



MADALENA MONTEIRO NUNES

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

UMA METODOLOGIA DE RECOLHA SELETIVA DE RESÍDUOS URBANOS

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2021

UMA METODOLOGIA DE RECOLHA SELETIVA DE RESÍDUOS URBANOS

MADALENA MONTEIRO NUNES

Licenciada em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Doutora Ana Paula Ferreira Barroso, Professora
Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera, Profes-
sora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Uni-
versidade NOVA de Lisboa

Vogais: Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado,
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade NOVA de Lisboa

Mestre Maria Inês Godinho Passos Baeta Neves Canto
Brum, responsável pela Inovação, Desenvolvimento, Estra-
tégia e Desempenho da Valorsul

Doutora Ana Paula Ferreira Barroso, Professora Auxiliar da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA
de Lisboa

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2021

Uma metodologia de recolha seletiva de resíduos urbanos

Copyright © Madalena Monteiro Nunes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é resultado de todo o apoio de quem me acompanhou durante este último ano e durante todo o meu percurso acadêmico.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, Professora Ana Paula Barroso, pela disponibilidade, orientação e supervisão da presente dissertação.

Agradeço à Valorsul por me ter permitido a realização de um estágio para o desenvolvimento deste projeto. Um especial obrigado à Inês Baeta Neves e Isabel Ribeiro. À Inês por me ter recebido na empresa, sempre com enorme simpatia, e por me ter ajudado na escolha de um tema para esta dissertação. À Isabel um especial obrigado por todo o acompanhamento e disponibilidade, tendo apoiado o meu estágio do início ao fim e por me ter fornecido um conjunto de informações pertinentes para a realização deste estudo.

Agradeço também a todos os meus amigos e colegas que me acompanharam nestes últimos 5 anos, pelo espírito de entreajuda e amizade. Um especial obrigado às minhas amigas, Marta, Ângela e Adriana, que me acompanham desde os 10 anos, pela amizade e palavras de incentivo nesta última etapa do meu percurso acadêmico.

Finalmente um obrigado a toda a minha família por me terem apoiado nestes últimos anos, ao meu pai Mário, à minha mãe Cristina, ao meu irmão João, à minha madrinha "Carlinhas" e à minha prima Margarida. Sem eles nada disto seria possível.

Obrigada a todos.

RESUMO

A gestão de resíduos urbanos engloba um conjunto de processos fundamentais à saúde pública dos cidadãos e à preservação do ambiente. A recolha de resíduos é uma etapa da gestão de resíduos que ao longo dos anos se tem tornado cada vez mais relevante para o desenvolvimento sustentável, uma vez que, devido à recolha seletiva por fluxos de resíduos, nomeadamente resíduos de embalagens, contribui ativamente para o sucesso da implementação da economia circular, conceito que envolve as ações de redução, reutilização e reciclagem.

Na região de Lisboa, área cuja responsabilidade da gestão de resíduos é da empresa Valorsul, verificam-se, em vários municípios, reduzidas quantidades de resíduos de recolha seletiva por habitante. Existem cidades que começaram a implementar sistemas alternativos ao sistema de recolha na via pública, por ecopontos, o mais utilizado em Portugal, como o sistema de recolha porta a porta, com o intuito de aumentar os resíduos recolhidos por recolha seletiva e atingir as ambiciosas metas definidas pela União Europeia. Este sistema, no entanto, acarreta maiores custos operacionais e aumenta as emissões de dióxido de carbono para a atmosfera.

Neste sentido, um dos objetivos da presente dissertação é demonstrar que é possível atingir elevadas quantidades de resíduos recolhidos por recolha seletiva através do sistema de recolha por ecopontos. Para tal, foi estudada uma metodologia de recolha seletiva aplicada num projeto-piloto em Alfragide no início de 2020 e foram identificados os fatores que contribuíram para o sucesso do projeto (aumento da captação de recolha seletiva de 29 Kg/(hab.ano) para 52 Kg/(hab.ano)). Um segundo objetivo foi o de sistematizar a metodologia de modo a ser facilmente replicada noutras áreas. A aplicação das primeiras etapas da metodologia, nomeadamente a escolha e caracterização da área piloto, localização de contentores e definição de rotas de recolha, foi demonstrada noutra freguesia.

Concluiu-se que um sistema eficaz de recolha de resíduos deve não só facilitar o processo de separação e deposição de resíduos, através da correta afetação de contentores, mas também informar os habitantes das práticas corretas e do sistema implementado. Considera-se que os principais fatores que contribuíram para o sucesso do projeto em Alfragide foram a conjugação entre o plano de comunicação e a colocação de ecopontos junto de contentores indiferenciados, proporcionando um serviço de igual qualidade para os vários fluxos. Adicionalmente verificou-se que a identificação das tendências de produção em várias zonas da área em estudo, como zonas comerciais, de serviço, ou de elevada densidade populacional, é fundamental na altura da localização dos ecopontos, assim como estudar a volumetria a ser aplicada em cada local.

Palavras chave: Economia circular, Gestão de resíduos urbanos, Recolha seletiva de resíduos, Resíduos de embalagens, Metodologia, Localização de ecopontos

ABSTRACT

Municipal waste management encompasses a set of fundamental processes to protect human health and to preserve the environment. Waste collection is a stage of waste management that, over the years, has become increasingly more relevant for sustainable development. Because of selective collection by waste stream, namely packaging waste, waste collection actively contributes to the successful implementation of a circular economy, which involves reduction, reuse and recycling actions.

In the Lisbon region, an area where Valorsul handles waste management, several municipalities collect small amounts of selective waste per inhabitant. Some cities have implemented alternative systems to the collective street collection system (ecopoints), the most widely used in Portugal, such as the door-to-door collection system, to increase the amount of waste collected by selective collection and meet the ambitious targets set by the European Union. This system, however, carries higher operational costs and increases carbon dioxide emissions into the atmosphere.

This dissertation aims to show that it is possible to achieve high amounts of waste collected by separate collection through the ecopoints collection system. With this aim, a selective collection methodology applied in a pilot project in Alfragide in early 2020 was studied and the factors that contributed to its success were identified (an increase of the selective collection capitation from 29 Kg/(inhab.year) to 52 Kg/(inhab.year)). A second aim was to systematize the methodology so that it could be easily replicated in other areas. The application of the first steps of the methodology, namely the choice and characterization of the pilot area, location of containers and definition of collection routes, was shown in another area.

This study concludes that an effective waste collection system should not only facilitate the process of waste separation and disposal, through the correct allocation of containers, but it should also inform the inhabitants of the correct practices and the system implemented. The key factors that contributed to the success of the project in Alfragide were the combination of the communication plan and placing ecopoints next to mixed waste containers, providing an equal quality service for the various flows. Additionally, this study concludes that the analysis of production trends of the study area, such as commercial, service, or high population density zones, is essential when identifying the location of ecopoints, as well as studying the volumetry to be applied in each location.

Keywords: Circular economy, Municipal waste management, Selective waste collection, Packaging waste, Methodology, Ecopoints location

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2	PROBLEMA E OBJETIVOS.....	2
1.3	METODOLOGIA	2
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2	GESTÃO E RECOLHA DE RESÍDUOS	5
2.1	ECONOMIA CIRCULAR	5
2.2	LOGÍSTICA INVERSA.....	6
2.3	RESÍDUOS	7
2.3.1	<i>Hierarquia de gestão de resíduos</i>	<i>7</i>
2.3.2	<i>Resíduos urbanos.....</i>	<i>8</i>
2.4	GESTÃO DE RESÍDUOS	8
2.5	CONTEXTO LEGISLATIVO	9
2.5.1	<i>Enquadramento europeu.....</i>	<i>9</i>
2.5.2	<i>Enquadramento nacional.....</i>	<i>11</i>
2.5.3	<i>Metas estabelecidas para os resíduos de embalagens</i>	<i>11</i>
2.5.4	<i>Resíduos de embalagens em Portugal</i>	<i>13</i>
2.6	RECOLHA SELETIVA DE RESÍDUOS.....	13
2.6.1	<i>Objetivos da recolha de resíduos.....</i>	<i>13</i>
2.6.2	<i>Fases da recolha de resíduos.....</i>	<i>14</i>
2.6.3	<i>Fatores que influenciam a separação de resíduos</i>	<i>16</i>
2.7	MODELOS E FERRAMENTAS NA RECOLHA DE RESÍDUOS	17
2.7.1	<i>Sistemas de informação geográfica.....</i>	<i>18</i>
2.7.2	<i>Problemas de localização dos pontos de recolha na pré-recolha</i>	<i>18</i>
2.7.3	<i>Problemas de rotas de veículos na recolha</i>	<i>19</i>
2.8	ESTUDOS FEITOS NA LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DOS PONTOS DE RECOLHA	21
2.9	ESTUDOS FEITOS COM RECURSO A UMA METODOLOGIA DE PRÉ-RECOLHA DE RESÍDUOS	23
2.10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
3	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	27
3.1	A VALORSUL.....	27
3.1.1	<i>Volume de negócios e atividade operacional</i>	<i>29</i>
3.2	EVOLUÇÃO E CUMPRIMENTO DE METAS PERSU	30
3.2.1	<i>Meta de retoma com origem em recolha seletiva.....</i>	<i>30</i>
3.2.2	<i>Resultados do indicador relativo a retomas de recolha seletiva.....</i>	<i>30</i>
3.3	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E UTILIZAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS	31
3.4	RECOLHA SELETIVA NA REGIÃO DE LISBOA	31
3.4.1	<i>Tipologia de contentorização.....</i>	<i>32</i>
3.5	PROJETO – PILOTO DE RECOLHA SELETIVA EM ALFRAGIDE	34
3.5.1	<i>Objetivos do projeto.....</i>	<i>34</i>
3.5.2	<i>Escolha e caracterização da área-piloto</i>	<i>34</i>
3.5.3	<i>Plano de Comunicação.....</i>	<i>35</i>
3.6	RESULTADOS DO PROJETO DE RECOLHA SELETIVA EM ALFRAGIDE	37

3.6.1	<i>Resultados no concelho da Amadora.....</i>	38
3.6.2	<i>Resultados na freguesia de Alfragide.....</i>	39
3.6.3	<i>Recolha e enchimento de contentores em Alfragide</i>	40
3.7	ANÁLISE DOS NOVOS PONTOS DE RECOLHA CRIADOS.....	42
3.7.1	<i>Locais com maiores e menores quantidades recolhidas</i>	42
3.7.2	<i>Critério para localização dos novos pontos de recolha</i>	43
3.8	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO NOUTRA FREGUESIA	44
3.8.1	<i>Características populacionais e produção de resíduos.....</i>	44
3.8.2	<i>Equipamentos de deposição de resíduos na freguesia a estudar</i>	45
3.8.3	<i>Quantidades recolhidas na freguesia a estudar.....</i>	47
3.8.4	<i>Circuitos e rotas.....</i>	47
3.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
4	PROPOSTA DE METODOLOGIA DE RECOLHA SELETIVA E A SUA APLICAÇÃO .49	
4.1	PROJETO-PILOTO DE RECOLHA SELETIVA	49
4.2	OBJETIVO E INICIATIVAS DO PROJETO-PILOTO DE RECOLHA SELETIVA.....	50
4.3	FASES DO PROJETO	50
4.3.1	<i>Estudo, caracterização e escolha da área-piloto.....</i>	52
4.3.2	<i>Definição e localização de contentorização adicional</i>	55
4.4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE RECOLHA SELETIVA.....	57
4.4.1	<i>Estudo, caracterização e escolha da área-piloto.....</i>	57
4.4.1.1	<i>Escolha da área-piloto.....</i>	57
4.4.1.2	<i>Previsão de quantidades a recolher na área-piloto</i>	58
4.4.2	<i>Definição e localização da contentorização adicional</i>	58
4.4.3	<i>Simulação de circuitos e rotas.....</i>	59
4.4.3.1	<i>Sistema de informação geográfica ArcGis</i>	59
4.4.3.2	<i>Resultados</i>	60
4.5	SUGESTÕES DE MELHORIA.....	61
4.5.1	<i>Locais com grandes quantidades de resíduos recolhidos</i>	61
4.5.2	<i>Locais com reduzidas quantidades de resíduos recolhidos</i>	63
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	67
5.1	CONCLUSÕES	67
5.2	LIMITAÇÕES	68
5.3	TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
	GLOSSÁRIO.....	77
	ANEXO A - CRONOGRAMA DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	79
	ANEXO B - SIMULAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO DO FICHEIRO EXCEL A LOURES E ODIVELAS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - METODOLOGIA DE TRABALHO	3
FIGURA 2.1 - ESTRUTURA DO CAPÍTULO 2.....	5
FIGURA 2.2 - CADEIA DE ABASTECIMENTO ALARGADA.....	6
FIGURA 2.3 - HIERARQUIA DE GESTÃO DE RESÍDUOS DE ACORDO COM A DIRETIVA QUADRO DOS RESÍDUOS (2008/98/EC).....	8
FIGURA 2.4 - FUNÇÕES DA GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS.....	9
FIGURA 2.5 - PRINCIPAIS LEIS E DIRETIVAS SOBRE AMBIENTE E RESÍDUOS URBANOS DESDE 1970 ATÉ 2020 ..	10
FIGURA 2.6 - TAXAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS NA EUROPA POR PAÍS EM 2018.	12
FIGURA 2.7- METODOLOGIA DO SISTEMA DE PRÉ-RECOLHA	24
FIGURA 3.1 - ESTRUTURA DO CAPÍTULO 3.....	27
FIGURA 3.2 - 11 CONCESSIONÁRIOS DO GRUPO EGF	28
FIGURA 3.3 - ÁREA DE INTERVENÇÃO E INSTALAÇÕES	28
FIGURA 3.4 - ATIVIDADE DA VALORSUL	29
FIGURA 3.5 - CAPITAÇÃO DE RECOLHA SELETIVA EM 2019 NOS MUNICÍPIOS DA ZONA DE LISBOA, A NEGRITO SUBLINHADO, E DO OESTE.....	32
FIGURA 3.6 - RECIPIENTES USADOS PELA VALORSUL NA RECOLHA NA VIA PÚBLICA: (A) TIPO 2 - 1100L, (B) TIPO 3 - 3200L, (C) TIPO 4 - 2500L, (D) TIPO 5 - 5000L, (D) TIPO 6 - 3000L.....	33
FIGURA 3.7 - LOCAIS ÓTIMOS PARA COLOCAÇÃO DE NOVOS ECOPONTOS, LOCAIS COM CONTENTORES INDIFERENCIADOS E ECOPONTOS EXISTENTES EM 2019 EM ALFRAGIDE NORTE.....	36
FIGURA 3.8 - LOCAIS ÓTIMOS PARA COLOCAÇÃO DE NOVOS ECOPONTOS, LOCAIS COM CONTENTORES INDIFERENCIADOS E ECOPONTOS EXISTENTES EM 2019 EM ALFRAGIDE SUL.....	36
FIGURA 3.9 - OUTDOOR COLOCADO NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE PARA DAR A CONHECER À POPULAÇÃO O PROJETO.....	37
FIGURA 3.10 - TAXA DE DESVIO TRIFUXO E TOTAL DE RESÍDUOS URBANOS DO CONCELHO DA AMADORA ..	38
FIGURA 3.11 - EVOLUÇÃO DAS QUANTIDADES RECOLHIDAS DE PLÁSTICO/METAL E PAPEL/CARTÃO NOS ANOS DE 2019 E 2020 NO CONCELHO DA AMADORA.....	39
FIGURA 3.12 - QUANTIDADES DE RECOLHA SELETIVA TRIFLUXO NOS ANOS DE 2019 E 2020 NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE	39
FIGURA 3.13 - QUANTIDADES RECOLHIDAS ENTRE OS MESES DE MARÇO E DEZEMBRO DO ANO DE 2020 NOS 10 PONTOS DE RECOLHA COM MAIOR E MENOR QUANTIDADE DE RESÍDUOS RECOLHIDOS	41
FIGURA 3.14 - COMPARAÇÃO DA TAXA MÉDIA DE ENCHIMENTO MENSAL ENTRE MARÇO E DEZEMBRO DE 2020 COM (A) NÚMERO DE RECOLHAS COM E SEM TRANSFERÊNCIA E (B) QUANTIDADES RECOLHIDAS DOS FLUXOS DE VIDRO, PLÁSTICO/METAL E PAPEL/CARTÃO NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE	41
FIGURA 3.15 - COMPARAÇÃO DA TAXA MÉDIA DE RECOLHA COM TRANSBORDO ENTRE MARÇO E DEZEMBRO DE 2020 COM AS QUANTIDADES RECOLHIDAS DOS FLUXOS DE VIDRO, PLÁSTICO/METAL E PAPEL/CARTÃO NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE	42

FIGURA 3.16 - LOCALIZAÇÃO DOS ECOPONTOS NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE (SEQUÊNCIA NUMÉRICA ORDENADA DO PONTO COM CRITÉRIO DE MAIORES QUANTIDADES DE RESÍDUOS RECOLHIDOS ENTRE MARÇO E DEZEMBRO DE 2020), COM DESTAQUE PARA A ÁREA ONDE SÃO RECOLHIDAS MAIORES QUANTIDADES.....	43
FIGURA 3.17 - LOCALIZAÇÃO DOS ECOPONTOS NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE (SEQUÊNCIA NUMÉRICA ORDENADA DO PONTO COM CRITÉRIO DE MAIORES QUANTIDADES DE RESÍDUOS RECOLHIDOS ENTRE MARÇO E DEZEMBRO DE 2020), COM DESTAQUE PARA A ÁREA ONDE SÃO RECOLHIDAS MENORES QUANTIDADES.....	43
FIGURA 3.18 - QUANTIDADES RECOLHIDAS POR RECOLHA SELETIVA EM FUNÇÃO DA CAPACIDADE DE INDIFERENCIADOS NO PONTO DE RECOLHA	44
FIGURA 3.19 - TAXA DE DESVIO TRIFUXO E TOTAL DE RESÍDUOS URBANOS DOS CONCELHOS DE LOURES E ODIVELAS.....	45
FIGURA 3.20 - MAPA DOS ECOPONTOS E RESPECTIVA CAPACIDADE NOS MUNICÍPIOS DE LOURES E ODIVELAS.	46
FIGURA 4.1 - ESTRUTURA DO CAPÍTULO 4.....	49
FIGURA 4.2 - ESTRUTURA DA METODOLOGIA DO PROJETO-PILOTO A APLICAR NUMA FREGUESIA DA ÁREA DE LISBOA	51
FIGURA 4.3 - FOLHA INTRODUTÓRIA DO FICHEIRO EXCEL	54
FIGURA 4.4 - INTRODUÇÃO DE INFORMAÇÕES NO FICHEIRO EXCEL	54
FIGURA 4.5 - TABELA DE ESTUDO DOS MUNICÍPIOS E FREGUESIAS DO FICHEIRO EXCEL	54
FIGURA 4.6 - TABELA DE ESTUDO DAS QUANTIDADES INCREMENTAIS DO FICHEIRO EXCEL	55
FIGURA 4.7 - TABELA DE ESTUDO DA CONTENTORIZAÇÃO DAS FREGUESIAS.....	55
FIGURA 4.8 - MÉTODO PARA LOCALIZAÇÃO DOS ECOPONTOS COM RECURSO AO SIG: (1) DESENHO DE CIRCUNFERÊNCIAS DE 25 METROS COM ORIGEM NOS ECOPONTOS EXISTENTES; (2) IDENTIFICAÇÃO DOS CONTENTORES DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS QUE FICAM FORA DAS CIRCUNFERÊNCIAS CRIADAS - LOCAIS ÓTIMOS E (3) CLASSIFICAÇÃO DOS LOCAIS ÓTIMOS EM PRIORIDADE A E PRIORIDADE B.....	56
FIGURA 4.9 - LOCALIZAÇÃO DOS LOCAIS ÓTIMOS NA FREGUESIA DE ODIVELAS.....	59
FIGURA 4.10 - ROTAS DEVOLVIDAS PELO SOFTWARE ARCGIS COM A FERRAMENTA "PLANEAR ROTAS" NA FREGUESIA DE ODIVELAS.....	61
FIGURA 4.11 - ÁREA DE SERVIÇO (RAIO DE 75 METROS) DOS ECOPONTOS DA FREGUESIA DE ALFRAGIDE	64

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - METAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS DA UE: ATUAIS, 2025 E 2030	12
TABELA 2.2 - TAXAS DE PREPARAÇÃO PARA REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS ALCANÇADAS E RESPECTIVAS METAS DE 2020 E PÓS 2020, EM PORTUGAL.....	13
TABELA 2.3 - TIPOLOGIAS DE PROBLEMAS NODE-ROUTING E ARC-ROUTING	20
TABELA 2.4 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS DIFERENTES SOLUÇÕES ESTUDADAS PARA LOCALIZAÇÃO DE PONTOS E CONTENTORES DE RECOLHA	23
TABELA 2.5 - COMPARAÇÃO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DAS METODOLOGIAS DE GALLARDO ET AL. (2015) E CAVALLIN ET AL. (2020)	25
TABELA 3.1 - META DE RETOMA COM ORIGEM EM RECOLHA SELETIVA NO SISTEMA VALORSUL PARA O PERÍODO 2014 -2020 (KG PER CAPITA POR ANO).....	30
TABELA 3.2 - META DE RETOMAS DE RECOLHA SELETIVA DA VALORSUL, CALCULADAS NO RESPECTIVO ANO, E RESULTADOS NO PERÍODO 2016-2020.....	31
TABELA 3.3 - "RECIPIENTES-TIPO"	33
TABELA 3.4 - CONTENTORES DE RECOLHA NA VIA PÚBLICA CONSOANTE A TIPOLOGIA DE RECOLHA DA VIATURA	33
TABELA 3.5- METAS PROPOSTAS PARA O PROJETO-PILOTO NO MUNICÍPIO DA AMADORA	34
TABELA 3.6 - METAS PROPOSTAS PARA A ÁREA-PILOTO.....	34
TABELA 3.7 - CARACTERÍSTICAS DA FREGUESIA DE ALFRAGIDE, NO ANO 2019, NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO-PILOTO DE RECOLHA SELETIVA	35
TABELA 3.8 - DEFINIÇÃO DOS INDICADORES DO PROJETO-PILOTO NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE	37
TABELA 3.9 - RESULTADOS DO PROJETO-PILOTO DE RECOLHA SELETIVA DA AMADORA (2019 E 2020)	38
TABELA 3.10 - INDICADORES OBTIDOS PARA A FREGUESIA DE ALFRAGIDE NOS ANOS 2019 E 2020.....	40
TABELA 3.11 - NÚMERO DE CONTENTORES EXISTENTES E RECOLHIDOS E FREQUÊNCIA DE RECOLHA POR FLUXO DE RESÍDUO NA FREGUESIA DE ALFRAGIDE EM 2020.....	40
TABELA 3.12 - CARACTERIZAÇÃO DOS CONCELHOS DE LOURES E ODIVELAS.....	45
TABELA 3.13 - TIPOLOGIA DE CONTENTORES E CAPACIDADE INSTALADA POR FLUXO PARA RECOLHA SELETIVA DE RESÍDUOS NA FREGUESIA DE ODIVELAS.....	47
TABELA 3.14 – ESTIMATIVA DAS QUANTIDADES RECOLHIDAS EM 2019 POR FLUXO (TONELADAS) NA FREGUESIA DE ODIVELAS.....	47
TABELA 4.1 – OBJETIVO E INICIATIVAS DO PROJETO-PILOTO DE RECOLHA SELETIVA	50
TABELA 4.2 - QUANTIDADE DE RECOLHA SELETIVA EM 2019, ESPERADAS E INCREMENTAIS NAS 4 FREGUESIAS COM MENOR DENSIDADE POPULACIONAL DE LOURES.....	58
TABELA 4.3 - QUANTIDADES RS EM 2019, ESPERADAS E INCREMENTAIS NAS 4 FREGUESIAS DE ODIVELAS	58
TABELA 4.4 - QUANTIDADES RS EM 2019, ESPERADAS E INCREMENTAIS DOS FLUXOS PLÁSTICO/METAL, PAPEL/CARTÃO E VIDRO DA FREGUESIA DE ODIVELAS	58

TABELA 4.5 - DENSIDADE DOS FLUXOS DE PAPEL/CARTÃO E PLÁSTICO/METAL NOS CONTENTORES.....	61
TABELA 4.6 - TAXA MÉDIA DE RECOLHAS COM TRANSBORDO NOS 10 LOCAIS COM MAIORES QUANTIDADES DE RESÍDUOS RECOLHIDOS.....	62
TABELA 4.7 - FREQUÊNCIA DE RECOLHA DOS FLUXOS DE PAPEL/CARTÃO E PLÁSTICO/METAL.....	63

INTRODUÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo propor uma metodologia de recolha de resíduos que permita aumentar as quantidades de recolha seletiva recolhidas. No presente capítulo é abordado o enquadramento da dissertação, os objetivos definidos e a metodologia aplicada para os atingir. O capítulo é terminado com a descrição da estrutura geral do documento.

