1002/ad.2179.
- Sequeiros, B. (2012) *Aplicação de Indicadores de Desempenho nos Serviços de Resíduos Urbanos*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Silva, M., Martins, C. and Pinheiro, E. (2007) *Domestic Composting Program Implementation*. Leiria.
- Silveira, F. (2016) *Avaliação ambiental do sistema de gestão de Inácio Silveira resíduos no município de Estarreja*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Sociedade Ponto Verde (2014) *Caracterização dos Sistemas Municipais Aderentes ao Sistema Ponto Verde 2014*.
- Vaz, A. S. et al. (2018) *Persu 2020+ (Documento para discussão pública)*.

ANEXO I – RARU 2016 – Dados de Resíduos Urbanos do ano 2016

(Fonte: Formulários do Mapa de Registo de Resíduos Urbanos disponibilizados através da Plataforma SILiAmb) (APA, 2017a).

Designação	unidade	Algar	Amaral	Ambitl	Ambisousa	Amcal	Braval	PI. Beirão	Ecoleziria	ERSUC	Gesamb	Lipor	Resialentejo	Resiestrela	Resitejo	Resulima	Res. Nordeste	Suldouro	Tratolixo	Valnor	Valoris	Valorminho	Valorsul	RESINORTE	Açores	Madeira	Total Portugal
Quantidade de total de resíduos produzidos/recebidos	kton	374	416	63	132	13	118	133	56	389	80	501	54	74	139	133	57	188	415	122	118	37	777	352	0	125	4 863
Quantidade de RU produzidos/recebidos	kton	369	409	63	132	13	112	127	56	389	80	493	54	74	93	132	57	188	414	116	118	37	765	352	132	119	4 891
Recolha Indiferenciada	kton	265	377	57	123	10	88	114	52	341	67	391	50	66	74	117	52	169	300	101	107	33	627	310		92	3 983
Recolha Diferenciada	kton	85	29	5	9	2	21	10	4	42	13	96	4	8	10	14	4	17	113	14	11	3	101	43		25	681
Entradas de RU de Particulares/Grandes Produtores	kton	19	3	0,14	0,03	0,55	3	3		5	0,46	7	0,52	0,28	9	0,83	0,33	0,95	1	1	0,14	0,55	36			2	95
Entradas de RNU de Particulares/Grandes Produtores	kton	5	7				6	6				8	0,02		46	0,58	0,01	0,84	0,95	6			12	0,16		6	104
Quantidade total de resíduos depositados em aterro	kton	306	348	46	123	6	75	116	0	209	46	33	29	52	94	121	30	151	0	54	110	34	159	295	69	33	2 539
Resíduos Urbanos recolhidos municipais	kton	222	231	25	123	3	38	15		9	12	5	13	7	0	119	0,86	82		17	50	33	141	162	65	2	1 371
RU (particulares/grandes produtores)	kton	14	3		0,03	0,32	3	2		0,11	0,10		0,19		0,98	0,83	0,33	0,95		0,09	0,02	0,40	0,10			0,05	27
RU recebido de outro SGRU	kton														0,98												0,98
RNU	kton	5	7				6	6					0,01		29	0,58	0,01	0,84		4			4	0,16		3	65

Avaliação do Ciclo de Vida aplicado à Gestão de Resíduos Urbanos

Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	kton	65	108	21	0,18	3	29	93		200	34	28	16	46	64	0,62	29	68		34	59	0,12	14	133	4	28	1 076	
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de TMB	kton	21	84	33	0	0	55	0	0	349	80	0	0	61	0	0	52	90	160	81	83	0	0	153	12	0	1 313	
Resíduos Urbanos recolhidos municipais	kton	17	76	33			55			344	57			61			52	90	150	79	57			148	12		1 230	
RUB e Verdes de recolhidos municipais	kton		4	0,07							5								1								10	
RU (particulares/grandes produtores)	kton	0,16	0,14							5	0,37			0,28					1	0,07	0,12						7	
RU recebido de outro SGRU	kton										17										26						43	
RNU	kton																		0,95	2							3	
Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	kton	3	5																7					4			19	
Quantidade total de RUB entrados em unidades de valorização orgânica provenientes de recolhida seletiva	kton	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	11	0	114
RUB e Verdes de recolhidos municipais	Kton	10										37												29		11	86	
RU (particulares/grandes produtores)	kton	5										5												5			15	
RUB recebido de outro SGRU	kton											0,90															0,90	
RNU	kton											5												7			12	
Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	kton																											

Quantidade total de resíduos que deram entrada em centrais de incineração	kton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	664	0	20	108	1 199
Resíduos Urbanos recolhidos municipais	kton											391												461		20	103	974	
RU (particulares/grandes produtores)	kton											0,58												30			1	32	
RU recebido de outro SGRU	kton																							109				109	
RNU	kton											3												0,52			3	7	
Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	kton											11												63		0,60	0,98	76	
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de TM	kton	64	77	0	0	0	0	100	0	0	0	0	27	0	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	430
Resíduos Urbanos recolhidos municipais	kton	64	71					100					27		75										8				345
RU (particulares/grandes produtores)	kton		0,13												7														7
RU recebido de outro SGRU	kton														51,7														51,7
RNU	kton														17														17
Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	kton		6												4														9
Quantidade total de resíduos que deram entrada em unidades de triagem	kton	27	22	5	5	1	10	11	0	17	5	10	4	4	14	6	2	8	13	17	6	1	48	16	22	4	276		
Resíduos Urbanos recolhidos municipais	kton	27	16	5	5	0,77	9	4		16	5	9	3	4	5	6	2	8	13	11	6	1	47	16	20	4	244		

Avaliação do Ciclo de Vida aplicado à Gestão de Resíduos Urbanos

RU (particulares/grandes produtores)	kton		0,19			0,23	0,12	0,25		0,32		0,51	0,30		1					0,49		0,02	0,35			0,33	4
RNU	kton														0,04												0,04
RU recebido de outro SGRU	kton														8												8
Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	kton		6				0,22	7				0,01			0,09					5			0,02		2		20
Quantidade total de resíduos que deram entrada em plataformas de recicláveis	kton	11	9	0,43	4	9	7	5	56	15	0,36	45	10	2	4	7	1	7	250	8	4	2	52	18	0	8	535
Resíduos Urbanos recolhidos municipais	kton	11	9	0,28	4	9	7	5	56	15	0,36	44	10	2	3	7	1	7	250	7	4	2	51	18		8	531
RU (particulares/grandes produtores)	ton		150	140	2	1	30	139		47		198	28		208				2	775		138	194				2 051
RNU	ton						26						8		50					209			3	0			297
RU recebido de outro SGRU	ton														403					10							412
Rejeitados/Refugos/ outros resíduos resultantes recebidos	ton			12			425	91				53			355				20								955
Quantidade total de resíduos resultantes do processo de incineração que são retomados para reciclagem	kton											5											9			0,42	15
Quantidade total de resíduos recuperados para reciclagem	kton	5	3	0,10			0,85	5		9	1		1	1	22		3	2	3	2	3			3			66