1.1 Contexto e motivação

A produção de resíduos é uma consequência inevitável das atividades económicas e do desenvolvimento da sociedade, prevendo-se que a produção anual de resíduos aumente 70% até 2050. Em 2016, foram produzidos 242 milhões de toneladas de resíduos de plástico (12% da totalidade de resíduos urbanos). Apesar dos esforços da União Europeia, a quantidade de resíduos produzidos continua a crescer, sendo a produção anual de 2,5 mil milhões de toneladas, o que corresponde a uma média de quase meia tonelada de resíduos produzidos anualmente por habitante (Comissão Europeia, 2020).

Estes elevados números são resultado da constante extração e transformação de recursos, que é responsável por metade das emissões de gases com efeitos de estufa e mais de 90% da perda de biodiversidade e da pressão sobre os recursos hídricos. Uma das estratégias da União Europeia para atacar este problema é a aposta na economia circular, com o objetivo de atingir a neutralidade climática até 2050, de modo que o consumo de recursos não ultrapasse os limites do planeta (Comissão Europeia, 2020).

A gestão de resíduos é uma etapa fundamental da economia circular. O modo como os resíduos são recolhidos e geridos pode levar a elevadas taxas de reciclagem de forma que matérias-primas possam ser reintroduzidas na economia. Através da reciclagem muitos dos resíduos produzidos podem ser transformados em recursos úteis.

Apesar da recolha de resíduos ter surgido com o objetivo de manter as cidades limpas, atualmente os gestores têm de ter em conta outros fatores igualmente importantes, nomeadamente atingir as metas de recolha e reciclagem definidos pela legislação. Especificamente na União Europeia, os países-membros têm de atingir a meta de reciclagem de 65% dos resíduos de embalagens até 2025 e 70% até ao final de 2030 (European Parliament, Council of the European Union, 2018).

Através da recolha seletiva de resíduos é possível atingir reciclagem de alta qualidade. Uma das medidas destacadas no PERSU 2020+ (2019) é reforçar a recolha seletiva multimaterial através de sistemas inovadores que possibilitem o aumento da quantidade e qualidade dos resíduos recolhidos. O reforço tem de ter em conta fatores como os melhores modelos de recolha seletiva e a densidade e acessibilidade dos pontos de recolha seletiva. Atualmente são praticadas em Portugal duas principais tipologias de recolha, recolha porta-

a-porta e recolha de proximidade ou na via pública. Apesar de existirem estudos que concluem que sistemas de recolha porta a porta obtenham maiores taxas de reciclagem (Dahlén & Lagerkvist, 2010), em termos económicos e ambientais, a recolha de proximidade tem menos impactos ambientais e custos mais reduzidos (Pires et al., 2017). Neste sentido, é importante estudar uma metodologia que permita simultaneamente utilizar o sistema de recolha na via pública e obter elevadas taxas de recolha de materiais recicláveis.

1.2 Problema e objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo propor uma metodologia de recolha seletiva a aplicar em freguesias da Grande Lisboa, em áreas cuja responsabilidade da gestão de resíduos é da empresa Valorsul. A maioria dos municípios da área abrangida pela Valorsul, à exceção da zona Oeste e do concelho de Lisboa, devolvem reduzidas quantidades de resíduos recicláveis, correndo-se o risco de não cumprir as metas intercalares definidas para cada Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU). Como resposta ao problema a Valorsul desenvolveu uma metodologia de recolha seletiva de resíduos com o objetivo de aumentar as quantidades de resíduos recicláveis recolhidos para pelo menos 42 Kg/(hab.ano).

Neste sentido, pretende-se estudar a freguesia de Alfragide, local escolhido para o desenvolvimento do projeto-piloto da metodologia de recolha seletiva. Com base em dados com um horizonte temporal de 1 ano (janeiro 2020 a dezembro 2020) será analisado o que foi feito, em termos das componentes técnica - critérios para colocação de novos ecopontos, restrições, entre outros - e comportamental - plano de comunicação utilizado e resposta dos habitantes. Por outro lado, os resultados obtidos serão também estudados de modo a compreender se o objetivo foi cumprido, identificando fatores que poderão ter levado ao sucesso e fatores que possam ser melhorados.

Adicionalmente tem-se como objetivo sistematizar a metodologia utilizada e desenvolver um ficheiro em *Microsoft Excel*, com o intuito de facilitar a sua aplicação a novas áreas. As duas primeiras etapas da metodologia serão ainda aplicadas numa nova freguesia.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada na dissertação, Figura 1.1., é dividida em três fases: 1) Introdução à empresa Valorsul e do problema a ser estudado, 2) Análise da área onde o projeto de recolha seletiva foi aplicado e 3) Sistematização da metodologia e propostas de melhoria.

Na freguesia onde o estudo já tinha sido desenvolvido identificam-se as principais informações que se pretendem recolher: i) Locais com menor e maior produção de resíduos, com recurso ao *Microsoft Excel* e *Google Maps*, ii) fatores que se consideram ter influência para o sucesso ou insucesso do projeto e iii) resposta dos habitantes da freguesia aos novos ecopontos. Após a familiarização com a metodologia aplicada no projeto-piloto de Alfragide, é possível começar a descrever e sistematizar a metodologia. Nesta fase começa também a análise e escolha de uma freguesia onde aplicar a metodologia proposta.

A realização da dissertação é acompanhada por uma revisão de literatura que tem por base as questões de investigação identificadas na primeira fase da metodologia. A estrutura da metodologia da revisão de literatura efetuada foi dividida em 3 partes principais: 1) Pesquisa e pré-seleção dos artigos científicos, 2) Análise dos artigos e, por fim, 3) Seleção dos artigos e conteúdo relevante.

O objetivo da Revisão de Literatura é enquadrar o tema da recolha de resíduos e apresentar diferentes metodologias que podem ser adotadas para melhorar o sistema e aumentar as quantidades recolhidas na área em estudo. Neste sentido, palavras-chave foram usadas para encontrar artigos no âmbito comportamental dos habitantes em sistemas de recolha seletiva de resíduos e sobre metodologias de apoio à pré-recolha e recolha de resíduos:

“recycling behaviour”, “separate collection”, “reverse logistics”, “municipal solid waste collection”, “waste collection optimization” e “waste collection methodology”.

Com o objetivo da revisão definido, foi feita uma procura de artigos na base de dados das editoras Elsevier, Emerald, Taylor&Francis, IEEE, Sage Publications, MDPI e Springer.

Um primeiro ponto de análise foi a data de escrita do artigo ou capítulo, optando-se por consultar apenas publicações posteriores a 2014. De seguida fez-se uma seleção dos artigos com base no *abstract* com o enfoque em sistemas de gestão de resíduos urbanos na via pública.

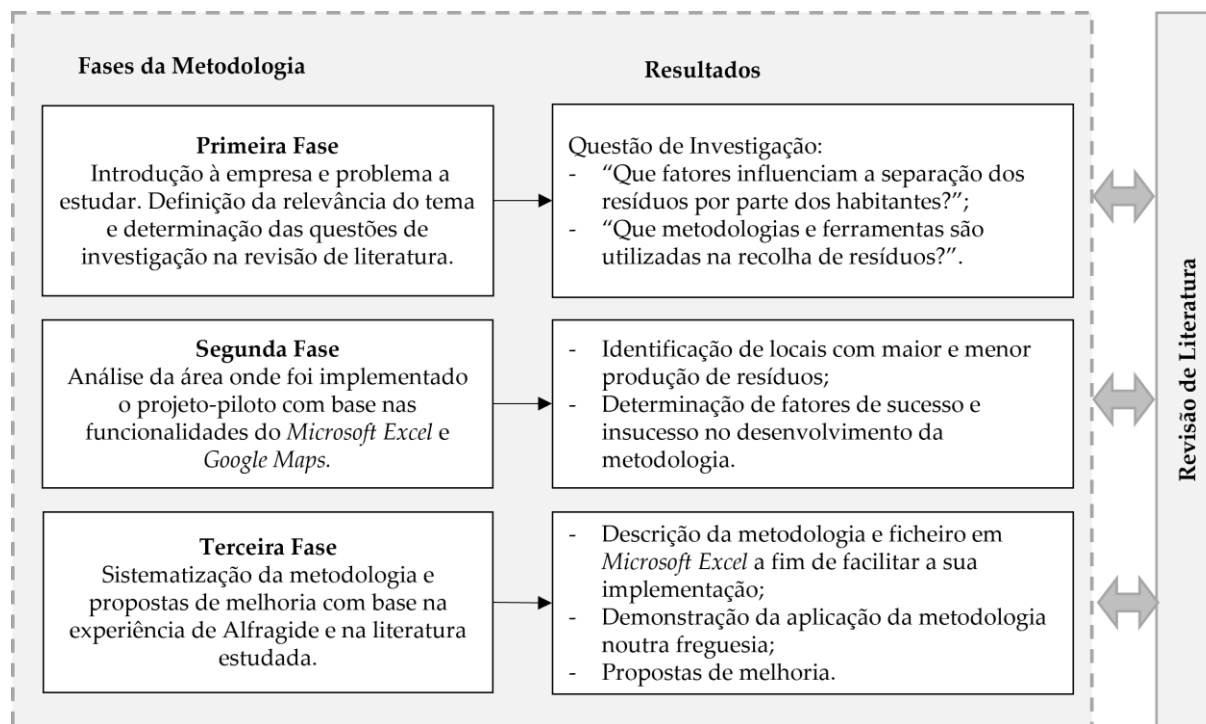


Figura 1.1 - Metodologia de trabalho

1.4 Estrutura da dissertação

Nesta secção é apresentada em detalhe a organização da presente dissertação, que está organizada em 5 capítulos.

O capítulo 1 - Introdução, apresenta o enquadramento, a motivação para o estudo e respetivo objetivo. Adicionalmente é resumida a metodologia de trabalho e a organização do documento.

No capítulo 2 - Gestão e recolha de resíduos é apresentada a revisão de literatura que responde às questões de investigação: i) “Que fatores influenciam a separação dos resíduos por parte dos habitantes?” e ii) “Que metodologias e ferramentas são utilizadas na recolha de resíduos?”. Neste capítulo são também explorados conceitos importantes sobre o tema recolha de resíduos, nomeadamente economia circular, logística inversa e a legislação e planos estratégicos em vigor, na União Europeia e em Portugal, na ótica da gestão de resíduos. De modo a responder à primeira questão de investigação são apresentados os principais fatores que incentivam os habitantes a participar num sistema de recolha seletiva de resíduos. A fim de dar resposta à segunda questão de investigação, são definidos os problemas resultantes da fase de pré-recolha, a afetação de pontos de recolha e contentores, e da fase da recolha, a definição de rotas de recolha. Por fim, são comparadas duas das metodologias consideradas mais relevantes para a presente dissertação, devido à sua flexibilidade de aplicação.

O capítulo 3 - Caracterização do estudo de caso apresenta a empresa Valorsul. Neste capítulo é apresentado com maior pormenor o problema em estudo e a solução da empresa da

Valorsul para a sua resolução, desenvolvida na freguesia de Alfragide. É analisada e descrita em detalhe a freguesia de Alfragide em termos da metodologia aplicada, principais resultados, nomeadamente as quantidades recolhidas por recolha seletiva, e por fim, são identificados fatores que podem ter levado ao sucesso do projeto. Na última secção deste capítulo é apresentada uma nova freguesia onde se pretende aplicar a metodologia a desenvolver no capítulo 4 na implementação da recolha seletiva.

O capítulo 4 - Proposta de Metodologia de Recolha Seletiva e sua Aplicação, corresponde ao núcleo do trabalho realizado. O capítulo está dividido em 3 partes: i) descrição e sistematização da metodologia de recolha seletiva, ii) aplicação da metodologia na freguesia descrita no capítulo 3 e, por fim, iii) sugestões de melhoria baseadas na experiência da freguesia de Alfragide.

Termina-se a dissertação com o capítulo 5 - Conclusões e Trabalho Futuro, onde são apresentadas as notas finais em jeito de conclusão, os contributos, limitações associadas ao estudo e o trabalho futuro a desenvolver.

GESTÃO E RECOLHA DE RESÍDUOS

O presente capítulo, esquematizado na Figura 2.1, pretende contextualizar o problema da Logística Inversa e Gestão de resíduos, sendo apresentados contextos teóricos e trabalhos recentes encontrados na literatura.

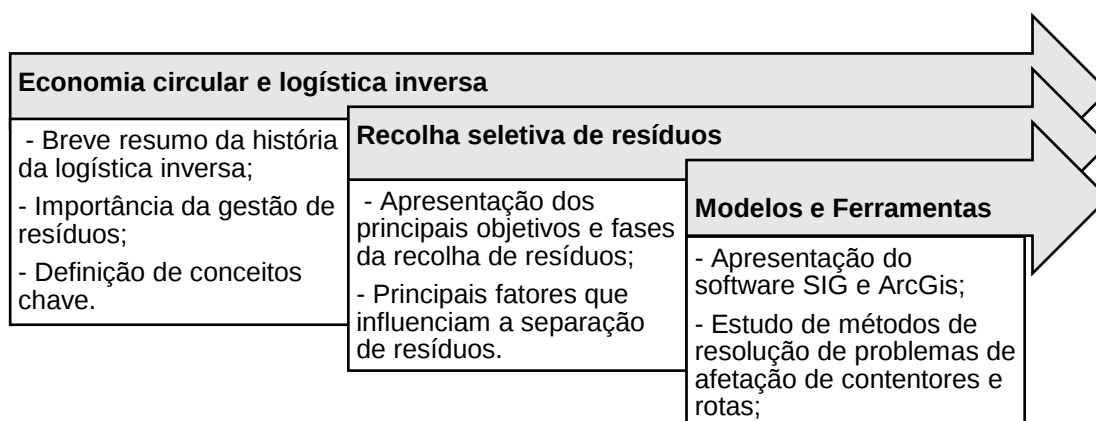


Figura 2.1 - Estrutura do capítulo 2

2.1 Economia circular

A sociedade cada vez mais reconhece os limites da economia linear, uma economia que segue a lógica do *take-make-dispose*, em que a extração de materiais da natureza são transformados em bens de consumo e em seguida são descartados (van der Laan, 2019). Esta prática implica perdas relevantes na cadeia de valor, assim como impactos negativos no ambiente e na sociedade (Julianelli et al., 2020). Em contraste, a economia circular, modelo baseado no princípio da regeneração e restauração, é uma economia que incentiva o desenvolvimento sustentável. Por desenvolvimento sustentável entende-se, de acordo com o primeiro-ministro da Noruega em 1987, Gro Hellan Brundtland, como o desenvolvimento que encontra as necessidades do presente sem comprometer gerações futuras de encontrar as suas próprias necessidades. Esta definição continua atual nos dias de hoje (Zorpas, 2020).

Economia circular é um conceito cuja implementação para o desenvolvimento sustentável tem sido muito debatido, existindo muitas definições na literatura. Kirchherr et al. (2017), após a análise de 114 definições, define Economia circular como um sistema económico baseado num modelo de negócio que substitui o “fim de vida” de um produto pela redução, reutilização, reciclagem e recuperação nos processos de consumo, produção e distribuição, com o objetivo de atingir o desenvolvimento sustentável, que implica a criação de qualidade

ambiental, prosperidade económica e igualdade social. Um dos modos de promover a economia circular passa pela ampliação do conceito de cadeias de abastecimento tradicional em cadeias de abastecimento alargadas, o que implica a existência de um fluxo inverso ao tradicional, que é gerido pela logística inversa.

2.2 Logística inversa

O conceito de logística inversa tem evoluído ao longo dos anos. A primeira definição conhecida do termo foi publicada em 1992, pelo *Council of Logistics Management*, que definia logística inversa como o termo normalmente usado para referir o papel da logística na reciclagem, eliminação de resíduos e gestão de materiais perigosos, enquanto uma perspetiva mais abrangente incluía todas as atividades logísticas relacionadas com a redução na fonte, reciclagem, substituição, reutilização e eliminação (Stock, 1992). Esta definição estava virada para o setor da gestão de resíduos. Ainda em 1992, Pohlen & Theodore Farris (1992) apresentaram uma definição que incluía princípios de Marketing e a direção da movimentação dos materiais, desde o consumidor até ao produtor, num canal de distribuição. No fim dos anos 90, Rogers & Tibben-Lembke (1999) definem o termo como “o processo de planear, implementar e controlar, de forma eficaz e custo reduzido, os fluxos e a armazenagem de matéria-prima, produtos em curso de fabrico e produtos acabados e toda a informação associada desde o ponto de consumo até ao ponto de origem, de forma a reaver valor ou eliminá-lo”, sendo esta uma das definições mais encontradas na literatura.

É da combinação da logística inversa com a cadeia de abastecimento tradicional que surge o termo cadeia de abastecimento alargada (Pires et al., 2019i), como a representada na Figura 2.2, já que o termo logística é identificado apenas como a gestão dos fluxos diretos da cadeia de abastecimento, isto é do ponto de origem ao ponto de consumo.

Por forma a fechar o ciclo, é necessário a adição de novas entidades, responsáveis por exemplo pela recolha, reciclagem e revenda, e consequentemente um fluxo inverso dos produtos, orientado pela logística inversa (van der Laan, 2019). As entidades responsáveis pelo fechar do ciclo determinam a natureza da cadeia de abastecimento. Assim, se é o produtor inicial e o produto retorna à origem trata-se de uma **cadeia de abastecimento alargada em ciclo fechado**. Se, pelo contrário, o responsável pelo circuito inverso não faz parte da cadeia de abastecimento direta original, o produto entra numa nova cadeia de abastecimento e denomina-se **cadeia de abastecimento alargada em ciclo aberto**.

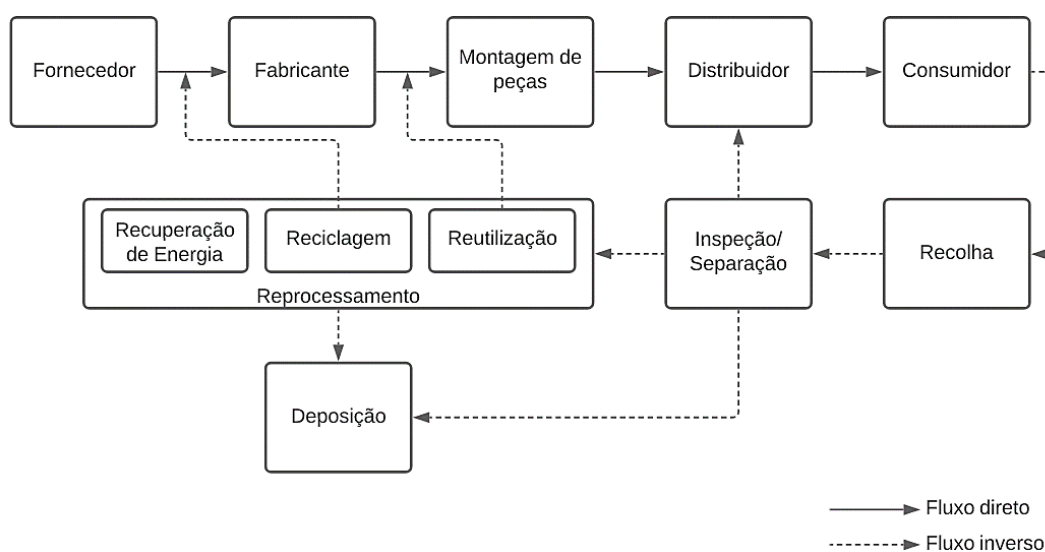


Figura 2.2 - Cadeia de abastecimento alargada.
Adaptado de Pires et al. (2019i)

As principais atividades da logística inversa podem ser agrupadas em (1) recolha, seguida de (2) processo de inspeção, separação e triagem, (3) reprocessamento ou reutilização direta, e por fim a (4) redistribuição (de Brito & Dekker, 2004). A principal diferença entre as opções mencionadas é na fase do reprocessamento. Enquanto a reutilização direta envia o produto diretamente para locais de venda sem qualquer tratamento, o reprocessamento obriga a transformação do resíduo noutro produto ou material novamente utilizável (Pires et al., 2019i).

O reprocessamento pode ainda dividir-se em 3 grupos: reutilização, reciclagem e recuperação de energia (valorização energética), que devem ser priorizados de acordo com a hierarquia da gestão de resíduos, apresentada em seguida na secção 2.3.1.

A **reutilização** visa manter a identidade e funcionalidade do produto usado e dos seus componentes o máximo possível (Thierry et al., 1995).

Na **reciclagem**, a identidade e funcionalidade dos produtos originais é perdida, sendo o seu objetivo somente a reutilização dos materiais dos produtos originais (Thierry et al., 1995). No entanto, abrange qualquer operação de recuperação na qual os resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias, o que incluiu o reprocessamento de materiais orgânicos e exclui a **recuperação de energia** ou o reprocessamento em materiais a ser usados como combustíveis (Pires et al., 2019d).

2.3 Resíduos

A relação entre logística inversa e gestão de resíduos ocorre nas atividades da cadeia de abastecimento alargada, como é exemplo a reciclagem e o tratamento correto dos resíduos (Mesjasz-Lech, 2019). Cadeias de abastecimento que envolvem a reciclagem de produtos são tipicamente cadeias de abastecimento em ciclo aberto (van der Laan, 2019). Assim, sistemas de gestão de resíduos podem ser considerados parte integrante da cadeia de abastecimento, estando integrados nesta última definição.

Resíduos é definido no *Decreto-Lei 102-D/2020* (2020) como “quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer”. No entanto, este conceito é bastante genérico e alargado, havendo ainda diferentes autoridades (internacionais e nacionais) que o definem de diferentes maneiras (Pires et al., 2019e).

É de salientar que que os resíduos são gerados em todos os processos. De facto, apesar dos resíduos ainda serem vistos como os excedentes do consumidor, na realidade existe produção de resíduos em todas as fases da cadeia de abastecimento, desde a extração da matéria-prima até à sua eliminação ou tratamento (Lagerkvist & Dahlén, 2019). Neste sentido, a Figura 1.2 apresenta uma versão simplificada da cadeia de abastecimento alargada.