Quantidade total de resíduos provenientes da recolha multimaterial	kton	36	24	5	8	1	13	8	4	30	5	50	4	5	9	11	3	15	29	12	11	3	70	33	20	10	419
Quantidade total de composto produzido a partir de Valorização Orgânica Seletiva	kton	4										11											1				15
Quantidade total de composto produzido a partir de TMB	kton	1	7	0,54						10				0,68			2	1	12	4	0,79			4			44
Quantidade total de material para CDR encaminhado para produção de CDR	kton		21	0,05						0,42																	22
Quantidade total de CDR produzido	kton									0,31																	0,31
Quantidade de vidro retornado para reciclagem	kton	15	9	2	4	0,40	7	3	1	14	2	18	1	2	2	6	1	7	10	3	4	1	24	16	4	6	163
Quantidade de papel/cartão retornado para reciclagem (inclui ECAL)	kton	12	10	2	3	0,47	4	3	0,93	9	2	20	1	2	3	4	0,97	5	11	5	4	0,92	31	10	7	4	157
Quantidade de plástico/metálico retornado para reciclagem	kton	6	4	0,62	1	0,39	2	1	0,44	6	0,75	7	0,68	0,89	3	1	0,47	3	5	4	2	0,33	13	6	8	1	78
Quantidade de madeira retornado para reciclagem	kton	3	0,43	0,15	0,03	0,01		0,19		0,19	0,30	8	0,22	0,24	0,35		0,14	0,73	0,10		0,15	0,16	1	1	0,42		17

ANEXO II - Tabela de indicadores impacto de ciclo de vida (LCIA)

Nome comum	category11	name15	unit17	IPCC 2013 (GWP 100a)	Ecological footprint (land occupation)	ReCiPe endpoint (EA) CC,ecosystems
				(kg CO ₂ _eq/unit)	(m ² .a/unit)	(points/unit)
Waste treatment						
Sorting Plastic	waste management	disposal, building, plastic plaster, to sorting plant	kg	0,013089	0,0084008	0,00028786
Sorting paper	paper & cardboard	Waste paper sorting plant	units	0,020758	0,00093318	0,00047675
Resíduos Papel	paper & cardboard	Waste paper, sorted, for further treatment	kg	0,053994	0,0031653	0,0013177
Produção de vidro de embalagem	glass	glass cullets, sorted, at sorting plant	kg	0,010339	0,001561	0,00022513
reciclagem de vidro de embalagem	waste management	treatment of waste packaging glass from unsorted public collection	kg	0,0063396	0,0010665	0,00013013
Domestic composting (IPPC)	Biological treatment of solid waste	home composting/backyard composting	kg	0,074749	0,002781427	0,000645875
Domestic composting		home composting	kg	0,021050409	0,000790597	0,00017333
Composting	agricultural means of production	compost, at plant	kg	0,21568	0,0080255	0,0018636
Composting	Treatment and disposal of non-hazardous waste	treatment of biowaste, composting	kg	0,21050409	0,007905967	0,001733303
Anaerobic Digestion	biomass	treatment of manure and biowaste by anaerobic digestion	kg	0,30676	0,10443	0,0031328
Anaerobic Digestion	biomass	market for anaerobic digestion plant, for biowaste	unit	1219100	262710	30090
Biogas electricity	biomass	heat and power co-generation, biogas, gas engine,	kWh	0,42233	0,10051	0,0046196
Electricidade verde	electricity	Heat biogas	kWh	0,4367	0,068259	0,0052091
Incineration plastic	waste management	treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration	kg	2,3474	0,003712	0,063707