2.3.1 Hierarquia de gestão de resíduos

O modo como os resíduos devem ser geridos é determinado pela hierarquia de gestão de resíduos (Figura 2.3), isto é, a ordem preferencial pela qual os resíduos são geridos e tratados. A hierarquia é legislada na União Europeia pela Diretiva Quadro dos Resíduos (2008/98/EC), que define a prevenção apenas para produtos e não para resíduos. Assim, a gestão de resíduos deve, em primeiro lugar, priorizar a prevenção de produtos, que levará consequentemente à redução de resíduos e impactos adversos na saúde e no ambiente (Pires et al., 2019e)). Em segundo e terceiro lugares a reutilização e reciclagem, seguida da recuperação de energia. A eliminação de resíduos, nomeadamente a sua deposição em aterro, deve ser feita apenas em última instância, quando todas as outras opções não forem possíveis (Comissão Europeia, 2015).



Figura 2.3 - Hierarquia de Gestão de resíduos de acordo com a Diretiva Quadro dos Resíduos (2008/98/EC)
Adaptado de Pires et al. (2019e)

2.3.2 Resíduos urbanos

Existe uma grande diversidade de resíduos, existindo políticas e leis para cada um. Os resíduos distinguem-se, entre outros, pela fonte ou origem. Assim, dependendo da fonte, é possível classificar os resíduos em: i) urbanos, ii) agrícolas, iii) de construção e demolição, iv) resíduos hospitalares, entre outros (Pires et al., 2019b).

De facto, os **resíduos urbanos (RU)** abrangem a maioria dos resíduos e, de acordo com *Decreto-Lei 102-D/2020* (2020), são definidos como resíduos de recolha indiferenciada e de recolha seletiva provenientes de habitações ou outras origens, que pela sua natureza sejam semelhantes aos resíduos de habitações.

A divisão dos resíduos em fluxos de materiais ganha especial importância nos Resíduos Urbanos, uma vez que apresentam uma elevada heterogeneidade de materiais devido à diversidade de produtos consumidos no sistema urbano. Deste modo, é possível contabilizar vários fluxos, entre os quais, resíduos de embalagens (o que inclui papel, cartão, vidro, plástico e metais), baterias, resíduos de comida, resíduos biodegradáveis e resíduos verdes (Pires et al., 2019b). Esta dissertação tem o seu enfoque nos **resíduos de embalagens**.

2.4 Gestão de resíduos

A gestão de resíduos é a base para a economia circular atingir maior prevenção de resíduos e uma melhor gestão de recursos ao aumentar e fechar os ciclos dos materiais (Tsai et al., 2020). De acordo com o plano de ação desenvolvido pela Comissão Europeia em 2015 (Comissão Europeia, 2015), a gestão de resíduos tem um papel fundamental na economia circular uma vez que determina o modo como é posta em prática a hierarquia de gestão de resíduos e assim possibilita que um resíduo, após os processos de tratamento e valorização, possa ser uma fonte de matéria-prima e energia, continuando no circuito produtivo (Nelles et al., 2016).

Gestão de resíduos, de acordo com o *Decreto-Lei 102-D/2020* (2020), compreende o conjunto das atividades técnicas, administrativas e financeiras necessárias à recolha, transporte, triagem, valorização e eliminação dos resíduos, assim como todas as atividades necessárias ao planeamento, supervisão a manutenção das operações e locais de destino final. Assim, a cadeia logística inversa dos resíduos sólidos urbanos envolve diferentes etapas, que de acordo com Everett (2019), são i) produção de resíduos, ii) atividades de origem (nomeadamente separação, deposição e apresentação dos resíduos ao sistema), iii) recolha de resíduos do primeiro ao último ponto de recolha, iv) transporte do último ponto de recolha à estação de tratamento, v) tratamento e vi) a sua eliminação, Figura 2.4.

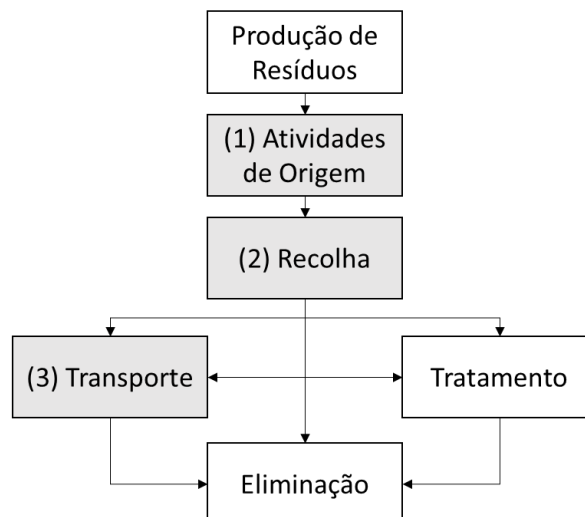


Figura 2.4 - Funções da Gestão de resíduos Urbanos
Adaptado de Everett (2019)

A recolha de resíduos é uma das atividades mais complexas da gestão de resíduos, uma vez que inclui não só os processos de recolha e transporte para instalações de tratamento, mas também a triagem e armazenamento preliminar dos resíduos. No contexto da logística inversa, a mudança mais importante foi a introdução de sistemas de recolha por fluxos de resíduos pelos municípios (Mesjasz-Lech, 2019), denominada recolha seletiva. A recolha seletiva, assunto desta dissertação, é realizada por forma a manter os diferentes fluxos de resíduos separados e inclui as fases (1) atividades de origem, (2) recolha e (3) transporte para centros de triagem ou estações de transferência, representadas a cinzento na Figura 2.4.

2.5 Contexto legislativo

A gestão de resíduos é fortemente influenciada por fatores externos, nomeadamente fatores legislativos, sendo por isso fundamental compreender a evolução das normas e a situação atual. Devido à importância deste tema, há cerca de 50 anos que têm surgido princípios e normas aplicáveis a sistemas de gestão de resíduos, legislados em diretivas na União Europeia e decretos-lei a nível nacional.

2.5.1 Enquadramento europeu

Desde os anos 70 do século XX que a preservação do ambiente se tornou uma prioridade para a União Europeia. Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972, foi a primeira vez que o ambiente foi discutido como prioritário. No seguimento desta conferência, em 1973 foi apresentado o primeiro Plano de Ação em matéria do Ambiente (PAA I) que cobria o horizonte temporal entre 1973 e 1977. Desde então milhares de documentos foram apresentados sobre o tema pela União Europeia (Zorpas, 2020). Na Figura 2.5 são apresentadas as diretivas e planos mais relevantes para a gestão de resíduos de embalagens, assim como as principais estratégias para a transição para uma economia circular.

A **Diretiva 2008/98/EC**, Diretiva Quadro dos Resíduos, define os conceitos principais relacionados com gestão de resíduos, como a definição de resíduo e a hierarquia de gestão de resíduos (apresentada na secção 2.3.1), assim como a definição dos termos reciclagem e recuperação. Este documento foca a necessidade da prevenção dos resíduos, apresentando a meta de que 50% dos resíduos urbanos deviam ser reciclados até 2020 em cada país membro da UE.



Figura 2.5 - Principais Leis e Diretivas sobre Ambiente e Resíduos Urbanos desde 1970 até 2020

As metas e leis definidas pela União Europeia são específicas para cada tipologia de resíduo. Nomeadamente os resíduos de embalagens são regulados pela **Diretiva 94/62/EC** (Pires et al., 2019g). Esta diretiva tem dois objetivos principais, i) reduzir o impacto dos resíduos de embalagens e ii) assegurar o funcionamento dos mercados europeus. Para o efeito define medidas para gerir estes resíduos e desenvolver sistemas de reciclagem e de recolha seletiva. Desde a publicação desta diretiva, os estados membros têm feito grandes investimentos nos seus sistemas de reciclagem, isto é, recolha seletiva e equipamentos e infraestruturas de recolha (da Cruz et al., 2014).

Em 2015 a Comissão Europeia adotou um ambicioso pacote de medidas, com propostas legislativas revistas sobre os resíduos e um plano de ação para economia circular (Comissão Europeia, 2015). O plano de ação, denominado "Closing the Loop", reitera a importância do desenvolvimento dos sistemas de triagem e recolha a fim de minimizar os custos de reciclagem e reutilização e atingir reciclagem de alta qualidade (Comissão Europeia, 2015).

No âmbito do pacote de medidas relativo à Economia circular, surge a diretiva 2018/851 que, entre outras medidas, aumenta a meta de reciclagem dos resíduos de embalagens (aprofundado na secção 2.5.3) de modo que reflita melhor a ambição da UE rumo a uma economia circular.

Em 2020 é redigido um novo plano de ação para a Economia circular, de modo a também concretizar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para 2030. Em matéria de Gestão de resíduos, o plano reforça a política de resíduos para incentivar a prevenção e a circularidade dos resíduos, através da proposta das medidas: i) harmonização dos sistemas de escolha seletiva de resíduos; ii) cores comuns nos contentores, iii) símbolos harmonizados, iv) campanhas informativas, entre outros.

2.5.2 Enquadramento nacional

Em Portugal, no início da década de 1990, 80% dos resíduos tinham como destino final lixeiras, sem qualquer tipo de controlo ambiental. Cerca de 20% dos resíduos eram depositados em aterros controlados e existiam apenas duas unidades de compostagem. Nessa altura, a recolha de resíduos de embalagens tinha uma taxa inferior a 1% (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

Perante este cenário e o claro atraso em relação à maioria dos Estados-Membros da União Europeia em matéria de gestão de resíduos, em 1996 surgem as primeiras orientações estratégicas e metas para o setor dos Resíduos Urbanos no Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), para o período entre 1997 e 2007. Com o PERSU foi possível, até 2001, entre outros sucessos, encerrar e requalificar ambientalmente todas as lixeiras e implementar a recolha seletiva, triagem e valorização dos resíduos de embalagens (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

No entanto, houve a necessidade de rever o PERSU, surgindo o PERSU II, com orientações e metas para o horizonte temporal entre 2007 e 2016. Este novo plano levou a alterações importantes no setor dos resíduos, nomeadamente, o aumento do número de unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) destinadas à valorização orgânica e reciclagem de resíduos urbanos (RU), melhoria da rede de recolha seletiva (ecopontos, ecocentros e recolha porta-a-porta) e reforço da aplicação da hierarquia da gestão de resíduos, nomeadamente uma forte aposta na valorização orgânica de resíduos biodegradáveis. Contudo, verificaram-se desvios acentuados, nomeadamente i) um desvio de 280 kt relativamente à valorização de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) e ii) um desvio de 13 Kg/(hab.ano) na recolha seletiva face à meta de 2011 [37 Kg/(hab.ano) vs 50Kg/(hab.ano)].

Devido ao não cumprimento destas metas, foi necessário fazer uma reformulação do PERSU II. O PERSU 2020 foi então aprovado em setembro de 2014 e serve de orientação estratégica para o período entre 2014 e 2020. Este documento foi realinhado em 2019 no PERSU 2020+ para dar resposta às ambiciosas metas europeias relativas i) à deposição em aterro, ii) preparação para reutilização e reciclagem de RU, iii) reciclagem de embalagens e iv) de redução do plástico.

Entre outras medidas, destacam-se as opções de investimento apresentadas no PERSU 2020+:

- Instalar unidades de compostagem em áreas com maior potencial de recolha seletiva de bioresíduos, isto é, com maior densidade populacional, e unidades de compostagem comunitárias (áreas com menor densidade populacional);
- Prosseguir o reforço da recolha seletiva multimaterial, com maior enfoque nas regiões com maior potencial de produção de resíduos de embalagens, através do investimento em sistemas de recolha inovadores e que possibilitem o aumento da quantidade e da qualidade dos resíduos;
- Priorizar o investimento no reforço da capacidade instalada de triagem multimaterial nas regiões com maior potencial de recolha seletiva.
- Dinamizar e incrementar campanhas de prevenção e redução de produção de resíduos, com a intenção de uma transição para uma Economia circular;

Atualmente, encontra-se em preparação o PERSU 2030, que estabelecerá as principais linhas de orientação a seguir no setor dos resíduos, no horizonte temporal 2020-2030. Aguarda-se a conclusão do plano durante o ano 2021.

2.5.3 Metas estabelecidas para os resíduos de embalagens

No Plano de Ação para a Economia circular de 2020, a Comissão Europeia destaca vários fluxos que requerem prioridade, entre outros, os resíduos de embalagens, veículos em fim de vida, baterias e resíduos elétricos e eletrónicos. Destacam-se os resíduos de embalagens uma

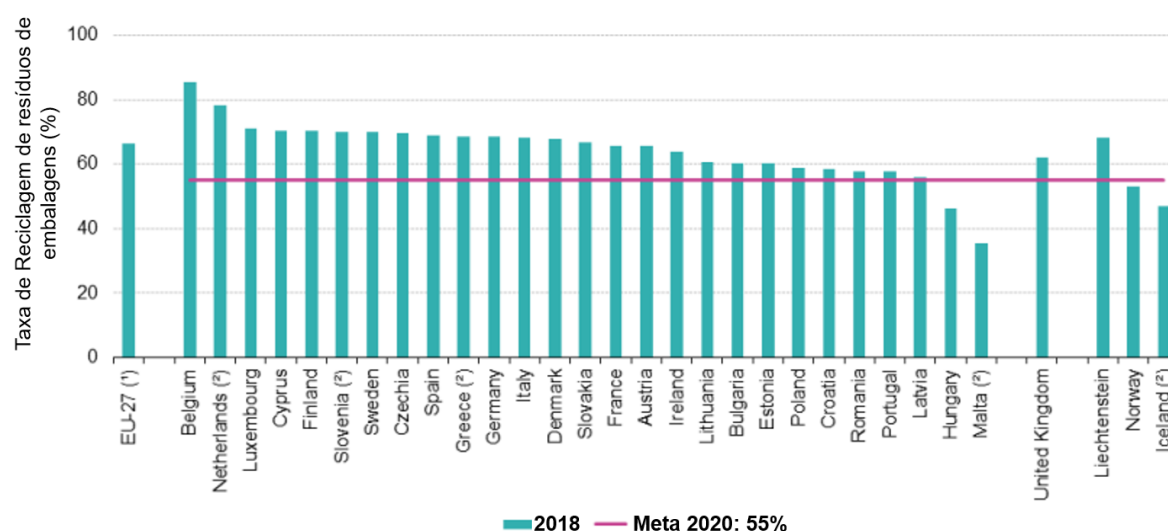
vez que estão a aumentar continuamente. Em 2017 os resíduos de embalagens atingiram, na Europa, **173 kg por habitante**, o nível mais elevado de sempre (Comissão Europeia, 2020). As medidas definidas neste plano têm como objetivo o de garantir que todas as embalagens no mercado da União Europeia sejam reutilizáveis ou recicláveis até 2030 de uma forma economicamente viável. As metas de resíduos de embalagens, apresentadas na Tabela 2.1, têm como objetivo lidar com as quantidades crescentes destes resíduos.

Apesar da Diretiva de embalagens e resíduos de embalagens colocar a responsabilidade da gestão e destino final de embalagens nas empresas que as colocam no mercado, na maioria dos países da União Europeia esta responsabilidade é delegada em outras entidades, conhecidas como empresas *Green Dot*. As empresas *Green Dot*, como é exemplo a Sociedade Ponto Verde em Portugal, são responsáveis por gerir a cadeia logística dos resíduos de embalagens, recebendo dos produtores de embalagens uma contribuição financeira. Normalmente, as empresas de gestão de resíduos recebem suporte financeiro das empresas *Green Dot* para os compensar por atividades como a recolha seletiva e separação de resíduos (da Cruz et al., 2014).

As taxas de reciclagem de resíduos de embalagens obtidas pelos países da UE estão apresentadas na Figura 2.6. Constata-se que em 2018, as metas estabelecidas foram atingidas pela maioria dos países da UE, à exceção da Hungria e de Malta, com 46,1% e Malta 35,6, respetivamente.

Tabela 2.1 - Metas de Reciclagem de resíduos de embalagens da UE: Atuais, 2025 e 2030
Adaptado de European Parliament, Council of the European Union (2004) e European Parliament, Council of the European Union (2018)

	Metas Atuais (%)	2025 (%)	2030 (%)
Global	55	65	70
Plástico	22,5	50	55
Vidro	60	70	75
Papel e Cartão	60	75	85
Madeira	15	25	30
Metais Ferrosos (aço)	50	70	80



⁽¹⁾ Estimativa da Eurostat

⁽²⁾ Dados de 2017

Figura 2.6 – Taxas de Reciclagem de resíduos de embalagens na Europa por país em 2018.
Adaptado de Eurostat (2019)

2.5.4 Resíduos de embalagens em Portugal

Portugal tem conseguido cumprir as metas impostas pela UE no que toca aos resíduos de embalagens, o que se deve, essencialmente, aos planos e decretos-lei publicados nos últimos anos, e descritos na secção 2.5.2. No entanto, não cumpre a meta de preparação para reutilização e reciclagem (Tabela 2.2), que abrange também o reprocessamento de materiais orgânicos.

No PERSU 2020+ afirma-se que devido à estagnação verificada na evolução da taxa de preparação para reutilização e reciclagem (Tabela 2.2), para atingir a meta estabelecida para 2020 era necessário aumentar consideravelmente a recolha seletiva, assim como a eficiência da triagem, a recuperação de recicláveis e a valorização orgânica, razão pela qual são sugeridas medidas neste sentido.

Apesar das metas globais de reciclagem de resíduos de embalagens terem sido cumpridas (Tabela 2.2), existe ainda uma parte remanescente de resíduos de embalagens nos resíduos indiferenciados (observado na composição física dos RU), que são direcionadas para aterro ou para unidades de valorização energética. Destaca-se ainda que, apesar do aumento do número de infraestruturas e equipamentos de recolha seletiva, esta medida não teve reflexos proporcionais nas quantidades recolhidas seletivamente, constatando-se que entre 2012 e 2017 a recolha seletiva aumentou somente 4,5 pontos percentuais, de 12% para 16,5% (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

Tabela 2.2 - Taxas de preparação para reutilização e reciclagem e reciclagem de resíduos de embalagens alcançadas e respetivas metas de 2020 e pós 2020, em Portugal
Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente (2019)

	Taxas Alcançadas (%)			Metas (%)		
	2012	2016	2017	2020	2025	2030
Preparação para reutilização e reciclagem	25	38	38	50	55	60
Reciclagem de resíduos de embalagens	-	62	-	55	65	70

2.6 Recolha seletiva de resíduos

A recolha de resíduos é uma das principais fases do processo de gestão de resíduos, e que mais impacto tem nas metas, já que é a única etapa do processo que faz a ligação entre o sistema e os habitantes. De facto, um sistema de recolha de resíduos é não só composto pelos contentores e veículos, mas também pela sua interação com os habitantes, as infraestruturas e a mobilidade das cidades (Pires et al., 2019h). A isto soma-se a dependência que os SGRU têm dos fatores externos, como o interesse e colaboração da população na separação de resíduos.

A conjugação destes fatores torna as decisões dos SGRU extremamente complexas, pelo que o recurso a ferramentas de análise ambiental, como a análise PESTEL, tornam-se úteis para guiar decisões estratégicas ao nível da Recolha de resíduos, uma vez que permite analisar tendências político-legais, económicas, socioculturais, tecnológicas, ambientais e do setor em estudo (Bing et al., 2016).

2.6.1 Objetivos da recolha de resíduos

Apesar do objetivo primário associado à recolha de resíduos ser contribuir para a saúde pública dos cidadãos, nos dias de hoje, uma eficiente recolha de resíduos deve considerar mais 5 objetivos: Legais, Técnicos, Ambientais, Socioculturais e Económicos (Pires et al., 2019h).

a) Objetivos Legais

As metas de reciclagem são um dos fatores que mais afeta as decisões ao nível da gestão de resíduos, como verificado na secção 2.5.2, já que assim que Portugal implementou o PERSU, começaram a verificar-se melhorias no setor de gestão de resíduos, que antes era praticamente

inexistente. Deste modo, pode-se afirmar que a regulação da União Europeia sobre o tratamento de resíduos pressiona os países membros à passagem de aterros para a sua reciclagem e reutilização (Bing et al., 2016), o que obriga a um aumento do número de estudos sobre uma eficiente e eficaz gestão.

b) Objetivos Técnicos

O modo de recolha dos resíduos influencia as propriedades dos resíduos e, consequentemente, o seu tratamento, pelo que é fundamental fazer a recolha considerando o maior número de fluxos possível a fim de garantir uma melhor qualidade dos resíduos para serem reciclados. A separação de resíduos de embalagens (vidro, papel/cartão e plástico/metalo), por exemplo, permite a recolha de recicláveis de qualidade muito superior aos que são recuperados de resíduos não separados em instalações de tratamento mecânico e biológico, o que permite a sua reintegração em ciclos produtivos (Oliveira et al., 2018).

c) Objetivos Ambientais

Um dos objetivos da recolha seletiva é melhorar as condições ambientais, o que é conseguido diretamente, já que os resíduos recolhidos ao serem enviados para reutilização e reciclagem reduzem a extração de recursos necessários para obter novos materiais (Gallardo et al., 2015). No entanto, a recolha pode ter diferentes impactos, consoante diversos fatores, como rotas efetuadas, tipologia de recolha, entre outros. Por exemplo, recolha seletiva na via pública, através de ecopontos, tem um impacto ambiental inferior ao da recolha porta-a-porta (Gallardo et al., 2015). Assim, devido à baixa velocidade dos veículos de recolha e realização de grandes distâncias, é importante desenhar rotas que evitem 3 problemas: i) congestionamento de trânsito, ii) poluição sonora e iii) poluição do ar (Hannan et al., 2020). A poluição atmosférica é o maior problema da recolha de resíduos, pelo que é crucial que se reduza o consumo de combustível, substituindo, quando possível, os combustíveis fósseis por não fósseis, como o biogás, para reduzir a emissão de dióxido de carbono (Pires et al., 2019h).

d) Objetivos Socioculturais

A taxa de recuperação e reciclagem de resíduos depende da participação ativa da população na separação (Rousta et al., 2017), pelo que é essencial investir na comunicação e qualidade do serviço prestado pelo sistema de gestão de resíduos. Assim, um dos objetivos fundamentais da recolha de resíduos é aumentar a participação ativa dos cidadãos na separação de resíduos e compreender as razões e fatores que a afetam. Dada a sua importância, a secção 2.6.3 será dedicada a este tema.

e) Objetivos Económicos

Um dos pontos fundamentais a ter em conta quando se concebe um sistema de recolha é o fator económico. Consequentemente é necessário fazer a análise de investimentos, quer seja em viaturas, contentores, entre outros, e determinar os custos do sistema, como os associados ao combustível e manutenção. De facto, a recolha é um processo dispendioso que envolve entre 60% e 80% dos custos totais da Gestão de resíduos (Sulemana et al., 2019). A recolha seletiva de resíduos requer, em média, o dobro ou o triplo da quantidade de recursos necessários à recolha indiferenciada (Greco et al., 2015). Devido aos elevados custos da recolha seletiva de resíduos, estes podem ser controlados com o aumento da eficiência do método de recolha, isto é, como a localização dos pontos de recolha, a otimização de turnos, entre outros. Por outro lado, fatores externos, como o preço de mercado dos resíduos recicláveis, podem compensar os custos elevados da recolha seletiva.

2.6.2 Fases da recolha de resíduos

O processo de recolha de resíduos começa quando os resíduos são depositados nos contentores pelos produtores e termina quando os veículos de recolha são esvaziados em locais apropriados, como foi descrito brevemente na secção 4.

De acordo com Everett (2019) a primeira fase, diz respeito às **atividades de origem**, sendo realizada nos pontos de produção de resíduos, e inclui as seguintes etapas:

a) Separação: A separação no caso de resíduos indiferenciados não é realizada, mas no caso de recolha seletiva é a etapa mais importante do processo;

b) Armazenamento: O armazenamento é realizado na casa dos habitantes em pequenos contentores ou sacos destinados a este fim, que são depois transferidos para contentores de tamanho superior fora da zona da habitação;

c) Processamento: O processamento é realizado no caso de resíduos orgânicos, como compostagem nas habitações. No entanto não é um processo necessário para a separação dos fluxos de papel/cartão, plástico e vidro, pelo que não será aqui explorado.

d) Apresentação ao sistema de Recolha: Esta última etapa está dependente da tipologia de recolha implementada pelo sistema de gestão de resíduos. Atualmente a diversidade de veículos, contentores e equipamentos utilizada em sistemas de gestão de resíduos é muito elevada, o que dificulta a decisão sobre o método de recolha mais adequado. No entanto, existem duas abordagens principais que podem ser adotadas, recolha porta-a-porta e recolha na via pública/de proximidade.

Na **recolha porta-a-porta** cada habitação tem o seu contentor de pequenas dimensões onde coloca os resíduos produzidos, sendo depois colocado no exterior na altura da recolha. Deve ser usada em cidades com reduzida densidade populacional e habitações espaçadas (Gallardo et al., 2015). Segundo Han & Cueto (2015) o número de habitações que uma rota pode servir por dia varia entre 150 e 1300, o que aumenta consideravelmente as distâncias percorridas pelas viaturas e consequentemente os custos associados à recolha. Esta tipologia de recolha apresenta como vantagens a facilidade de uso por parte dos habitantes, já que não precisam de caminhar até um ponto de recolha, e desvantagens a recolha com um horário fixo e elevados custos (Gallardo et al., 2015).

Na **Recolha na via pública / de proximidade**, são instalados contentores de diferentes tamanhos e formatos na via pública, sendo pedido aos habitantes que depositem nestes locais os seus resíduos (Rodrigues, 2016). No caso dos recicláveis define-se como recolha por ecopontos, existindo normalmente 3 contentores para os fluxos de plástico/metal, papel/cartão e vidro. Apesar desta tipologia de recolha ser mais económica para o município, a sua localização deve ser escolhida de modo que os utilizadores possam facilmente chegar a partir das suas habitações.

Consoante a distância entre os pontos de recolha pode-se ainda identificar recolha na berma (em inglês *Kerbside bins*), quando os pontos de recolha estão distribuídos pelas ruas com um raio da área de serviço entre 20 a 30 metros, e deposição coletiva (em inglês *drop-off points*), quando o raio é entre 100 e 300 metros (Gallardo et al., 2015).

Na recolha seletiva de resíduos as atividades de origem de resíduos são especialmente importantes e difíceis de analisar separadamente, uma vez que o SGRU apenas consegue recolher o que os habitantes depositam e separam na fonte (Rousta et al., 2017). Existem até autores como Gallardo et al. (2015) que optam por dividir a recolha seletiva de resíduos apenas em duas fases: **pré-recolha** e **recolha**. Admite-se que a fase de pré-recolha inclui todas as atividades que envolvem os resíduos na origem (separação, armazenamento e apresentação ao Sistema de Recolha), enquanto a recolha se resume na deslocação dos resíduos desde o primeiro ponto de recolha até uma unidade de tratamento (Gallardo et al., 2015), unindo as fases de recolha e transporte analisadas separadamente por autores como Everett (2019), como foi apresentado na secção 2.4. No seguimento desta dissertação os termos pré-recolha e recolha serão usados como aqui definidos.

2.6.3 Fatores que influenciam a separação de resíduos

A taxa de participação em programas de recolha é a fração de habitantes que apresenta os seus resíduos ao sistema de recolha, pelo que é um dos fatores mais importante a ser considerados quando se pretende conceber um sistema de recolha de resíduos. Tipicamente, os habitantes colocam os seus resíduos nos contentores para serem removidos pelos sistemas de gestão dos resíduos, no entanto apenas uma pequena fração (que pode variar entre 20% a 70%) participa em programas de recolha de resíduos para reciclagem, uma vez que é mais conveniente deixá-los em contentores indiferenciados (Everett, 2019).

Os fatores principais que afetam os comportamentos de reciclagem podem ser agrupados em i) socio-demográficos, ii) técnicos/organizacionais e iii) psicológicos (hábitos, atitudes, motivação). Os estudos sobre fatores socio-demográficos não são consensuais, e Rousta et al. (2017) e Pires et al. (2019f) afirmam que apesar de terem um papel importante, este continua ainda pouco claro, havendo opiniões distintas no que diz respeito à idade, género, educação, profissão, entre outros.

Rousta et al. (2017) concluiu que os principais fatores que afetam a separação de resíduos por parte dos habitantes são baseados em fatores técnicos/organizacionais e psicológicos, nomeadamente:

- a existência de infraestruturas físicas apropriadas;
- serviço de confiança;
- informação adequado da população sobre o sistema.

A existência de infraestruturas físicas adequadas é o fator considerado mais importante, já que afeta diretamente variáveis como distância ao ecoponto e número de habitantes por ecoponto. O número de infraestruturas está também associado à necessidade de prestar um serviço de qualidade igual ao prestado na recolha indiferenciada, de modo a evitar que grandes quantidades de material reciclável sejam colocadas em contentores de resíduos indiferenciados. A distância até ao ponto de recolha está estreitamente ligado à conveniência de uso do sistema, uma vez que quanto menor esforço for necessário para a separação, mais a população estará disposta a fazê-lo (Rousta et al., 2017).

No sentido de estudar os fatores que influenciam a captação de recolha seletiva, isto é, a quantidade de resíduos provenientes de recolha seletiva por habitante anualmente, Oliveira et al. (2018) comparou e relacionou 20 indicadores socioeconómicos, demográficos e referentes ao serviço de recolha, aplicados a 42 municípios portugueses. Com base no modelo de regressão múltipla não linear desenvolvido, concluiu que as 5 variáveis que mais peso têm na captação de recolha seletiva são, por ordem de influência, (1) o número de habitantes por ecoponto, (2) a escolaridade da população, (3) a acessibilidade aos contentores, (4) o grau de urbanização e (5) a área de recolha. Estas 5 variáveis explicam 73% da variação encontrada nos municípios estudados, podendo a restante percentagem ser explicado por variação aleatória do comportamento da população em relação à separação de resíduos. Conclui-se que é preferível agir sobre os fatores relacionados com o serviço, nomeadamente diminuir o número de habitantes por ecoponto e aumentar a acessibilidade, sendo que ambos podem ser conseguidos através da colocação de mais ecopontos, isto é, um número de infraestruturas adequado e convenientemente localizado.

No entanto, Rousta et al. (2017) conclui que apesar da existência de estruturas físicas adequadas aumentar o volume do material recolhido, estas não encorajam as pessoas a começar a reciclagem. Por outro lado, informação adequada sobre o sistema de reciclagem é fundamental para iniciar a reciclagem, e estratégias com enfoque na comunicação e envolvimento frequente da população têm melhores resultados (Rousta et al., 2017). Yuan & Yabe (2015), numa análise sobre que fatores incentivam os habitantes a separar resíduos biodegradáveis, concluíram que a entrega de sacos ou pequenos contentores grátis para a separação de resíduos aumenta a participação dos habitantes nesta etapa da gestão de

resíduos. Everett (2019) acrescenta que no caso de programas de recolha na via pública, os habitantes podem não se aperceber quando existem mudanças, já que podem estar localizados em locais por onde não passam frequentemente. Neste sentido, Rousta et al. (2017) conclui que a informação deve ser dada recorrentemente e de modo a envolver a população através de contacto pessoal, canais de comunicação e inclusão dos utilizadores no diálogo sobre os sistemas de separação de resíduos.

É neste sentido que surge a análise realizada por De Feo et al. (2019), com enfoque no conhecimento de que muitos materiais recicláveis não são corretamente separados e na tese de que ações de comunicação eficientes, capazes de produzir mudanças comportamentais são uma solução para evitar que materiais recicláveis acabem nos contentores indiferenciados. Para isso os autores desenvolveram 6 indicadores socio-económicos para serem usados em campanhas de comunicação e assim partilhar com os habitantes indicadores impactantes e fáceis de entender. Os principais resultados foram obtidos para as cidades de Palermo e Nápoles, já que na altura de desenvolvimento do estudo, 2014, eram as duas maiores cidades e estavam no grupo de cidades com menores valores de separação de papel e cartão. No estudo De Feo et al. (2019) concluíram, em termos económicos, que a quantidade máxima de papel e cartão colocado em contentores indiferenciados permitiria às cidades recuperar mais de 15 milhões de euros, criar mais de 1000 empregos na comunicação ambiental e reduzir anualmente 57 e 45 Kg de dióxido de carbono por habitante, respetivamente.

Os estudos descritos comprovam que a separação é fortemente influenciada pela relação entre os fatores técnicos da recolha e os socioeconómicos e demográficos. Os fatores técnicos estão muitas vezes dependentes dos aspetos principais do sistema de recolha seletiva implementado, que vão desde a tipologia de pontos de recolha (recolha na via pública, porta-a-porta, etc), o número de fluxos recolhidos (resíduos biodegradáveis, resíduos recicláveis, etc) ou tecnologias implementadas, como sistema PAYT (*Pay-as-you-throw*) ou *tags* RFID para identificação (Rousta et al., 2017). A qualidade do serviço prestado e os custos de recolha, consequentemente, também são afetados por múltiplos fatores, nomeadamente as características do município (área e densidade populacional), características da área a cobrir (distâncias, altitudes, rede de estradas, etc) e a quantidade e qualidade dos resíduos sólidos e equipamentos técnicos usados na recolha e transporte (Greco et al., 2015).

2.7 Modelos e ferramentas na recolha de resíduos

A recolha de resíduos urbanos para reciclagem faz parte da logística inversa, isto é, envolve as atividades logísticas necessárias entre os pontos de consumo dos produtos (produção de resíduos) e as entidades onde os produtos podem ser usados de novo no mercado (Bing et al., 2016). Contrariamente a problemas de logística tradicional, que têm como objetivo o transporte de uma origem para vários destinos, nos problemas de logística inversa, existe a necessidade de recolher em diversas origens e enviar para um destino (Han & Cueto, 2015).

Um dos objetivos da logística é a procura de eficiência nas operações. É neste sentido que as técnicas de Investigação Operacional surgem associadas à gestão de resíduos. Há mais de quatro décadas que têm sido realizados estudos com base em métodos de Investigação Operacional, no entanto, como a gestão de resíduos envolve aspetos sociais, institucionais, financeiros, económicos, técnicos e ambientais, não existe um modelo na literatura capaz de considerar todos os fatores que a influencia (Ghiani, Laganà, et al., 2014). Técnicas de Investigação Operacional, como modelação e otimização, podem, no entanto, ajudar na tomada de decisão para redução dos custos e melhorar o sistema de recolha em termos ambientais, sociais e económicos (Pires et al., 2019c). Para ajudar na tomada de decisão, alguns autores como Bing et al. (2016), dividem os problemas da gestão de resíduos em 2 grupos i) estratégicos e ii) táticos/operacionais.

Os problemas de **domínio estratégico** englobam a tomada de decisões de longo prazo e custos elevados. Abrangem o projeto da rede de recolha de resíduos, como tipologia de recolha e localização de estações de tratamento e/ou de pontos de recolha (Bing et al., 2016). Deste modo podem ser resolvidos no âmbito dos modelos de localização de instalações (em inglês *facility location problem*) (Farrokhi-Asl et al., 2017), em que se pretende determinar o número de infraestruturas que minimiza o custo total de entre um conjunto de localizações possíveis (Pires et al., 2019c). Como foi descrito na secção 2.6.3, a localização correta de infraestruturas, nomeadamente pontos de recolha, é essencial para aumentar as quantidades de resíduos recolhidos, por isso nas secções 2.7.2 e 2.8 serão abordados, respetivamente, as principais características desta tipologia de problema e modelos/metodologias utilizados na sua resolução.

Por outro lado, os problemas de **domínio tático** incluem a tomada de decisão a médio prazo, no que diz respeito ao planeamento da recolha de resíduos, como o número de fluxos a recolher e os meios de recolha a utilizar, isto é, mão-de-obra e viaturas. Estes problemas, muito encontrados na literatura, são geralmente resolvidos no âmbito dos problemas de rotas de veículos, tema aprofundado na secção 2.7.3.

A literatura na otimização da recolha de resíduos é muito diversificada. A resolução do problema está dependente das restrições colocadas, da tipologia do sistema de recolha seletiva implementado, da área a estudar, entre outras, pelo que dificilmente é encontrado um modelo que seja universal e que possa ser aplicado em qualquer situação. No entanto, entre as diferentes soluções encontradas encontra-se um aspeto em comum, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

2.7.1 Sistemas de informação geográfica

O uso de SIG é reconhecido como um dos métodos mais promissores para analisar dados espaciais complexos. SIG são aplicados em várias áreas, como geologia, proteção e gestão de recursos naturais, gestão de risco, transportes, planeamento urbano, entre outros (Kallel et al., 2016).

De facto, SIG é um software muito usado especialmente no setor de gestão de resíduos, tendo sido comprovado pelos estudos de caso consultados, pois permite modelar diversas aplicações neste setor, como estações de transferência e aterros, otimização da recolha e transporte, previsão de locais de produção de resíduos, entre outros (Kallel et al., 2016). Os dados são organizados por camadas e exibidos em mapas digitais, o que possibilita a visualização de dados, permitindo assim identificar tendências, padrões e interações (Pires et al., 2019a).

Entre as tecnologias de sistemas de informação geográfica, uma das mais usadas é o software ArcGIS (Sanjeevi & Shahabudeen, 2016), em especial a extensão *Network Analyst*. Esta extensão possibilita ao utilizador modelar e estudar redes de estradas, permitindo i) encontrar rotas para viagem eficientes, ii) determinar qual a instalação mais próxima de um determinado local, iii) definir uma área de serviço em redor de um local e iv) gerar direções de viagem (Boskovic & Jovicic, 2015).

2.7.2 Problemas de localização dos pontos de recolha na pré-recolha

Para atingir os objetivos definidos na secção 2.6.1, o processo de planeamento da pré-recolha é essencial. A escolha de locais apropriadas para a colocação de contentores, assim como a sua capacidade são essenciais para atingir os níveis desejados de separação na origem e para oferecer um serviço de qualidade aos habitantes da cidade (Khan & Samadder, 2016). A correta afetação de pontos de recolha e número de contentores permitiu a redução dos pontos de recolha, nomeadamente 33% e 15%, respetivamente, nos estudos de Boskovic & Jovicic (2015) e Rathore et al. (2020), assim como o aumento do enchimento por contentor, o

que consequentemente levou à redução de custos de manutenção, combustível e tempo despendido na recolha.

Os estudos focados na pré-recolha abordam o projeto e parâmetros operacionais do sistema de recolha por contentores na via pública, nomeadamente i) número ótimo de contentores, ii) a sua localização, iii) o tamanho dos contentores, iv) a frequência de recolha, e v) um fator de segurança para prevenir o transbordo de resíduos do contentor (Vu et al., 2018). Gallardo et al. (2015) destaca que o fator de segurança está muito dependente das decisões dos gestores de Resíduos, o que resulta na subjetividade do cálculo do volume ou número de contentores necessários. Tome-se como exemplo os meses de Verão em cidades turísticas ou o mês de dezembro na altura do Natal. Pode-se optar por colocar mais contentores para assegurar que não existirá transbordo de resíduos nestas alturas, no entanto, nos restantes meses existirão demasiados contentores para as necessidades dos locais em questão. Os gestores de resíduos têm de tomar as melhores decisões com base em casos particulares.

Outro fator que também é necessário considerar é a frequência de recolha. A frequência de recolha afeta diretamente a capacidade necessária dos contentores em cada ponto de recolha. Assim, este fator tem influência não só nos custos operacionais de recolha, mas também nos custos de instalação de contentores, já que quanto menor for a frequência, maior é a necessidade da colocação de contentores na via pública (Cavallin et al., 2020). No entanto, contrariamente ao sucedido com custos de instalação, os custos de recolha aumentam com a frequência de recolha, pelo que apesar de as metodologias estudadas apresentarem os menores custos, não se pode concluir que sejam as melhores opções, se não forem considerados outros fatores. Neste sentido, existem autores, como Vu et al. (2018) e Khan & Samadder (2016) que estudam as fases de recolha e pré-recolha em conjunto.

A maioria dos autores opta por resolver este problema com recurso ao software SIG, que se torna fundamental, em especial para medir distâncias entre contentores e definir a área de serviço de cada contentor. O software ArcGis, nomeadamente a extensão *Network Analyst* com as ferramentas *Location-Allocation* e *Service Area*, mostram-se especialmente úteis uma vez que permitem, respetivamente, escolher o conjunto ótimo de infraestruturas baseada na sua potencial interação com pontos de procura, e definir a área consoante uma restrição, seja uma caminhada de 10 minutos ou uma distância de 100 metros (ESRI, 2020).

2.7.3 Problemas de rotas de veículos na recolha

Um fator essencial na recolha de resíduos é a rota das viaturas desde os pontos onde estão colocados os contentores até aos centros de deposição ou tratamento (Sulemana et al., 2019). A definição de rotas constitui um dos maiores desafios da recolha de resíduos, porque tem de assegurar que os resíduos são recolhidos corretamente, para manter as cidades limpas e a confiança da população, e ao mesmo tempo realizar um serviço eficiente (Pires et al., 2019a). A minimização da distância, custo e tempo são os objetivos mais frequentes no planeamento de rotas.

A recolha de resíduos pode ser definida como um modelo de otimização, uma vez que é possível maximizar ou minimizar variáveis, sendo geralmente aplicada a teoria dos grafos quando se pretende otimizar a rota. Um grafo pode ser definido como um conjunto de entidades, denominadas vértices ou nós, que estão relacionadas entre si (Pires et al., 2019c).

Pode-se ainda dividir os problemas em i) problemas de rotas em ligações (em inglês *arc-routing problem*), quando o objetivo é que a rota percorra um subconjunto de arcos, e ii) problemas de rotas em nós (em inglês *node-routing problem*), quando o objetivo é que a rota apenas visite os nós do grafo (Bing et al., 2016).

Problemas de recolha de proximidade, isto é, contentores na via pública, podem ser modelados por problemas *node-routing*, destacando-se o problema do caixeiro viajante (em inglês *travelling salesman problem* – TSP) e o problema do planeamento de rotas de veículos (em

inglês - *vehicle routing problem* – VRP) (Pires et al., 2019c). Por outro lado, problemas de recolha porta-a-porta são considerados problemas *arc-routing*, uma vez que a viatura tem de recolher resíduos de todas as casas da rua (Han & Cueto, 2015). Na Tabela 2.3 são apresentadas as diferentes tipologias de problemas relacionados com o planeamento de rotas, tanto de problemas *node-routing* como de problemas *arc-routing*, assim como a sua denominação consoante a restrição aplicada.

Existem diversas fontes de complexidade dos problemas o que leva a diferentes variantes do problema em questão, como a capacidade máxima dos veículos (*Capacitated Vehicle Routing Problem* – CVRP), as restrições do tempo de recolha (*Vehicle Routing Problem with Time Windows* – VRPTW), entre muitos outros.

O TSP identifica a rota que permite a um único veículo percorrer todos os nós de um grafo, representados por n , ao menor custo. Quando vários veículos são usados, o problema é modelado com recurso ao VRP (Pires et al., 2019c), sendo este o mais utilizado na literatura.

O problema do **planeamento de rotas de veículos (VRP)** é definido como um problema que se ocupa da determinação de um conjunto de rotas de uma frota de veículos desde a origem, até um conjunto de clientes. A Recolha de resíduos, definida como um VRP, consiste, tipicamente, numa frota de veículos, paragens, locais de deposição, um depósito (origem), contentores e pontos de recolha. Um veículo começa e termina a rota no mesmo depósito. A complexidade deste problema depende de diferentes características, tais como o tipo de veículos, o número de instalações de deposição, entre outros tipos de restrições (Han & Cueto, 2015).

Vários trabalhos na literatura estudam o problema das rotas de veículos recorrendo a algoritmos de programação linear inteira ou programação linear inteira mista. Apesar dos seus resultados ótimos, estes problemas têm grande complexidade computacional, descrevendo-se como problemas NP-Hard (Bueno-Delgado et al., 2019).

Tabela 2.3 - Tipologias de Problemas Node-Routing e Arc-Routing
Adaptado de Han & Cueto (2015)

	<i>Node-routing problem</i>	<i>Arc-routing problem</i>
Objetivo	Recolha de material (ponto a ponto)	Recolha de material ao longo dos arcos de uma rede
Tipologia de Recolha	Recolha de proximidade	Recolha Porta-a-Porta
Tipologias de Problemas	Apenas 1 veículo: • <i>Traveling Salesman Problem</i> (TSP) • <i>Traveling Salesman Problem with Backhauls</i> (TSPB) • <i>Traveling Salesman Problem with Time Windows</i> (TSPTW) Uma frota de veículos: • <i>Multiple Traveling Salesman Problem</i> (MTSP) • <i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i> (CVRP) • <i>Distance Constrained Vehicle Routing</i> (DCVRP) • <i>Vehicle Routing Problem with Backhauls</i> (VRPB) • <i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i> (VRPTW) • <i>Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery</i> (VRPPD)	Todos os arcos devem ser servidos: • <i>Chinese Postman Problem</i> (CPP) Apenas um conjunto de arcos deve ser servido: • <i>Rural Chinese Postman Problem</i> (RCPP) • <i>Windy Chinese Postman Problem</i> • <i>Stacker Crane Problem</i>

Um problema NP-Hard é um problema em que o tempo computacional para a sua resolução cresce exponencialmente com o aumento do número total de variáveis de decisão (Chang & Pires, 2015). Tome-se como exemplo o caso mais simples do TSP, em que 1 único veículo percorre n nós de um grafo. Assumindo-se que cada par de nós tem uma ligação, o número total de diferentes rotas que passam por n pontos é $\frac{1}{2}n!$. Num problema com 15 nós existiriam 653837184000 diferentes rotas. Ora, 15 nós é um número muito inferior ao número de pontos de recolha a considerar em qualquer estudo de recolha de resíduos (Dantzig & Ramser, 1959). Para ultrapassar esta barreira, é comum a utilização de algoritmos heurísticos e meta-heurísticos, que apesar de não garantirem a solução ótima, obtêm soluções aproximadas, assim como a utilização de novas tecnologias, nomeadamente o software ArcGis.

O método encontrado com mais frequência na literatura para resolução desta tipologia de problema é a extensão Network Analyst do ArcGIS, em que a rota é baseada no algoritmo Dijkstra (Sanjeevi & Shahabudeen, 2016), um algoritmo que calcula o caminho mais curto entre nós de um grafo. Este algoritmo identifica, com apenas uma origem, o caminho mais curto, incorporando informações reais ligadas aos problemas dos transportes, como ruas com apenas um sentido, viragens proibidas, entre outras.

A aplicação de SIG na otimização de rotas de veículos, quando comparada a outros métodos, tem a vantagem da incorporação de considerações adicionais, como o sentido das ruas, viragens proibidas, velocidade máxima permitida, entre outras, que muitas vezes são ignoradas em métodos de programação matemática (Sulemana et al., 2018). A ferramenta *Vehicle Routing Problem Solver*, da extensão Network Analyst, é uma das mais utilizadas para essa função (Sulemana et al., 2019; Khan & Samadder, 2016; Abdelli et al., 2016; Sanjeevi & Shahabudeen, 2016), uma vez que permite resolver o problema de rotas de veículos.