Incineration	waste management	process-specific burdens, municipal waste incineration	kg	0,0025201	5,55E-005	6,23E-05
Incineration graphical	waste management	treatment of waste graphical paper, municipal incineration	kg	0,020107	0,0015544	0,00045127
Incineration ash	waste management	treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration with fly ash extraction,	kg	2,3691	0,0023387	0,064134
Incineration paperboard	waste management	treatment of waste paperboard, municipal incineration	kg	0,023793	0,0017523	0,00055479
Incineration MSW	waste management	treatment of municipal solid waste, incineration, PT,	kg	0,52167	0,0033731	0,014004
Incineration Mx plastics	waste management	treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration,	kg	2,3474	0,003712	0,063707
Incineration pack paper	waste management	treatment of waste packaging paper, municipal incineration with fly ash Extraction	kg	0,0049332	0,00024956	0,00010434
Landfill MSW	waste management	treatment of municipal solid waste, sanitary landfill,	kg	0,63232	0,0090597	0,0033481
Landfill Plastic	waste management	treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill,	kg	0,097178	0,0087978	0,0011681
Landfill Inertes	waste management	treatment of inert waste, sanitary landfill,	kg	0,00834	0,0087758	0,00021397
Landfill paper	waste management	treatment of waste paperboard, sanitary landfill	kg	1,5635	0,010533	0,0077184
Águas residuais, tratamento	wastewater	Treatment of wastewater, average, capacity 1E9L/year	m3	0,50916	0,094895	0,012276
Efluentes gasosos, tratamento		Efluentes gasosos tratamento (ver)	ton			
Base technology resources						
Electricity	electricity	market for electricity, low voltage	kWh	0,55767	0,19504	0,014053
Electricity	electricity	market for electricity, medium voltage	kWh	0,50718	0,12956	0,012792
Transport	transport systems	transport, lorry 7.5-16t, EURO4	tkm	0,21845	0,02486	0,005754
Transport	transport systems	market for transport, freight, light commercial vehicle	tkm	1,996	0,17898	0,051265
Transport	waste management	market for municipal waste collection service by 21 metric ton lorry	tkm	1,3088	0,022544	0,034572

Transport	transport systems	market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5	tkm	0,091279	0,021645	0,0024024
transporte	transport systems	market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5	tkm	0,21848	0,024709	0,005739
transporte	transport systems	market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5	tkm	0,52512	0,048897	0,013696
transporte	transport systems	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5	tkm	0,16882	0,022538	0,0044412
Oil	oil	market for diesel	kg	0,55666	0,027438	0,013797
Oil	oil	light fuel oil, at refinery	kg	0,38317	0,013717	0,0093265
Oil	oil	light fuel oil, at refinery	kg	0,52303	0,017598	0,012941
diesel queimado - máquinas de construção	diesel	diesel, burned in building machinery	MJ	0,094002	0,00086699	0,0024708
Water supply	water supply	tap water, at user	kg			
água da torneira	water supply	market for tap water	kg	0,0007107	5,55E-005	1,77E-05
água da torneira	water supply	tap water, at user	kg	0,00057293	8,28E-005	1,42E-05
Technological resources (goods)						
Plástico (PET)	plastics	polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	kg	3,2747	0,28803	0,079325
soda	chemicals	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	kg	1,0975	1,0973	1,0966
Plástico (PEHD)	plastics	polyethylene production, high density, granulate	kg	2,0469	0,00079614	0,045763
Conformação de plástico		Conformação de plástico	kg	3		
Metals	metals	sheet rolling, steel	kg	0,41126	0,036445	0,010007
Metals	metals	steel, low-alloyed, at plant	kg	1,8269	0,13513	0,04347
aluminio	metals	sheet rolling, aluminium	kg	0,74625	0,048954	0,018691
aluminio	metals	aluminium product manufacturing, average metal working	kg	5,0758	0,38279	0,1259

ANEXO III – Resíduos urbanos geridos pelos diferentes sistemas municipais em Portugal.