2.8 Estudos feitos na localização ótima dos pontos de recolha

Boskovic & Jovicic (2015) desenvolveram uma metodologia dividida em 3 fases: i) recolha de dados e conceção de base de dados georreferenciada em ambiente SIG, ii) definição da localização ótima de pontos de recolha e iii) definição do número essencial de contentores. Para o estudo de caso realizado na cidade de Kragujevac na Sérvia foi definida uma distância máxima à entrada das habitações de 75 metros, por ser considerado que esta não diminui o conforto de deposição por parte dos habitantes. Com recurso à ferramenta de *Service Area* do *ArcGis Network Analyst* foram identificados pontos de recolha considerados ineficientes, por estarem muito próximos, e novas localizações foram homogeneamente distribuídas pelas ruas em coordenação com os pontos de recolha existentes. Por fim o cálculo do número de contentores necessário em cada ponto de recolha foi feito com recurso à equação 2.1.

$$N [n^{\circ} \text{ de contentores}] = \frac{S_f \cdot W_{tot}}{\mu \cdot W_{wb}} \quad (2.1)$$

onde $S_f[-]$ é o fator de segurança estimado a 10% para prevenir transbordo de resíduos, $W_{tot}[Kg]$ é a quantidade gerada por semana na zona de influência do ponto de recolha, $W_{wb}[Kg]$, a capacidade de um contentor e $\mu[-]$, a frequência de recolha por semana.

Khan & Samadder (2016) adotaram uma metodologia semelhante a Boskovic & Jovicic (2015) para afetação de pontos de recolha, tendo como critérios preferenciais: i) interseção de estradas, ii) área de serviço de 100 metros e iii) colocação de dois contentores em locais com elevada densidade populacional. O trabalho foi completado com a definição de rotas ótimas com recurso ao software *ArcGis Network Analyst*.

Também no trabalho desenvolvido por Vu et al. (2018) é feita a conjugação das fases de pré-recolha e recolha com recurso ao GIS (ferramentas *location-allocation* e *vehile routing problem*). Este trabalho tem como enfoque a relação entre os parâmetros estudados nestas duas fases, sendo considerados diferentes cenários com diferente número de pontos de recolha e diferentes distâncias entre o ponto de recolha e local de origem dos resíduos. Conclui-se a distância máxima entre o ponto de recolha e local de origem dos resíduos afeta tanto os custos de pré-recolha como de recolha.

Gallardo et al. (2015) também localizou primeiro os locais ótimos para colocação de contentores e de seguida calculou o número de contentores necessário em cada fluxo. É usado o software ArcGis 10.1, sendo os possíveis locais de recolha localizados num mapa tendo em conta i) o acesso por parte dos habitantes e viaturas, ii) distância entre contentores adjacentes, iii) distância máxima à entrada dos edifícios, entre outros. Na localização dos pontos de recolha coletivos (ecopontos) foram usados os seguintes critérios, seguidos, pela seguinte ordem preferencial: (1) Cruzamentos; (2) Locais intermédios em ruas e (3) Locais equidistantes de no máximo 300 metros, em ruas de comprimento superior a 600 metros. Após a identificação dos locais, á calculado o volume necessário em cada ponto de recolha com recurso à equação 2.2.

$$V_{ij} [m^3 / dia] = \frac{Hb_i \cdot DGR_{msw} \cdot FR_j \cdot Cf_j \cdot Cu_j}{D_j} \quad (2.2)$$

onde Hb_i [habitantes] é o número de habitantes por ponto de recolha i , DGR_{msw} [Kg/(hab · dia)] é a taxa diária de produção de resíduos, FR_j [–] é a taxa de desvio do fluxo j , Cf_j [–] é o coeficiente da frequência de recolha do fluxo j , Cu_j [–] é o coeficiente de utilização do fluxo j e D_j [Kg/m³] é a densidade dos resíduos do fluxo j no contentor.

Cavallin et al.(2020) criaram um modelo de programação linear integral mista (em inglês *Mixed-Integer Linear Programmig* - MILP), baseado no problema de localização de instalações com capacidade. Antes da execução do modelo, foram identificados, através de visitas ao terreno, locais mais favoráveis à colocação de contentores de modo a interferir o mínimo possível com o dia-a-dia dos habitantes. O modelo tem como objetivo minimizar os custos resultantes da instalação das diferentes tipologias de contentores, considerando a área máxima disponível para a instalação dos contentores e a sua capacidade (equação 2.3).

$$\underset{\substack{j \in J \\ m \in M \\ h \in H}}{\text{Minimizar}} \sum q_h k_{hmj} + \sum_{j=0}^{j=y} c_i p_j + \sum_{j=y+1}^{j=|J|} c_s p_j \quad (2.3)$$

onde q_h é o custo de instalação do contentor h , k_{hmj} é o número de contentores da tipologia h para o fluxo m instalados no ponto de recolha j , c_i é o custo de abertura de um ponto de recolha num local ideal, c_s é o custo de abertura de um ponto de recolha num local “standard” e p_j é um coeficiente com valor 0 ou 1 se no local candidato j é, respetivamente, aberto um ponto de recolha ou não. Os locais ideais foram definidos com base em estudos de campo, sendo considerados locais onde, devido às suas características, são mais facilmente colocados contentores, e por isso requerem menores investimentos que os locais “standard”.

Um dos pontos em comum dos trabalhos estudados é a fase de recolha de dados. É importante haver informação detalhada da cidade em estudo, já que afeta as características dos resíduos gerados na área. Por exemplo, os resíduos gerados por um restaurante serão diferentes dos resíduos gerados por uma livraria. Uma das dificuldades da aplicação de uma das metodologias apresentadas passa pela obtenção deste tipo de dados, acabando por se usar valores estimados, e por isso, com elevados erros.

Por outro lado, a escolha dos contentores a utilizar não recai apenas nos cálculos matemáticos, porque na maioria dos casos não é possível escolher o tamanho de contentor que melhor se adequa ao volume necessário calculada para esse ponto de recolha. A escolha tem de ser pensada tendo em conta a tipologia usada na cidade e o sistema das viaturas usadas, optando-se por definir a frequência de recolha com base no tamanho do contentor colocado no local. O trabalho de Ghiani et al. (2012, 2014) comprova este facto. Ghiani et al. (2012) desenvolveram um modelo de programação linear e um modelo heurístico para ajudar os gestores a localizar contentores de resíduos indiferenciados cujos resultados computacionais apresentavam uma redução de até 62% dos pontos de recolha e 73% dos contentores. No entanto, o modelo devolvia soluções em que um ponto de recolha continha contentores que não podiam ser recolhidos pelo mesmo veículo, problema explicado com detalhe na secção 3.4.1. Assim, Ghiani, Manni, et al. (2014) acrescentaram a restrição que contentores que não pudessem ser recolhidos pelo mesmo veículo não podiam ser colocados no mesmo ponto de recolha.

No desenvolver desta revisão de literatura também se constatou que o problema da localização de contentores de resíduos destinados à reciclagem foi pouco estudado. Em especial em países em desenvolvimento, como é evidenciado nos estudos de Khan & Samadder (2016) e Cavallin et al. (2020) uma das principais preocupações ainda passa pela resolução de problemas de lixo na via pública, devido à falta de contentores. Por outro lado, a maioria dos estudos tem enfoque na proposta de ferramentas de otimização para localização de contentores de resíduos e na diminuição de custos de serviços, existindo poucos estudos que efetuem esta análise tendo em vista o aumento de reciclagem por parte dos habitantes das cidades (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Análise comparativa das diferentes soluções estudadas para localização de pontos e contentores de recolha

Referência	Método Afetação	Múltiplos fluxos	SIG	Objetivo
(Boskovic & Jovicic, 2015)	Heurística		✓	Determinar o número ótimo de contentores e pontos de recolha
(Gallardo et al., 2015)	Heurística	✓	✓	Definir uma metodologia a ser seguida pelas entidades responsáveis pela gestão de resíduos
(Khan & Samadder, 2016)	Heurística		✓	Reduzir os custos de recolha e transporte
(Vu et al., 2018)	Heurística		✓	Determinar os parâmetros que mais afetam os custos operacionais e de manutenção de contentores
(Cavallin et al., 2020)	MILP	✓	✓	Passar de uma recolha porta-a-porta de resíduos indiferenciados para recolha seletiva

2.9 Estudos feitos com recurso a uma metodologia de pré-recolha de resíduos

Entre a literatura consultada destaca-se o estudo de Gallardo et al. (2015), por apresentar uma metodologia completa que sequencia o processo de pré-recolha em várias etapas, não se focando somente na correta localização dos contentores e podendo ser adaptada a vários fluxos de resíduos. Este trabalho foi mais tarde aprofundado por Cavallin et al. (2020).

A metodologia aplicada por Gallardo et al. (2015) apresenta elevada flexibilidade, já que se adapta a cidades e áreas com diferentes características. A metodologia apresenta 5 etapas principais (Figura 2.7): (1) Seleção do número de fluxos de resíduos, (2) Definição da tipologia

de recolha e distância aos contentores, (3) Localização dos pontos de recolha e (4) Definição da capacidade e número de contentores em cada local para cada fluxo de resíduos.

Para melhor compreender como uma metodologia de recolha de resíduos pode ser aplicada numa cidade comparou-se o modelo aplicado i) na cidade de Castellón, Espanha e ii) em dois bairros da cidade de Bahía Blanca, Argentina. Apesar de Cavallin et al. (2020) se ter baseado no trabalho de Gallardo et al. (2015) foram obtidos resultados muito díspares. Ressalta-se que na cidade de Bahía Blanca e em muitos dos países em desenvolvimento, a maioria dos resíduos ainda tem como destino final os aterros, sem qualquer tratamento ou recuperação, sendo a aplicação da metodologia para iniciar a separação de resíduos na cidade.

As etapas (1) e (2) dependem fundamentalmente da legislação aplicada e dos custos de recolha. Devido à legislação aplicada em Espanha, nomeadamente a Diretiva Europeia 2008/97/CE, Gallardo et al. (2015) definiram 4 fluxos de resíduos a ser recolhidos: i) Papel/Cartão, ii) Vidro, iii) Embalagens leves (plásticos, embalagens de bebidas e metais) e iv) lixo indiferenciado. Na etapa (2), de modo a seguir o plano de resíduos da comunidade valenciana de Espanha, é definido que os resíduos indiferenciados são recolhidos na berma, num raio de 30 metros do local de produção de resíduos, enquanto os fluxos de papel/cartão, plástico/metall e vidro são recolhidos segundo um sistema de deposição coletiva, num raio máximo de 150 do local da produção.

Por outro lado, Cavallin et al. (2020) optou por classificar os resíduos apenas em 2 frações de acordo com a sua composição: 1) húmidos (compostos principalmente por resíduos orgânicos, fraldas, têxteis, entre outros), que têm como destino final aterros, ou 2) secos (metal, vidro, papel/cartão e plásticos), que serão enviados para um centro de tratamento. Ao usar apenas as 2 frações o autor considera que facilita a adaptação gradual da população ao novo sistema e a formação de hábitos de separação de resíduos na origem. Na etapa (2) Cavallin et al. (2020) optou por testar a recolha por proximidade, de modo a diminuir os custos de recolha do sistema porta-a-porta praticado na cidade, sendo que optou por uma distância máxima de 250 metros a ser caminhada por um habitante.

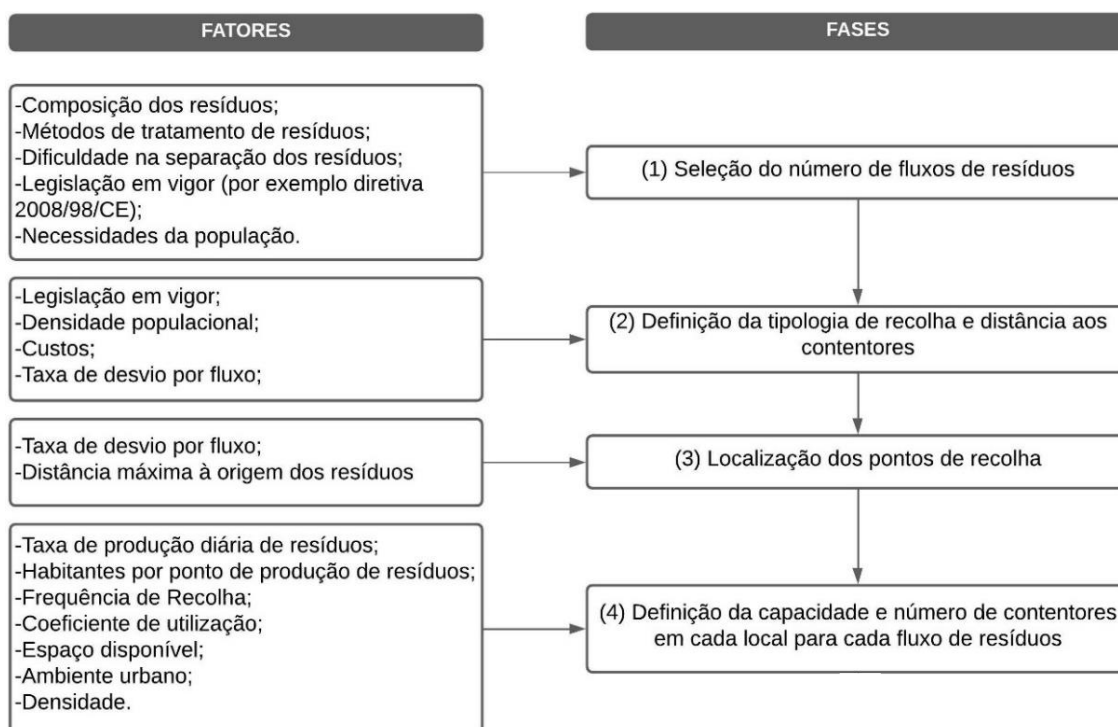


Figura 2.7- Metodologia do sistema de pré-recolha
Adaptado de Gallardo et al. (2015)

As etapas (3) e (4) dependem fundamentalmente da distância máxima definida, espaço disponível, quantidades produzidas e número de habitantes. A descrição do método de afetação de contentores utilizado por cada autor foi apresentada na secção anterior, 2.8. Especificamente no caso da recolha por ecopontos, Gallardo et al. (2015) optou por definir como limite 1 contentor de cada um dos 3 fluxos, para não ocupar muito espaço na via pública, calculando, em vez do número de contentores a colocar, a frequência de recolha necessária por fluxo. No caso da recolha por ecopontos foram usados contentores 3.2 m³, por serem os mais usados na região de Espanha. Por outro lado, Cavallin et al. (2020) escolheram contentores com capacidade de 1,1 m³ por a empresa responsável pela recolha na cidade possuir apenas viaturas com engate para carga posterior. Como têm menor capacidade, o autor definiu como espaço máximo na via pública 5 m², permitindo a colocação de mais de 1 contentor para a mesma fração.

Na Tabela 2.5 é apresentada a comparação da aplicação da metodologia nas duas cidades. Como Cavallin et al. (2020) utilizou o mesmo sistema de recolha para as duas frações de resíduos, os habitantes, quando encontram um ponto de recolha de resíduos, terão sempre a opção de separar os resíduos. Observou-se também que o modelo desenvolvido pelo autor, como considerava as quantidades elevadas produzidas em locais de comércio, obteve uma maior concentração de pontos de recolha no centro do bairro universitário e na baixa da cidade. O autor assume uma situação otimista, isto é, que toda a população irá separar os resíduos, o que resulta numa maior capacidade instalada da fração de secos, cujos resíduos podem ser tratados e reciclados. Considera-se que de modo a atingir a situação desejada é necessário a implementação de um plano de comunicação que envolva os habitantes, como foi revisto na secção 2.6.3. Por outro lado, Gallardo et al. (2015) optou por sistemas de recolha diferentes nas duas frações, sendo o número de contentores de indiferenciados muito superior à dos recicláveis, o que resulta em que a densidade de pontos de recolha (número de habitantes por ponto de recolha) dos recicláveis seja quase 8 vezes superior à dos indiferenciados.

Apesar de se seguir uma metodologia semelhante, os resultados obtidos são diferentes, reforçando a ideia que não existe uma metodologia ideal, sendo a melhor metodologia aquela que melhor se adapta às características da cidade onde será implementada.

	Castellon, Espanha (Gallardo et al., 2015)	Bahía Blanca, Argentina (Cavallin et al., 2020)	
Área de estudo	Centro Urbano	Bairro Universitário (Área residencial)	Baixa da cidade (Área de lojas e negócios)
Número de Habitantes	156221	12400	9600
Fluxos de resíduos	Indiferenciados Recicláveis	Húmidos Secos	Húmidos Secos
Distância máxima considerada	30 metros - Indiferenciados 150 metros - Recicláveis	250 metros	250 metros
Densidade de pontos de recolha (habitantes/ponto de recolha)	74 - Indiferenciados 572 - Recicláveis	188	137
Capacidade instalada (m³)	2519 - Indiferenciados 683 - Recicláveis	74 - Húmidos 169 - Secos	74 - Húmidos 213 - Secos

Tabela 2.5 - Comparação da aplicação da metodologia das metodologias de Gallardo et al. (2015) e Cavallin et al. (2020)

2.10 Considerações finais

Tendo em conta o tema em estudo, foram abordados de um modo breve os conceitos de economia circular e logística inversa. O conceito de economia circular assume um sistema de produção e consumo em que os resíduos são reutilizados, recuperados e reciclados. Para sistemas baseados no paradigma da economia circular há a necessidade de um maior estudo da cadeia logística inversa, nomeadamente a dos resíduos sólidos urbanos, sendo essenciais ferramentas que ajudem na tomada de decisão no que diz respeito à conceção da recolha seletiva de resíduos.

A crescente utilização dos recursos e crescimento de zonas urbanas leva à necessidade das cidades e municípios implementarem sistemas de recolha de resíduos eficientes e que consigam conjugar diferentes objetivos, destacando-se os Sociais – sensibilização da população para a separação de resíduos e a sua disponibilização em todo o território – os Económicos – minimização de custos - e os Legais – cumprimento da legislação e das metas definidas pela União Europeia. Conclui-se que para o efeito é necessário o problema da gestão de resíduos numa cidade ser considerado de raiz, na denominada pré-recolha, estudando-se as características e condicionantes da cidade e dos seus habitantes, por forma a assegurar que a separação e deposição de resíduos é uma tarefa simples para os habitantes das cidades, já que a sua participação é fundamental para se poderem atingir elevadas quantidades de resíduos reciclados e, conseqüentemente, atingir as metas definidas pela União Europeia. A conjugação entre a correta informação da população sobre o sistema de gestão de resíduos implementado e questões técnicas, como a localização de contentores e uma recolha eficaz a fim de não se permitir o transbordo são essenciais para o correto funcionamento de um sistema de recolha de resíduos. Na parte técnica destaca-se a afetação eficiente de contentores e a resolução do problema de rotas de veículos, que pode ser realizada recorrendo a modelos matemáticos, métodos heurísticos e/ou baseados em sistemas de informação geográfica.

Foram consultadas revistas científicas e editoras, para conjugar os conhecimentos de áreas como a Matemática e a Engenharia Industrial, para se encontrar soluções de otimização dos processos, a Engenharia do Ambiente e áreas ligadas a Sistemas de Informação. A revisão de literatura corresponde ao período entre 2014 e 2020, período no qual vários autores apresentaram modelos exploratórios para a recolha de resíduos, nomeadamente métodos para a afetação de contentores e posterior definição de rotas ótimas. A revisão de literatura teve 2 partes, um estudo mais teórico do tema, no qual se recorreu, em especial, a livros e revisões de literatura de alguns autores, e uma de análise de estudos de caso com a aplicação dos métodos explorados.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

No presente capítulo é efetuada a descrição da empresa Valorsul onde se desenvolve o estudo de caso e é feita a caracterização do problema em estudo. A estrutura do capítulo encontra-se esquematizado na Figura 3.1.

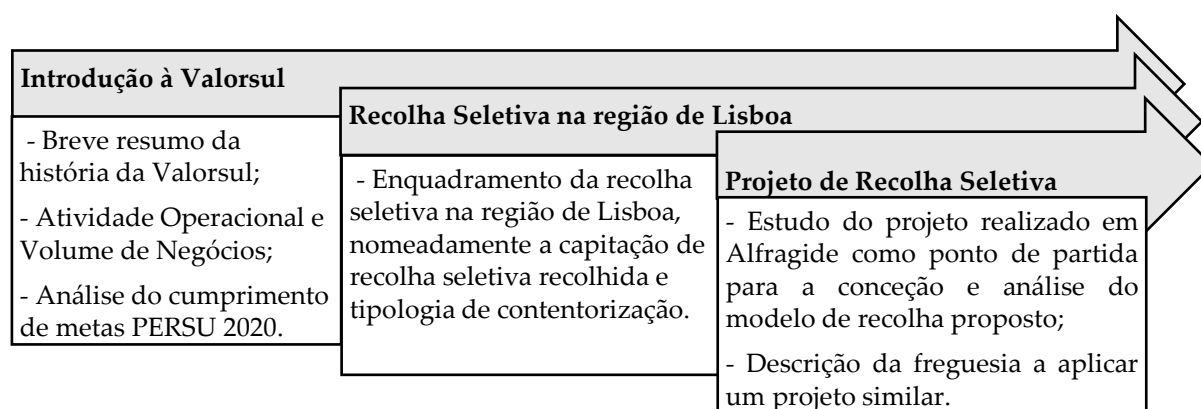


Figura 3.1 - Estrutura do capítulo 3

3.1 A Valorsul

Em Portugal Continental existem 23 Sistemas de Gestão de resíduos Urbanos (SGRU), 12 Multimunicipais e 11 Intermunicipais. Estes sistemas possuem características diferentes entre eles, nomeadamente área de atuação, número de habitantes e condições socioeconómicas da população que integram, que se refletem no fluxo e na produção de resíduos. Esta diferenciação suporta as opções que cada SGRU adota em termos de recolha seletiva, tratamento e valorização, e equipamentos e infraestruturas implementados (Agência Portuguesa do Ambiente et al., 2014).

Em grande parte do território português, a atividade de gestão de resíduos é efetuada pelas empresas concessionárias do Grupo EGF, representado na Figura 3.2. O grupo EGF é composto por 11 concessionárias do serviço público, incluindo a Valorsul, responsáveis pela exploração e gestão do sistema multimunicipal de recolha seletiva, de triagem e de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos.

A Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A é a empresa responsável pelo tratamento e valorização dos resíduos urbanos produzidos em 19 Municípios da Grande Lisboa e da Região Oeste, representados na Figura 3.3. Apesar da sua área de intervenção corresponder a menos de 4% do território nacional (3391 km²), a Valorsul valoriza mais de 20% de todo o lixo doméstico produzido em Portugal, servindo uma população de 1,6 milhões de habitantes e recebendo anualmente 915 mil toneladas de resíduos.

A Valorsul foi criada em 1994, sendo composta por 7 acionistas: Parque Expo'98, Empresa Geral de Fomento, S.A, Câmara Municipal de Lisboa, Eletricidade de Portugal, Câmara Municipal da Amadora, Câmara Municipal de Loures e Câmara Municipal de Vila Franca de Xira. O seu objetivo principal era solucionar o complexo problema dos milhares de toneladas de resíduos urbanos produzidos na área da Grande Lisboa. Em 2010 ocorreu a fusão com a Resioeste, que abrangia 14 municípios da Região Oeste, dando origem à nova Valorsul.

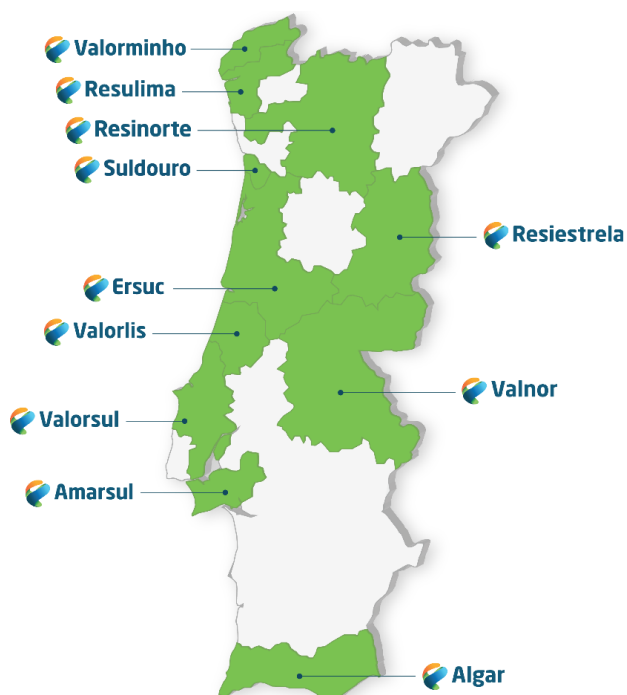


Figura 3.2 - 11 concessionários do grupo EGF
Adaptado de EGF (2021)



Figura 3.3 - Área de intervenção e instalações
Adaptado de Valorsul (2019)

3.1.1 Volume de negócios e atividade operacional

O volume de negócios da Valorsul é assegurado essencialmente por 3 fontes de rendimento: venda de energia, tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) e venda de recicláveis. No ano de 2020, o volume de negócio totalizou 58,1 M€, sendo a maior porção correspondente à venda de energia (26,5 M €), seguida do tratamento de RSU (17,1 M €) e, por último, a venda de materiais recicláveis às Entidades Gestoras do fluxo de embalagens (Sociedade Ponto Verde, Novo Verde e Amb3E) (13,2 M€). Os restantes rendimentos são provenientes do abastecimento de gás natural carburante e outras vendas.

A empresa incorpora os valores da Economia circular, sendo responsável pelo Tratamento e Valorização dos resíduos, o que abrange diferentes tipologias de recolha - indiferenciada, seletiva de materiais recicláveis e seletiva de matéria orgânica - e tecnologias de ponta para o seu tratamento, valorização e destino final (Figura 3.4).

A recolha seletiva de embalagens, alvo de estudo desta dissertação, corresponde à recolha de materiais com vista à reciclagem, sendo a separação feita por três fluxos: embalagens de vidro, papel/cartão e plástico/metal. Os resíduos provenientes da recolha seletiva são direcionados para centros de triagem, onde é realizada a separação de materiais para envio para reciclagem.

Os resíduos oriundos da recolha seletiva de biorresíduos, como é o caso de resto de comida de cantinas, restaurantes e mercados, são encaminhados para a Estação de Tratamento e Valorização Orgânica (ETVO). Os resíduos biodegradáveis recolhidos são transformados em composto (corretivo agrícola) e biogás, que pode ser utilizado na produção de energia elétrica, exportada para a rede elétrica nacional.

Por fim, a Valorsul é também responsável pelo tratamento de resíduos de recolha indiferenciada, comumente referida como lixo comum. Os resíduos indiferenciados são encaminhados para o destino mais adequado, destacando-se a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (CTRSU), responsável pela incineração dos resíduos para valorização energética. As escórias resultantes da atividade na CTRSU são encaminhadas para a Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias (ITVE), onde ocorre a remoção de elementos grosseiros, contaminantes e metais ferrosos e não-ferrosos. Os metais são encaminhados para reciclagem e as escórias valorizadas são utilizadas na produção de um agregado artificial aplicável na construção.

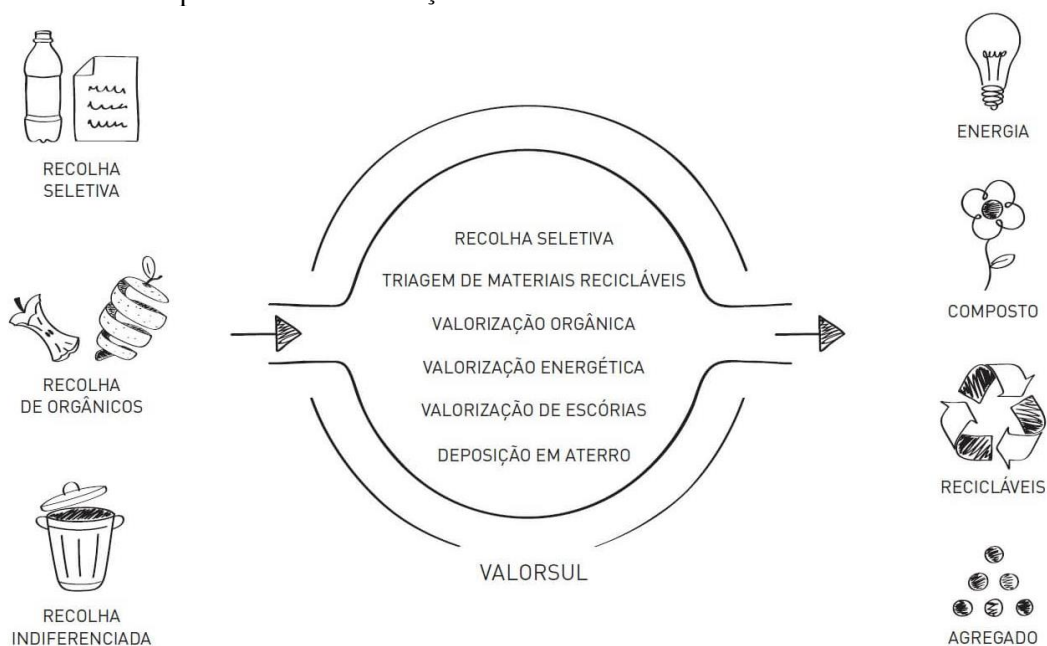


Figura 3.4 - Atividade da Valorsul
Adaptado de Valorsul (2019)

3.2 Evolução e cumprimento de metas PERSU

Portugal necessita de cumprir as metas de preparação para reutilização e reciclagem de resíduos urbanos impostas pela Diretiva nº 2008/98/CE (Diretiva Quadro Resíduos), metas de Reciclagem e Valorização de resíduos de embalagem estabelecida na Diretiva nº 94/62/CE e meta de deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro, estabelecida pela Diretiva 1999/31/CE. Assim, e de modo a garantir uma distribuição proporcional de esforços, o PERSU responsabiliza cada SGRU pelo cumprimento de três metas intercalares com uma base anual: i) deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro, ii) preparação para reutilização e reciclagem e iii) retomas com origem em recolha seletiva (definição no glossário). As duas primeiras contribuem diretamente para o cumprimento das metas nacionais, enquanto a meta de retomas com origem em recolha seletiva contribui indiretamente para que Portugal atinja as metas de preparação para reutilização e reciclagem e de reciclagem de resíduos de embalagem (Agência Portuguesa do Ambiente et al., 2014).

Neste sentido foi redigido o Despacho 3350/2015 (2015) que define as metas intercalares por SGRU relativamente à deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro, preparação para reutilização e reciclagem e retomas com origem em recolha seletiva, para o período 2016-2020. A meta de retoma com origem em recolha seletiva, é a única que engloba apenas a recolha trífuxo, ou 3F, isto é, os três principais fluxos de recolha seletiva de material: papel/cartão, plástico/metal e vidro.

3.2.1 Meta de retoma com origem em recolha seletiva

O estabelecimento da meta de retomas com origem em recolha seletiva considera que os fatores que mais influenciam a recolha seletiva 3F são o potencial de resíduos recicláveis (soma dos recicláveis no total de resíduos com recicláveis recolhidos) e o custo unitário de recolha. Estes podem ser aproximados às variáveis: i) produção total de RU e ii) densidade populacional, mais facilmente calculados pelos SGRU (Agência Portuguesa do Ambiente et al, 2014).

A equação 3.1 (ERSAR, 2020) transcreve a fórmula prevista no PERSU 2020 para o cálculo da meta de retoma com origem em recolha seletiva, sendo o 0,93 o coeficiente global de transformação de recolha seletiva em retomas.

$$\text{Meta de retoma com origem em recolha seletiva} = \frac{0,93 \times \text{Recolha seletiva 3F}}{\text{Número de habitantes}} \quad (3.1)$$

Apresentam-se na Tabela 3.1 as metas intercalares, conforme definido pelo Despacho nº 3350/2015 para a Valorsul. No despacho realça-se que a determinação dos valores foi feita face à produção do ano de referência (2012). Nota-se que as metas estão sujeitas a mecanismos de correção em função da produção de RU (conforme descrito no Anexo III do PERSU 2020), sendo corrigidas anualmente.

Tabela 3.1 - Meta de retoma com origem em recolha seletiva no sistema Valorsul para o período 2014 -2020 (kg per capita por ano)
Adaptado de Despacho 3350/2015

Retoma de Recolha Seletiva (Kg/hab/ano)	2016	2017	2018	2019	2020
Meta definida no (Despacho 3350/2015, 2015)	40	42	44	47	49

3.2.2 Resultados do indicador relativo a retomas de recolha seletiva

Fruto de investimento na área, a nível de infraestruturas, serviços e comunicação, a retoma de recolha seletiva multimaterial tem apresentado uma tendência crescente. Entre os

anos de 2016 e 2019 verifica-se assim um crescimento de 30% na retoma de recolha seletiva, o que tem permitido cumprir as metas intercalares propostas pelo PERSU (Tabela 3.2). Em 2020, a recolha seletiva sofreu um decréscimo, fruto da pandemia COVID-19 que teve implicações a dois níveis, um decréscimo da produção nalguns municípios da região de Lisboa relacionado com o fecho da atividade comercial e de serviços, bem como a suspensão do turismo; implicações a nível dos meios de recolha dos municípios decorrentes dos planos de contingência aplicados. Neste sentido, no ano de 2020 a Valorsul não conseguiu atingir o valor fixado de 51 Kg/(hab.ano) (Valorsul, 2021). Não obstante, o forte crescimento verificado nos últimos anos, para o cumprimento da meta nacional de reciclagem de embalagens, é imprescindível continuar o trajeto de crescimento da recolha seletiva multimaterial.

Tabela 3.2 - Meta de Retomas de Recolha Seletiva da Valorsul, calculadas no respetivo ano, e Resultados no período 2016-2020
Adaptado de ERSAR (2017, 2018, 2019, 2020) e Valorsul (2021).

Retoma de Recolha Seletiva (Kg/(hab.ano))	2016	2017	2018	2019	2020
Meta	40	44	49	52	51
Resultados atingidos pela Valorsul	42	45	50	54	49

3.3 Sistema de informação geográfica e utilização de novas tecnologias

Para acompanhar a evolução tecnológica, a Valorsul tem investido em novas tecnologias a fim de encontrar as melhores soluções para os serviços prestados. A empresa possui, desde 2002, um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esta tecnologia é utilizada principalmente para i) a caracterização dos resíduos produzidos na área de intervenção da empresa, ii) a criação de circuitos de recolha seletiva, iii) a georreferenciação das unidades operacionais e dos dados de exploração das mesmas e iv) a georreferenciação de reclamações.

Em algumas regiões, especificamente na região Oeste e na freguesia de Alfragide, a empresa também já utiliza o software 360Waste. Através da geolocalização do circuito e dos locais de recolha, esta ferramenta permite otimizar as rotas de recolha e responder prontamente a novas solicitações de recolha. Isto é possível através da conjugação de sensores com tecnologia ultrassom para medição do volume dos contentores, sistema RFID para verificar as entradas e saídas dos contentores durante a operação do veículo e tablets para suporte da operação no terreno. As informações recolhidas durante a operação e pelos sensores podem ser consultadas numa plataforma online. Esta plataforma disponibiliza também informações referentes i) ao nível de enchimento para cada contentor e o seu histórico, ii) à análise detalhada da frequência de recolha, iii) ao registo de anomalias ou necessidades de serviço, iv) a um mapa de localização de contentores, v) a algoritmos de previsão de enchimento e vi) ao registo de manutenções e outras informações relevantes dos contentores.

3.4 Recolha seletiva na região de Lisboa

Nos cinco municípios integrantes da região de Lisboa (Amadora, Lisboa, Loures, Odivelas e Vila Franca de Xira), a recolha seletiva multimaterial dos fluxos vidro, papel/cartão e embalagens de plástico/metal, é executada pelos municípios, no âmbito de protocolos estabelecidos.

Como consequência do período pandémico, houve apoio da Valorsul nos municípios de Loures e Odivelas, por contratação de prestações de serviço, para apoiar a recolha seletiva na zona. Por outro lado, a pedido do Município da Amadora, a Valorsul iniciou um projeto-piloto de recolha seletiva na freguesia de Alfragide, descrito em detalhe no subcapítulo 3.5.

Os valores de capitação de recolha seletiva nas 5 freguesias da região de Lisboa são, geralmente, menores que os da região Oeste, à exceção da freguesia de Lisboa, como é possível observar na Figura 3.5, que apresenta os resultados obtidos em 2019.

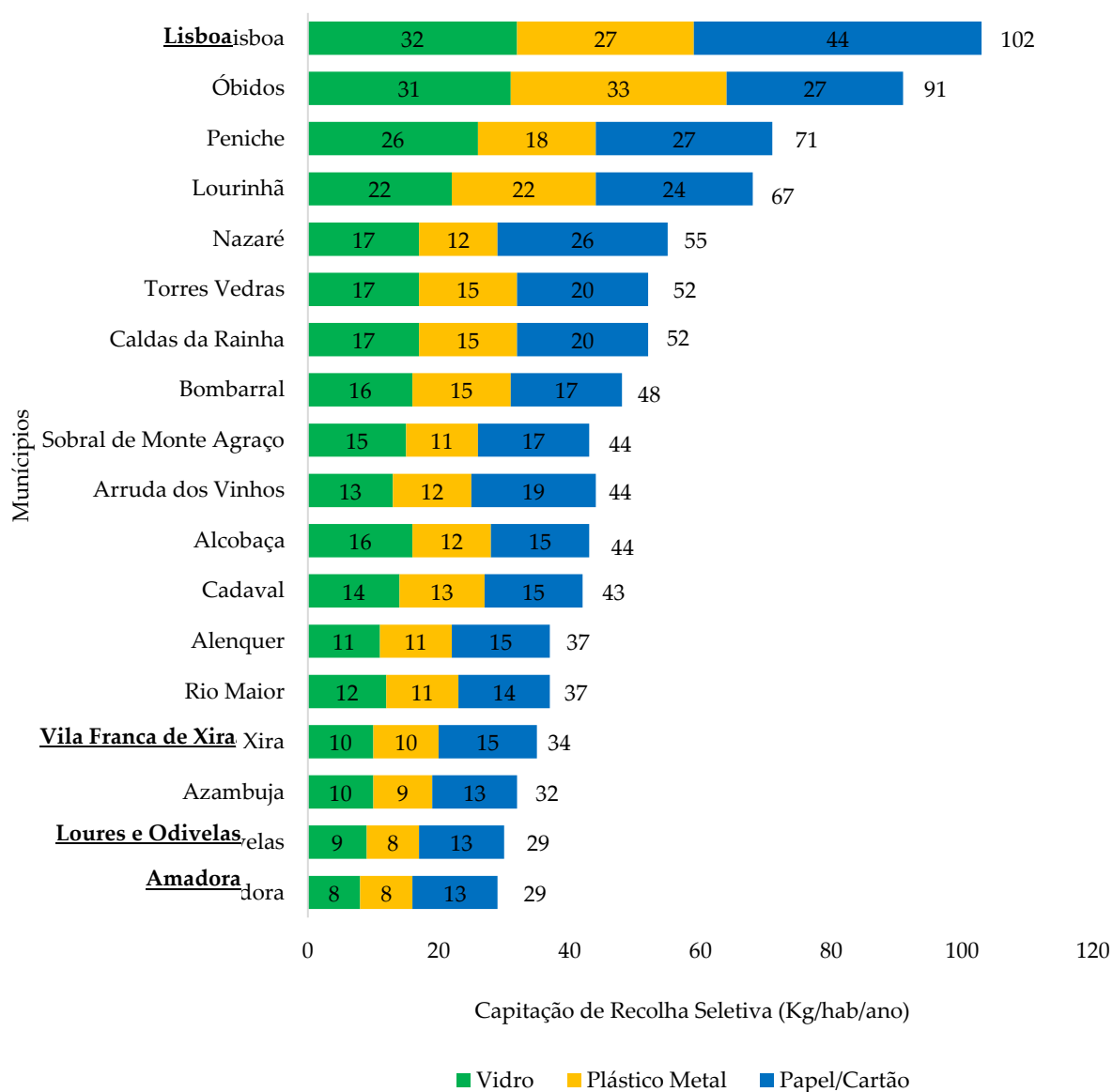


Figura 3.5 - Capitação de Recolha Seletiva em 2019 nos municípios da Zona de Lisboa, a negrito sublinhado, e do Oeste
Adaptado de Valorsul (2020)

3.4.1 Tipologia de contentorização

Os municípios da região de Lisboa têm a responsabilidade não só da recolha, mas também da contentorização instalada no território, que é diversa e inclui, consoante o concelho, recolha de proximidade e/ou recolha porta-a-porta. As tipologias dos equipamentos de recolha divergem consoante as necessidades da população e as características do território. Segundo Rodrigues (2016) existem 10 "recipientes-tipo", esquematicamente representados na Tabela 3.3, que têm como principal diferença o acoplamento à viatura de recolha.

Tabela 3.3 - "Recipientes-tipo"
Adaptado de Rodrigues (2016)

	Engate para Elevador		Engate para Grua	Engate para Gancho
	Carga Posterior	Carga Lateral		
Superfície Móvel	Tipo 1 (35-110L) Tipo 2 (120-1100L)			
Superfície Imóvel	Tipo 9 (cubas com até 3 contentores do tipo 2: 800-1000L)	Tipo 3 (1800-3200L) Tipo 8 (3200-4000L)	Tipo 4 (2500-3200L)	
Semi-subterrâneo			Tipo 5 (300-5000L)	
Subterrâneo			Tipo 6 e 7 (1000-5000L)	Tipo 10 (12000-25000L)

No caso da recolha na via pública, que terá o enfoque desta dissertação, as tipologias mais usadas são tipo 2, 3, 4, 5 e 6. Especificamente na área de intervenção da Valorsul existem 6 equipamentos com diferentes capacidade e acoplamentos com a viatura, como representado na Tabela 3.4. e ilustrado na Figura 3.6. Assim, uma viatura apenas pode recolher os contentores projetados para tal, nomeadamente, uma viatura com Grua, as mais usadas pela empresa, apenas pode recolher os contentores com capacidades de 2500L, 3000L e 5000L.

Tabela 3.4 - Contentores de Recolha na Via Pública consoante a tipologia de Recolha da Viatura
Adaptado de Valorsul (2020)

	Carga Posterior	Carga Lateral	Engate para Grua
Superfície Móvel	Tipo 2 - 1100L		
Superfície Imóvel		Tipo 3 - 2200L/3200L	Tipo 4 - 2500L
Semi-Subterrâneo			Tipo 5 - 5000L
Subterrâneo			Tipo 6 - 3000 L



Figura 3.6 - Recipientes usados pela Valorsul na Recolha na Via Pública: (a) Tipo 2 - 1100L, (b) Tipo 3 - 3200L, (c) Tipo 4 - 2500L, (d) Tipo 5 - 5000L, (e) Tipo 6 - 3000L

3.5 Projeto – piloto de recolha seletiva em Alfragide

Perante o cenário de capitação de recolha seletiva nos municípios de Lisboa e Oeste (Figura 3.5), no início de 2020, a Valorsul iniciou um projeto-piloto de recolha seletiva na freguesia de Alfragide, concelho da Amadora, que passou pela Valorsul assumir a recolha seletiva numa área delimitada do município. Devido ao sucesso deste projeto, pretende-se alargar o modelo a outras freguesias da zona de Lisboa.

O projeto-piloto em Alfragide foi dividido em 3 fases principais:

(1) A primeira fase realizada no ano de 2019, que compreendeu o estudo, caracterização e escolha da área-piloto, definição da contentorização adicional necessária e de meios de recolha, e, por último, a definição do plano de comunicação;

(2) Lançamento e execução do piloto, com duração de 2 anos, entre janeiro de 2020 e dezembro de 2021;

(3) Avaliação dos resultados, entre janeiro e março de 2021.

Como parte do projeto começou-se a utilizar também o software 360Waste (já utilizado no Oeste) para monitorização do enchimento dos contentores e proporcionar à população um serviço mais eficiente e que transmita confiança.

3.5.1 Objetivos do projeto

Na primeira fase foi fundamental a definição clara dos objetivos e metas a atingir pelo projeto. O objetivo deste projeto-piloto, a realizar no Município da Amadora, era aumentar a capitação de recolha seletiva trifluxe numa área-piloto selecionada, testando soluções de reforço para a recolha seletiva, nomeadamente o aumento da rede de ecopontos. A meta proposta para o concelho da Amadora é apresentada na Tabela 3.5, correspondendo a um aumento 50% da capitação de recolha seletiva verificada em 2019. As metas específicas para a área-piloto estão representadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.5- Meta proposta para o projeto-piloto no município da Amadora

	Indicador 2019	Meta propostas	Varição percentual
Capitação da Recolha Seletiva (Kg/(hab.ano))	28	42	▲ 50%

Tabela 3.6 - Metas propostas para a área-piloto

Metas propostas	
Densidade de ecopontos (hab/ecoponto)	180
Capitação Recolha Seletiva (Kg/(hab.ano))	42

3.5.2 Escolha e caracterização da área-piloto

A Amadora é uma área predominantemente urbana e está dividida em 6 freguesias: Águas Livres, Alfragide, Encosta do Sol, Falagueira-Venda Nova, Mina de Água e Venteira. Escolheu-se a freguesia de Alfragide como área-piloto por ser i) uma zona limítrofe do município, facilitando o acesso à mesma, ii) a tipologia de recolha ser maioritariamente na via pública, iii) ter elevada densidade populacional e iv) ter elevado potencial de reforço de equipamento, isto é, a comparação entre a densidade atual de ecopontos e a densidade esperada (180 hab/ecoponto).

O município da Amadora apresenta uma população de 171 719 habitantes, segundo os censos de 2021, uma área de 23, 79 Km² e densidade populacional de 7 218 hab/km², sendo identificada como o município mais densamente povoado do país. Especificamente a freguesia de Alfragide tem uma população de 17 045 habitantes e uma área de 2,51 Km² (INE, 2021).

No entanto, na altura do estudo das freguesias, ano de 2019, apenas os dados dos censos de 2011 eram conhecidos, pelo que foram estes os considerados para o cálculo da densidade de ecopontos. Em 2019, antes do desenvolvimento do projeto, a freguesia de Alfragide apresentava as características apresentadas na Tabela 3.7.

Na caracterização inicial, a Valorsul concluiu que para atingir a densidade de 180 habitantes por ecoponto seria necessário colocar **53 novos ecopontos**, totalizando 95 ecopontos finais na freguesia. Com este reforço, aliado a uma recolha eficiente e regular, era previsto um acréscimo de 50% da captação de recolha seletiva trífuxo, passando de 28 Kg/(hab.ano) para 42 Kg/(hab.ano) nesta zona.