		unidade	Algar	Amarsul	Ambital	Ambisousa	Amcal	Braval	Pl. Beirão	Ecoleziria	ERSUC	Gesamb	Lipor	Resialentejo	Resiestrela	Resitejo	Resulima	Res. Nordeste	Suldouro	Tratolixo	Valnor	Valorlis	Valorminho	Valorsul	RESINORTE	Açores	Madeira	Total Portugal	
Entrada	3F	Resíduos Embalagens	ton	7912	6357	1082	1639	362	2470	1638	522	14604	1117	11089	825	1101	2891	2335	790	3679	7965	3012	2554	475	18855	6366	17253	375	117268
		Encaminhado p/ Reciclagem	ton	5642	4298	615	1207	394	1968	1080	442	6568	746	7033	676	889	3381	1363	465	2846	4701	3720	2114	332	12847	5073	8382	1349	78131
		Resíduos Papel e Cartão	ton	11957	9386	2087	3102	480	6638	2602	948	9170	2270	15347	1471	2498	2353	3598	963	4457	12614	4969	3748	940	28953	9865	14487	858	155761
		Encaminhado p/ Reciclagem	ton	12267	10014	1897	2619	465	3981	2962	931	8451	2416	20347	1440	2439	3110	3744	969	4778	5634	5068	4299	921	31351	10220	6924	1538	148785
		Resíduos Vidro	ton	14669	8592	1797	3707	448	6329	3177	1132	14487	1800	18436	1092	1861	2126	5645	699	6518	10356	3316	4006	1479	24037	15977	9351	916	161953
		Encaminhamento p/ Reciclagem	ton	14706	8772	1770	3744	401	6806	3347	1116	14249	1829	18298	1430	1796	2257	5778	1234	6530	10237	3360	4016	1444	24029	16013	3946	2372	159480
		Resíduos Madeira	ton	1896	420	10	31	9	514	163	1114	822	9545	170	289	519	0	217	924	242	242	147	4	935	1030	1936	0	21181	
		Encaminhado p/ Reciclagem	ton	2517	434	151	31	5	193	0	190	298	8091	223	240	351	0	142	729	96	0	147	164	1105	1037	415	0	16559	
Capacidade		TM	ton	25797	105046	40827	0	7567	68875	130000	51210	380000	113000	0	9748	76134	306600	0	55000	112030	182500	100781	104083	0	25962	180000	15145	50000	2020022
		Fração p/ VM		0,21	0,03	-	-	-	0,01	0,04	-	0,02	0,01	-	-	0,01	0,07	-	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	-	-	0,02	0,39	-	0,04
		VM	ton	5380	3173	103	0	0	854	5390	0	9312	1304	0	0	1027	22010	0	3306	1858	3154	1801	3122	0	0	3182	5915	0	70891
		CDR	ton	0	0	0	0	0	0	0	0	309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	309
		Fração p/ TB		0,40	0,40	0,40	-	-	0,40	0,40	-	0,40	0,40	-	-	0,26	0,40	-	0,40	0,40	0,00	0,40	0,48	-	-	0,40	0,40	-	0,37
		TB	ton	10319	42018	16331	0	3027	27550	52000	0	152000	45200	0	0	19490	122640	0	22000	44812	0	40313	50000	0	0	72000	6058	20000	745758
		Refugos	ton	47278	24736	17103	661	6332	29846	45391	53338	196460	18131	46566	37111	42592	7756	2064	28087	1458	304148	47558	4132	227	10737	74980	17384	26890	1090964
		VO (Compostagem, Digestão Anaeróbia)	ton	35000	0	0	53	0	0	171	0	0	0	60000	0	0	0	972	0	0	0	0	0	0	60000	0	13 629	0	120000
		Aterro direto	ton	240572	263982	24664	122901	2251	46702	22380	0	1588	10009	4771	12985	5309	29496	118888	360	82469	12466	19801	50300	33878	145261	162016	69 051	2 770	1484870
		Incineração direta	ton	0	0	0	465	0	0	0	0	0	0	389372	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	491477	6801	0	70 080	958195
	População	hab	441699	782246	111082	333860	24184	287278	334924	124241	926772	145628	956359	90242	189228	200340	313141	134021	439579	849924	252919	301942	74039	1586020	924435	245283	254876	10324262	
	Total de Resíduos Produzidos	ton	373 680	415 673	62 634	131 681	12 875	117 707	132 914	55 827	388 818	79 933	500 855	53 865	73 782	138 926	132 809	56 563	188 480	415 436	121 621	118 130	36 966	776 807	352 322	131 704	124 999	4 995 005	
	Capitação/hab	kg/hab	846,01	531,38	563,85	394,42	532,37	409,73	396,85	449,34	419,54	548,89	523,71	596,90	389,91	693,45	424,12	422,05	428,77	488,79	480,87	391,23	499,27	489,78	381,12	536,95	490,43	483,81	