Na análise com base na área de influência de 25 metros, explicada no subcapítulo 4.4.2, definiram-se 66 locais "ótimos", que variam entre locais com contentores comumente designados "Molok" de 5000L e 3000L (Tipo 5) e contentores de superfície de 1000L (Tipo 2), respetivamente, 36, 4 e 26 pontos de recolha. De entre os locais "ótimos" foi dada prioridade aos locais com maior volumetria de contentorização de indiferenciados, isto é, locais com um ou mais contentores "Molok". Foram ainda identificados locais com equipamento de recolha seletiva isolados de modo a serem convertidos em ecopontos. Os 66 locais "ótimos" estão representados a amarelo na Figura 3.7 e Figura 3.8, que representam, respetivamente a zona norte e sul de Alfragide.

Existem locais onde ainda é necessária a colocação de ecopontos, devido à falta de pontos de recolha na área. Nomeadamente na Rua Dr. Luís Madureira, na qual foram identificados 4 locais "ótimos", não foi possível colocar os ecopontos desejados devido às características do local, sendo necessário aguardar a execução de obra. Existem ainda 4 locais "ótimos" que após a visita ao local foram rejeitados, por comprometerem a visibilidade dos condutores e existirem ecopontos na proximidade dos locais identificados. Dos 66 locais "ótimos" houve 23 que ficaram pendentes, na altura da visita ao local, por ocuparem estacionamento, sendo necessária autorização para colocação de ecopontos de local e a necessidade de obras no local para ser possível a colocação do ecoponto na proximidade de contentores de resíduos indiferenciados.

Tabela 3.7 - Características da freguesia de Alfragide, no ano 2019, no desenvolvimento do projeto-piloto de recolha seletiva

	Alfragide
População Censos 2011	17 045 habitantes
População Censos 2021	16 866 habitantes
Nº Ecopontos	42 ecopontos
Densidade de Ecopontos (Censos 2011)	406 hab/ecoponto

3.5.3 Plano de Comunicação

Na área de gestão de resíduos um projeto de sucesso resulta da conjugação entre um sistema eficiente de recolha de resíduos e um plano de comunicação e informação da população. O plano de comunicação consistiu numa campanha de sensibilização para informar os habitantes da freguesia de Alfragide, assim como incentivar a separação de resíduos aos seus habitantes, instituições e comerciantes. A campanha tinha também como objetivo criar melhores condições de vida e ambiente no concelho, pelo que usou como slogan "VIVA ALFRAGIDE, MELHOR".

Esta campanha consistiu na colocação de 6 outdoors na freguesia de Alfragide para dar conhecimento dos novos ecopontos (Figura 3.9), destacando-se o outdoor colocado na rotunda da entrada do IKEA devido à sua localização central.



Figura 3.7 - Locais "ótimos" para colocação de novos ecopontos, locais com contentores indiferenciados e ecopontos existentes em 2019 em Alfragide Norte

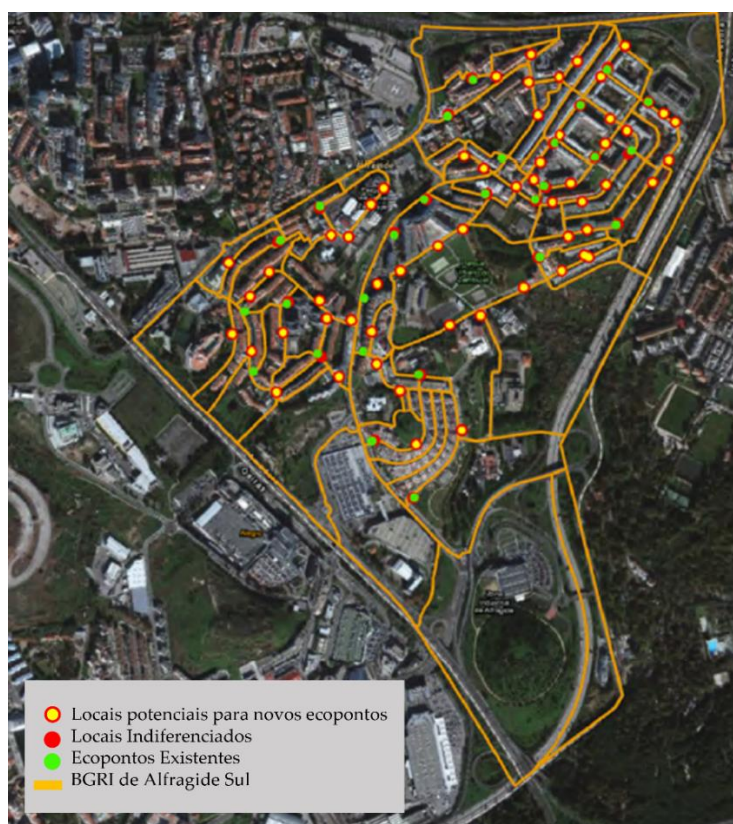


Figura 3.8 - Locais "ótimos" para colocação de novos ecopontos, locais com contentores indiferenciados e ecopontos existentes em 2019 em Alfragide Sul



Figura 3.9 - Outdoor colocado na freguesia de Alfragide para dar a conhecer à população o projeto

Por forma a existir um contacto pessoal com os habitantes foram realizadas visitas porta-a-porta na grande maioria das habitações da freguesia e entregues em mão 2000 conjuntos de *ecobags*, o que também vai ao encontro da literatura estudada, já que as campanhas de comunicação presenciais são as que têm mais sucesso. Nas habitações que não foi possível este contacto, foram colocados folhetos nas caixas de correio e informações nos elevadores, assim como a entrega de *ecobags* na Junta de Freguesia para os habitantes que não os puderam receber em mão.

Uma iniciativa paralela foi a colocação de placas nos ecopontos e contentores de indiferenciados, não só para chamar a atenção dos novos ecopontos, mas também para incentivar a correta separação dos resíduos.

Por fim, foi fundamental o envolvimento da Junta de Freguesia, na divulgação do projeto nas redes sociais, entre outras ações, assim como campanhas nas escolas.

3.6 Resultados do projeto de recolha seletiva em Alfragide

Atualmente já é possível ter acesso a dados correspondentes ao horizonte temporal de 1 ano, entre janeiro e dezembro de 2020. Assim é possível analisar e comparar os resultados obtidos até agora com as metas propostas. Para o efeito, os indicadores apresentados na Tabela 3.8 serão estudados.

Tabela 3.8 - Definição dos indicadores do projeto-piloto na freguesia de Alfragide

Indicador	Descrição	Unidade
Quantidades de Recolha Seletiva (RS)	Quantidades de resíduos recolhidos por fluxo Plástico/Metal, Papel/Cartão, Vidro e Global	Toneladas
Densidade de ecopontos	Número de habitantes por ecoponto	Hab/ecoponto
Capitação de RS	Quantidades de Recolha Seletiva trifluxo recolhidas por habitante anualmente	Kg/(hab.ano)
Capitação de Recolha Indiferenciada (RI)	Quantidades de Recolha Indiferenciada recolhidas por habitante anualmente	Kg/(hab.ano)
Valorização Multimaterial	Taxa de resíduos dos fluxos multimateriais (papal/cartão, plástico/metal e vidro) que são valorizados	%
Taxa de Desvio Trifluxo	Razão entre a quantidade de resíduos recolhidos seletivamente e a quantidade total de resíduos urbanos	%

3.6.1 Resultados no concelho da Amadora

No concelho da Amadora, como seria de esperar, não se verifica um crescimento acentuado das quantidades, já que a freguesia de Alfragide corresponde a aproximadamente 10% da população total do concelho. Não obstante, a mudança em apenas uma freguesia permitiu aumentar a captação de recolha seletiva do município em quase 14% em 1 ano (Tabela 3.9). Em termos comparativos, num período de 3 anos, entre 2016 e 2019, a captação de recolha seletiva trifluxo aumentou de 26 Kg/(hab.ano) para 29,16 Kg/(hab.ano), o que corresponde a um aumento de 12%. Realça-se também que foi possível reduzir a captação de resíduos urbanos indiferenciados e aumentar a valorização multimaterial.

No Município da Amadora, entre 2016 e 2019, observou-se uma taxa de desvio de recolha seletiva trifluxo na ordem dos 7,2%-7,5%. No ano de 2020 verificou-se, pela primeira vez, esta variável ultrapassar os 8%, começando a aproximar-se da taxa de desvio trifluxo de 11%, observada na região Oeste (Figura 3.10).

Fazendo uma análise comparativa de 2019 e 2020 em termos mensais, Figura 3.11, no mês de janeiro, como ainda estavam a ser colocados contentores no terreno, apenas se observa um crescimento de 6% em 2020 em relação ao ano de 2019 nas quantidades recolhidas de papel/cartão. Neste sentido, fevereiro apresenta o maior aumento percentual, superior a 25% nas quantidades recolhidas de plástico/metall. Este crescimento percentual estabiliza no mês de março, o que resulta numa média de crescimento entre os meses de março e dezembro de 13% nas quantidades recolhidas de plástico/metall e de 8% nas quantidades recolhidas de papel/cartão. Não se fez a comparação mensal da recolha de Vidro, já que apresenta elevada variação devido à reduzida frequência de recolha.

Tabela 3.9 - Resultados do projeto-piloto de Recolha Seletiva da Amadora (2019 e 2020)

	2019	2020	Variação Percentual
Quantidade de RS (t)	5306	5953	▲12%
Número ecopontos	451	498	▲10%
Densidade de ecopontos (hab/ecoponto)	406	367	▼1%
Captação RS (Kg/(hab.ano))	29	33	▲14%
Captação RI (Kg/(hab.ano))	336	332	▼1%
Valorização Multimaterial (%)	7,45	8,38	▲12%

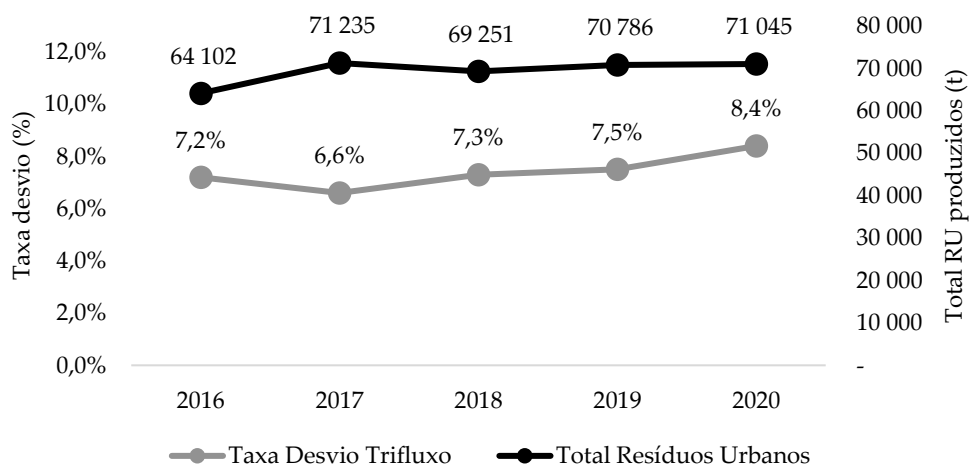


Figura 3.10 - Taxa de Desvio Trifluxo e Total de Resíduos Urbanos do Concelho da Amadora
Adaptado de Valorsul (2020)

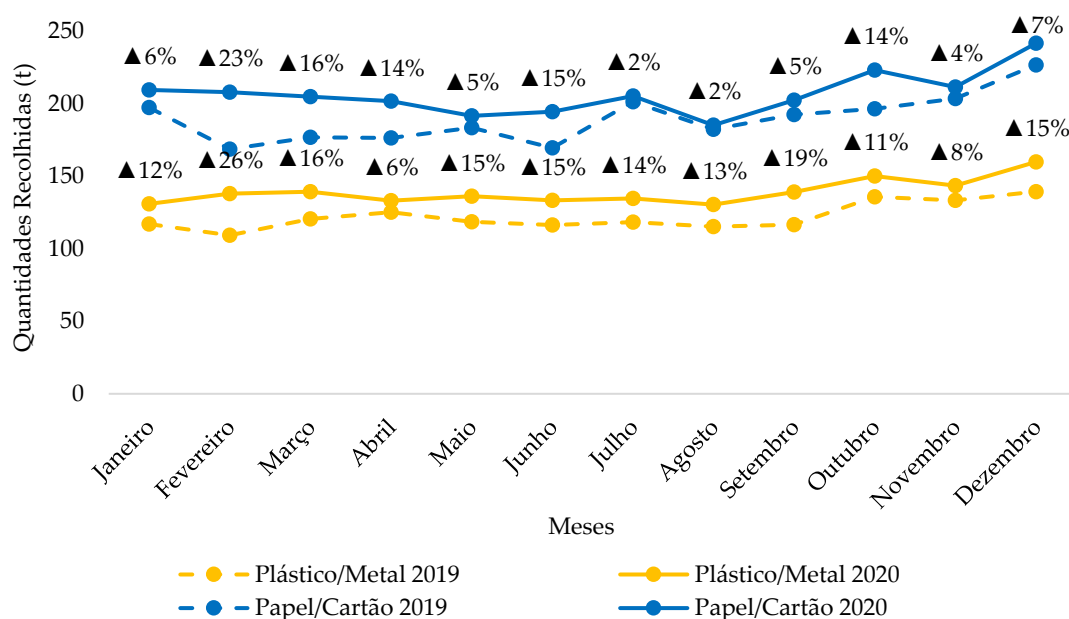


Figura 3.11 - Evolução das quantidades recolhidas de plástico/metal e papel/cartão nos anos de 2019 e 2020 no concelho da Amadora

3.6.2 Resultados na freguesia de Alfragide

Desde o início do projeto que se começaram a observar resultados motivadores em Alfragide. Em 14 de fevereiro de 2020, após a colocação no terreno de 40 ecopontos, dos 53 previstos, a captação de RS na freguesia já ultrapassava o previsto inicialmente para o projeto, 42 Kg/(hab.ano). No total, a Valorsul recolheu na freguesia de Alfragide entre janeiro de 2020 e dezembro de 2020, 882 toneladas, o que equivale a 243 toneladas de vidro, 241 toneladas de plástico/metal e 398 toneladas de papel/cartão (Figura 3.12).

Assim, a Valorsul aumentou as quantidades recolhidas em 368 toneladas, um aumento de 70% em relação ao ano de 2019, e atingiu uma captação de Recolha Seletiva de 52 Kg/(hab.ano) (calculado com base nos censos 2021) com a colocação dos novos ecopontos, uma frequência de recolha adequada ao enchimento da contentorização e a campanha de comunicação

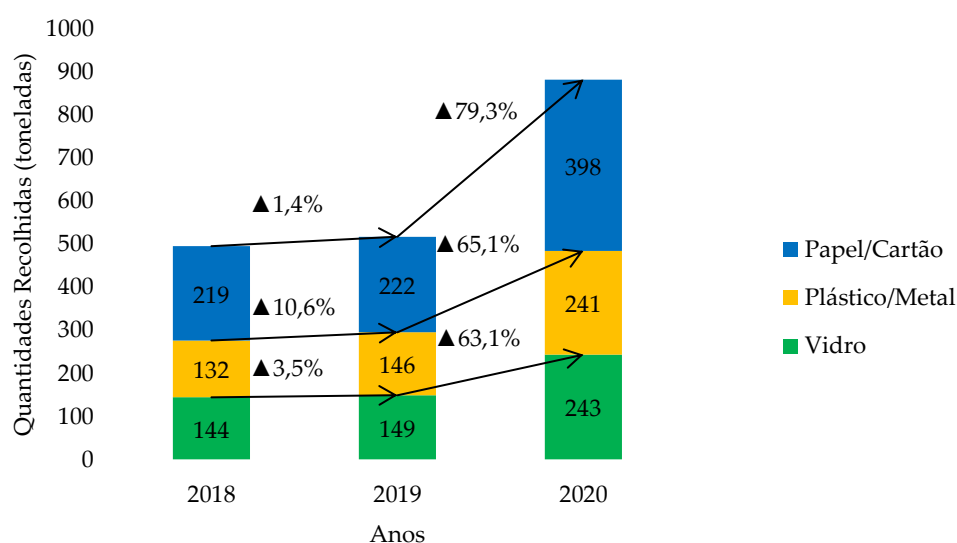


Figura 3.12 - Quantidades de Recolha Seletiva trífuso nos anos de 2019 e 2020 na freguesia de Alfragide

Em 31 de dezembro de 2020, dos 53 ecopontos, tinham sido colocados 47, não tendo sido possível a colocação dos 53 devido a espaço indisponível no terreno. Segundo os Censos de 2021, Alfragide tem 16 866 habitantes. Logo, com os 89 ecopontos existentes no terreno conseguiu-se, até dezembro de 2020, reduzir a densidade por ecoponto de 406 hab/ecoponto (calculado com censos 2011) para 190 hab/ecoponto (calculado com censos de 2021). Realça-se que estes valores são estimados, já que estão dependentes do número de habitantes da área Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Indicadores obtidos para a freguesia de Alfragide nos anos 2019 e 2020

	2019 (censos 2011)	2020 (censos 2021)
Quantidade de RS (ton)	517	882
Número ecopontos	42	89
Densidade de ecopontos (hab/ecoponto)	406	190
Capitação RS (Kg/(hab.ano))	29	52

3.6.3 Recolha e enchimento de contentores em Alfragide

Como descrito na secção 3.5.1, um dos princípios do projeto passava pela utilização do software 360Waste para controlar com maior facilidade as quantidades recolhidas. Tendo isto em conta, foi possível ter acesso às quantidades recolhidas, à média de enchimento, ao número de recolhas e número de deslocações a cada ponto de recolha no ano de 2020. Analisou-se separadamente os dados dos meses entre janeiro e fevereiro e março a dezembro uma vez que nos primeiros ainda estavam a ser colocados os novos contentores e, por isso, os valores ainda não tinham estabilizado.

A recolha de vidro tem a particularidade de ser feita com muito menor frequência, especialmente devido ao facto da densidade que ocupa nos contentores ser a mesma que ocupa no veículo de recolha, pelo que se necessita apenas de os recolher, consoante a sua localização, entre 1 e 6 vezes por mês. Deste modo, a recolha de vidro é efetuada por circuitos dinâmicos, enquanto os de papel/cartão e plástico/metall são fixos, podendo ser recolhidos mais ou menos contentores, consoante o nível de enchimento na altura da recolha.

No fim de 2020 existiam 89 contentores de vidro, 94 de papel/cartão e 91 de plástico/metall na freguesia de Alfragide (Tabela 3.11). Verificou-se uma frequência média mensal de 1,2 recolhas do vidro, 26,5 recolhas do papelão e 8,9 recolhas do embalão (média entre março e dezembro).

O fluxo de papel/cartão, apesar de ser recolhido, aproximadamente, 26 vezes por mês, o número de vezes em que existe de facto transferência dos resíduos para os veículos é menor. Na maioria das viagens verifica-se que o enchimento dos contentores é reduzido, não existindo a necessidade de recolha. Esta diferença é explicada pela elevada variação da taxa de enchimentos nos diferentes pontos de recolha e, como as rotas são fixas, é necessário efetuá-las com base nos contentores que apresentam maior utilização.

Tabela 3.11 - Número de contentores existentes e recolhidos e frequência de recolha por fluxo de resíduo na freguesia de Alfragide em 2020

	Nº de contentores existentes	Nº de contentores recolhidos	Média Recolhas Mensais (com e sem transferência)
Vidro	89	1 198	1,2
Plástico/Metall	94	26 869	26,5
Papel/Cartão	91	9 369	8,9

Adicionalmente, o fluxo de papel/cartão é o que agrega maiores quantidades de resíduos anualmente, no entanto, é também o que apresenta maior variação entre os pontos de recolha, já que se verifica uma média superior a 11 toneladas recolhidas nos 5 pontos de recolha com maiores quantidades recolhidas, e inferior a 0,7 toneladas nos 5 pontos de recolha com menores quantidades recolhidas (Figura 3.13 e Figura 3.14). Esta discrepância leva a que as recolhas efetuadas com transferência sejam metade do número de deslocações feitas aos pontos de recolha numa rota, contrariamente ao que se verifica com os fluxos de plástico/metal e vidro, o que leva a uma taxa média de enchimento dos contentores reduzida (Figura 3.14).

Conclui-se também que nas recolhas dos fluxos de plástico/metal e papel/cartão existem contentores, em especial nos locais onde são produzidos mais resíduos, onde se verificam com frequência recolhas com transbordo. Destacam-se 4 pontos de recolha que apresentam quantidades mais elevadas, mas por conterem 2 contentores de papel/cartão é possível reduzir a taxa de recolha com transbordo (Figura 3.15).

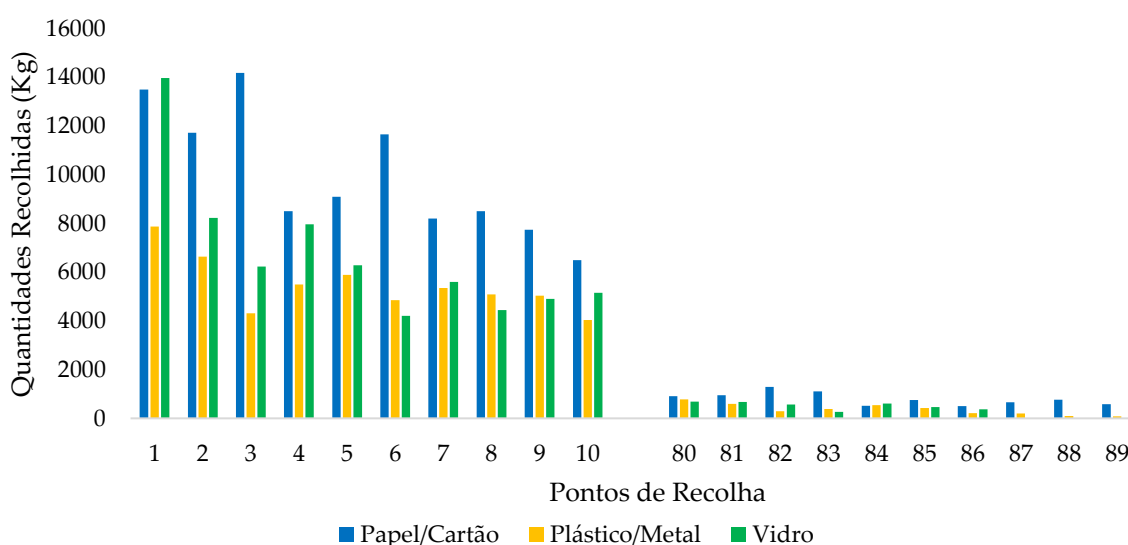


Figura 3.13 - Quantidades Recolhidas entre os meses de março e dezembro do ano de 2020 nos 10 pontos de recolha com maior e menor quantidade de resíduos recolhidos

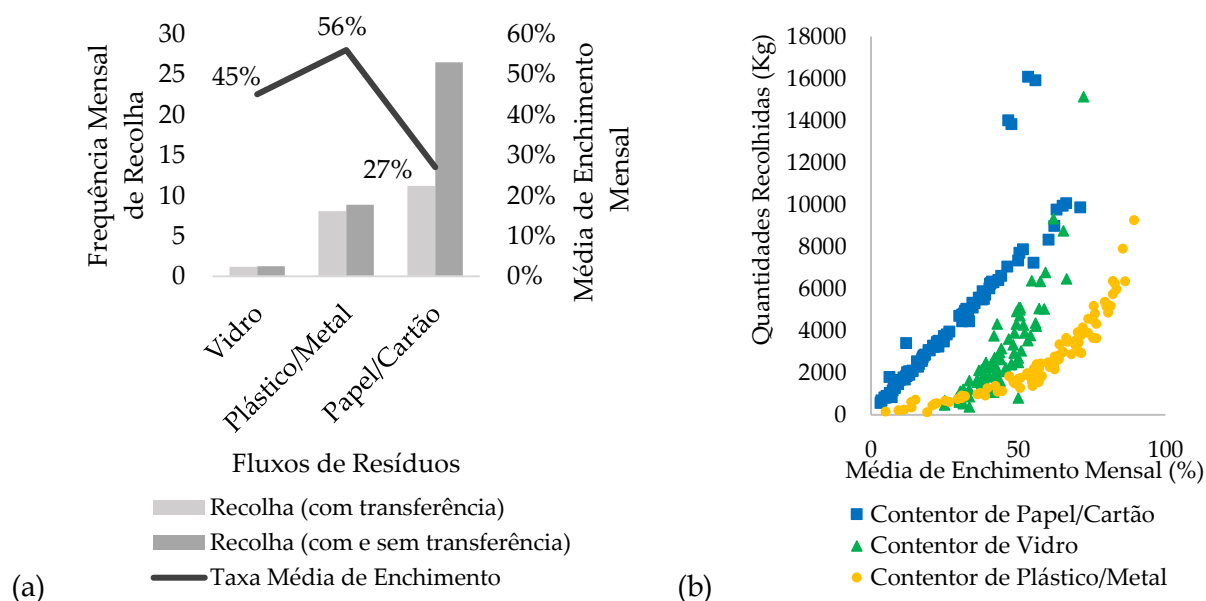


Figura 3.14 - Comparação da taxa média de enchimento mensal entre março e dezembro de 2020 com (a) número de recolhas com e sem transferência e (b) quantidades recolhidas dos fluxos de vidro, plástico/metal e papel/cartão na freguesia de Alfragide

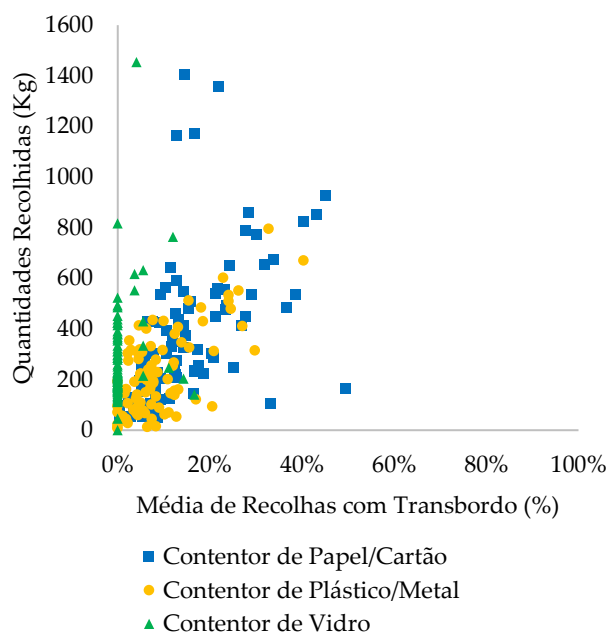


Figura 3.15 - Comparação da taxa média de recolha com transbordo entre março e dezembro de 2020 com as quantidades médias mensais recolhidas dos fluxos de vidro, plástico/metal e papel/cartão na freguesia de Alfragide

3.7 Análise dos novos pontos de recolha criados

3.7.1 Locais com maiores e menores quantidades recolhidas

A realização deste projeto na região de Alfragide levou a alterações nos hábitos de separação da população, que foram não só correspondidos com o aumento do número de contentores, mas também com uma eficiente recolha, proporcionado à população segurança no serviço prestado.

Existe uma grande disparidade entre as quantidades recolhidas nos 89 pontos de recolha existentes na freguesia (Figura 3.13). Geograficamente verifica-se que a maioria dos locais identificados como locais com maiores quantidades de resíduos recolhidos encontravam-se numa pequena zona de Alfragide. Como se pode ainda confirmar, em especial na área destacada na Figura 3.16, os ecopontos que apresentam maiores quantidades de resíduos recolhidos encontram-se na proximidade de ruas com muito comércio, supermercados, pastelarias, entre outros, destacando-se ainda a sua colocação em locais de cruzamento de estradas. Salienta-se que os locais a amarelo identificados na Figura 3.16 correspondem a novos locais de recolha, nomeadamente os pontos de recolha 5 e 9, que estão entre os que recebem maiores quantidades de resíduos.

No ponto de recolha 73 observou-se uma diminuição das quantidades recolhidas, já que em janeiro estava entre os 10 pontos de recolha com maiores quantidades da freguesia. Verifica-se que a maioria dos resíduos passou a ser depositada nos pontos de recolha 5 e 22, possivelmente por estarem mais próximos de locais de comércio, passando o ponto de recolha 73 a ser utilizado apenas pelos habitantes que moram na sua proximidade.

Por outro lado, em Alfragide Sul observou-se que existem muitos ecopontos próximos, mas onde são recolhidas poucas quantidades, a maioria dos quais foram colocados no desenvolvimento do projeto (Figura 3.17). Contrariamente à situação anterior, trata-se de uma zona habitacional, com poucas áreas de comércio, sendo todos os resíduos produzidos, resíduos domésticos.

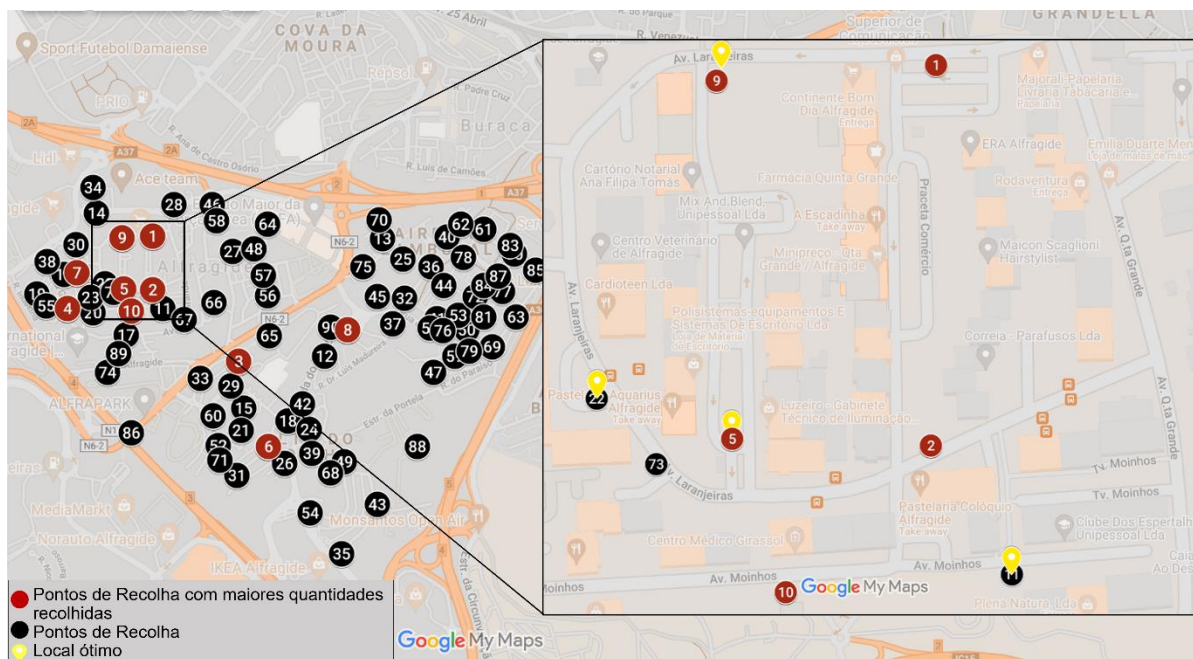


Figura 3.16 - Localização dos ecopontos na freguesia de Alfragide (sequência numérica ordenada do ponto com critério de maiores quantidades de resíduos recolhidos entre março e dezembro de 2020), com destaque para a área onde são recolhidas maiores quantidades

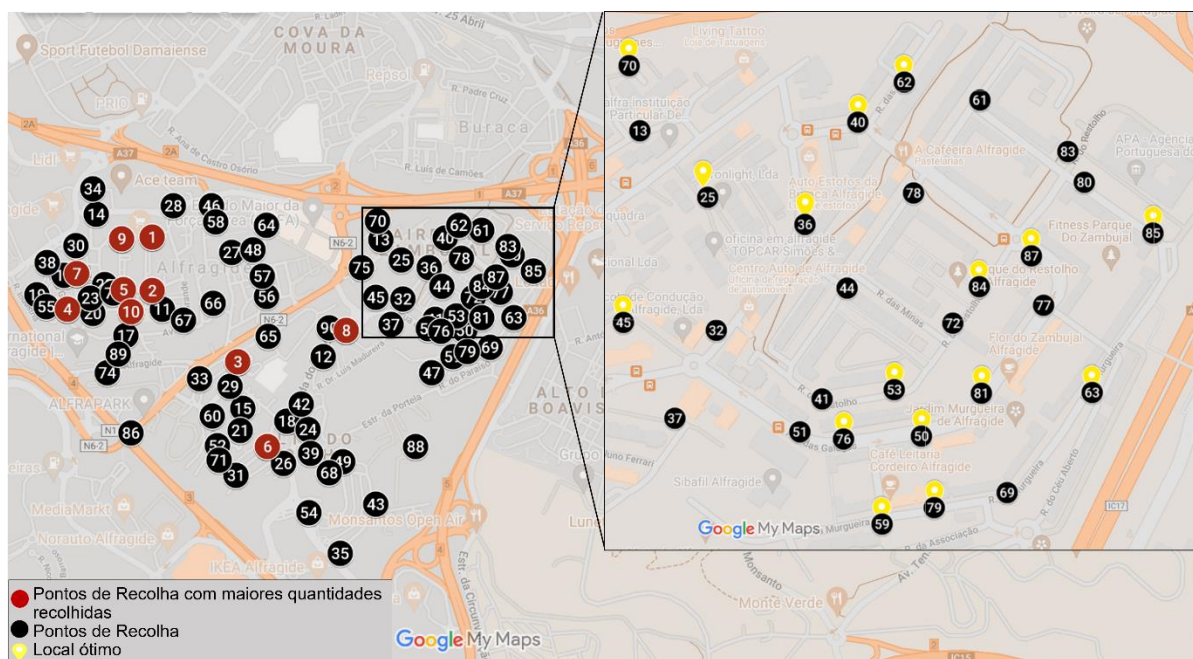


Figura 3.17 - Localização dos ecopontos na freguesia de Alfragide (sequência numérica ordenada do ponto com critério de maiores quantidades de resíduos recolhidos entre março e dezembro de 2020), com destaque para a área onde são recolhidas menores quantidades

3.7.2 Critério para localização dos novos pontos de recolha

Um dos pontos decisivos na escolha dos novos locais foi a volumetria dos contentores indiferenciados nos locais. Por forma a compreender se esta decisão se mostrou vantajosa comparou-se as quantidades médias recolhidas por local entre março e dezembro de 2020 (de modo a não serem considerados os meses de colocação de ecopontos) com a capacidade dos contentores de indiferenciados no local (Figura 3.18).

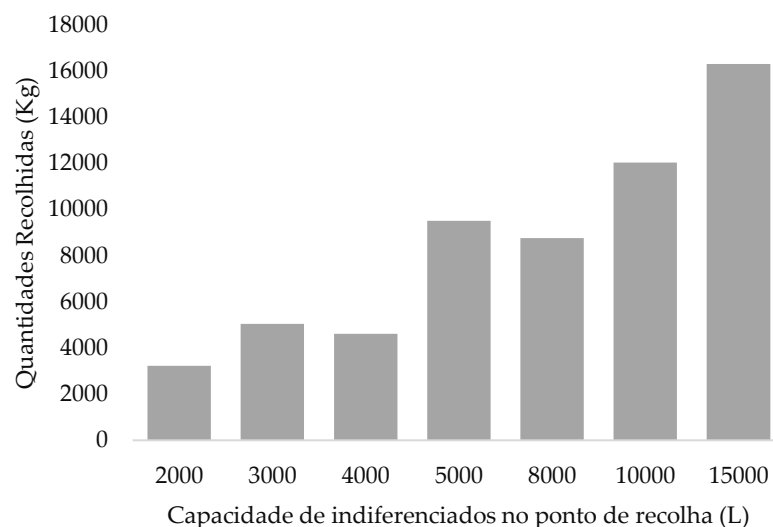


Figura 3.18 - Quantidades recolhidas por recolha seletiva em função da capacidade de indiferenciados no ponto de recolha

As capacidades de 2000 L, 3000 L e 4000 L, representadas no gráfico, correspondem a, respetivamente, 2, 3 e 4 contentores de 1000L. Enquanto as capacidades de 5000 L, 10000 L e 15000 L, representam 1, 2 e 3 contentores "Molok" de 5000 L. Por fim a capacidade de 8000 L é atingida com a conjugação de 1 contentor "Molok" de 3000 L e um de 5000 L. Como seria de esperar os locais com maior volumetria apresentam maiores quantidades recolhidas de resíduos recicláveis, comprovando que este fator de decisão deve ser mantido.

Assim, o projeto-piloto realizado em Alfragide veio comprovar que uma correta localização e número de ecopontos, aliada a uma campanha de comunicação e serviço de recolha eficiente consegue, num período de tempo reduzido, aumentar as quantidades recolhidas.

3.8 Desenvolvimento do projeto noutra freguesia

A dissertação enquadra-se no estudo de uma potencial implementação de um novo sistema de recolha seletiva de resíduos em freguesias dos concelhos de Loures e Odivelas sob a responsabilidade do Departamento IPAR (Inovação, Projetos, Análise e Reporting) da Valorsul. Semelhante ao sucedido na freguesia da Amadora espera-se utilizar o software 360Waste para a recolha seletiva de Loures e Odivelas.

3.8.1 Características populacionais e produção de resíduos

Os concelhos de Loures e Odivelas estão inseridos no distrito de Lisboa e apresentam uma área predominantemente urbana, à exceção de 3 freguesias do concelho de Loures (Bucelas, Fanhões e Lousa) que se caracterizam como medianamente urbanas. Na Tabela 3.12 podem ser consultados os dados dos 2 municípios referentes à população, área e indicadores de recolha seletiva, essenciais para a análise em termos de número de ecopontos a instalar e os circuitos a percorrer.

Entre 2016 e 2019 nos Municípios de Loures e Odivelas tem-se observado uma taxa de desvio de recolha seletiva trifluxo (quociente entre recolha seletiva e total de resíduos urbanos recolhidos), na ordem dos 6,1%-7,2%, passando de uma capitação de cerca de 23 kg/ (hab.ano) de recolha seletiva trifluxo em 2016, para uma capitação de cerca de 29 Kg/ (hab.ano) em 2019, Figura 3.19. Apesar do aumento de 26% em 3 anos, a capitação de recolha seletiva nestes municípios ainda está muito abaixo da meta para a Valorsul, que foi de 51 Kg/ (hab.ano) em 2020.

Tabela 3.12 - Caracterização dos concelhos de Loures e Odivelas
Adaptado de Valorsul (2020)

	Loures	Odivelas	Total
População (habitantes estimativa 2019)	212523	160688	373211
Área (km²)	167	27	194
Nº Ecopontos	661	491	1152
Capacidade instalada de ecopontos (m³/L)	-	-	6947700
Densidade de ecopontos (hab/ecoponto)	322	327	324
Densidade de indiferenciados	48	50	49
Produção (Kg/hab.ano)	30	27	29
Total Produção Seletiva (t)	6405	4287	10693

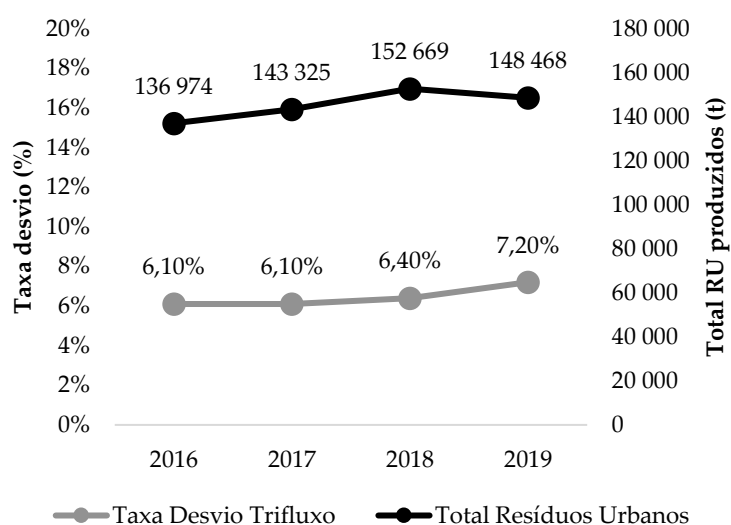


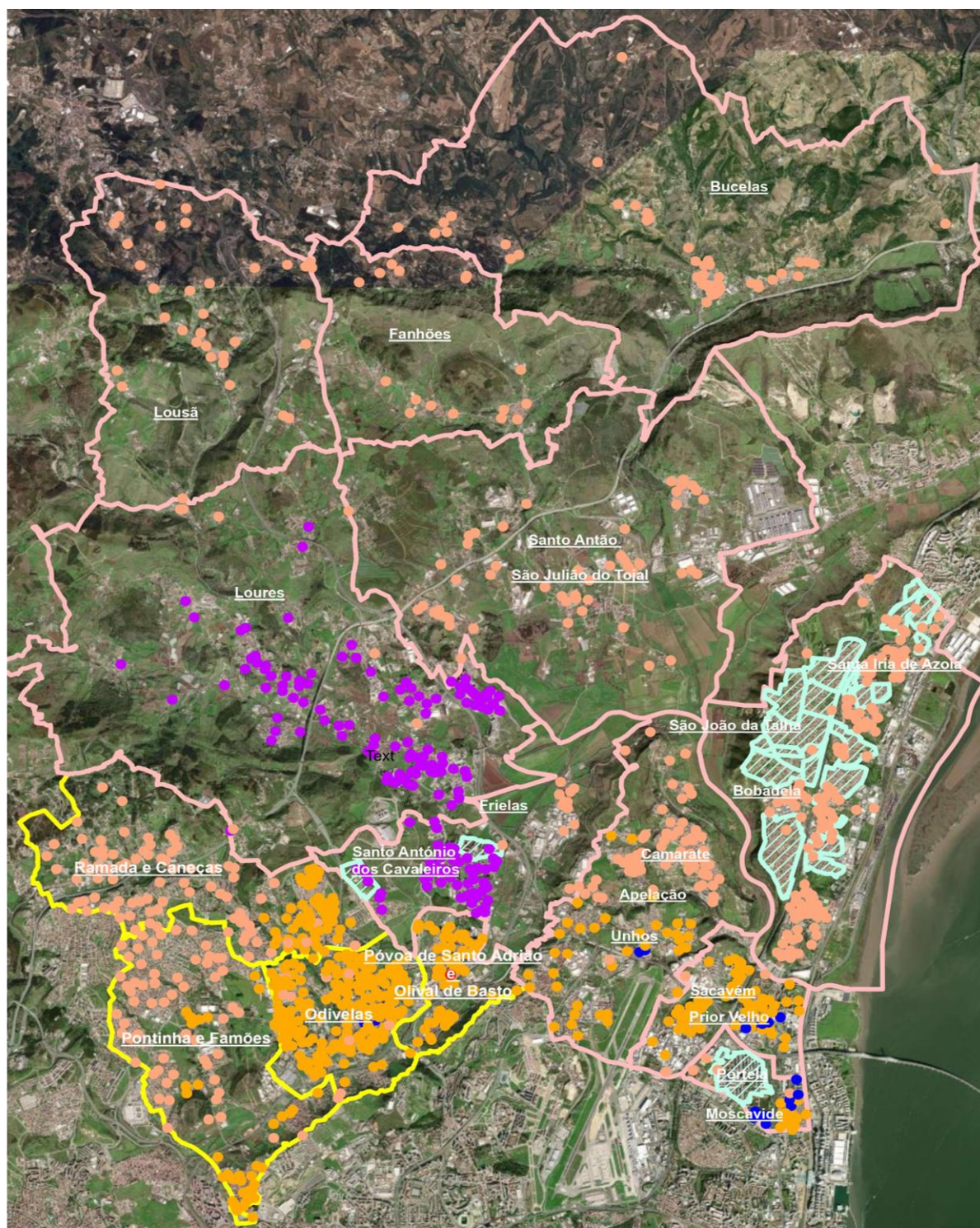
Figura 3.19 - Taxa de Desvio Trifluxo e Total de Resíduos Urbanos dos Concelhos de Loures e Odivelas
Adaptado de Valorsul (2020)

A tipologia de recolha tem especial importância dado se tratar de uma área pequena, assim esta deve ser pouco díspar, por forma a otimizar a definição dos circuitos e rotas. Com base na Figura 3.20 é possível verificar que em Odivelas apenas existe recolha na Via Pública, enquanto em Loures, nomeadamente Santo António dos Cavaleiros, União de freguesias de São João da Talha, Bobadela e Santa Iria da Azóia e Portela, é feita uma conjugação de recolha porta-a-porta com recolha por proximidade.

No seguimento desta dissertação, será tomado como enfoque a freguesia de Odivelas, como potencial zona de intervenção neste projeto, justificado na secção 4.1.1. A freguesia de Odivelas representa cerca de 41% da população total do concelho, o que equivale a uma densidade populacional de 11 807 hab/km² e uma área de pouco mais de 5 km².

3.8.2 Equipamentos de deposição de resíduos na freguesia a estudar

De forma a satisfazer as necessidades da população, existem atualmente 605 contentores na freguesia de Odivelas, sendo a sua maioria de volume 2500 L (Tabela 3.13), ou seja, a recolha tem de ser efetuada por uma viatura com grua. Considerando que em 2019 a população estimada da freguesia de Odivelas era 66209 habitantes, a densidade atual é 302 habitantes por ecoponto. A freguesia de Odivelas tem ainda a particularidade de ter apenas recolha na Via Pública.



Legenda:

- | | | |
|--|---------------------|-----------------------------------|
| Limite de freguesia do município de Odivelas | Capacidade de 1100L | Capacidade de 3200L |
| Limite de freguesia do município de Loures | Capacidade de 2500L | Capacidade de 5000L (subterrâneo) |
| Zona de recolha seletiva Porta-a-Porta | | |

Figura 3.20 - Mapa dos ecopontos e respetiva capacidade nos municípios de Loures e Odivelas

Tabela 3.13 - Tipologia de contentores e capacidade instalada por fluxo para recolha seletiva de resíduos na freguesia de Odivelas

Volume	Fluxo	Nº de Contentores	Capacidade instalada (m³)
1100L	Embalagens	3	3,3
	Papel/Cartão	14	15,4
	Vidro	2	2,2
Total 1100L		19	20,9
2500L	Embalagens	190	475
	Papel/Cartão	195	487,5
	Vidro	189	472,5
Total 2500L		574	1435
5000L	Embalagens	4	20
	Papel/Cartão	4	20
	Vidro	4	20
Total 5000L		12	60
Total		605	1515,9

3.8.3 Quantidades recolhidas na freguesia a estudar

Em 2019 foram recolhidas na freguesia de Odivelas um total de 1577,8 toneladas (Tabela 3.14), o que corresponde a uma captação de 24 Kg/(hab.ano) (considerando as estimativas de população de 2019). Estima-se que com o aumento previsto da produção para 42 kg/(hab.ano), é possível atingir 2781 toneladas anuais de resíduos de recolha seletiva, isto é, quase o dobro das quantidades recolhidas atualmente.

Os dados referentes às quantidades recolhidas na freguesia de Odivelas são dados estimados com base nas quantidades recolhidas nos municípios de Loures e Odivelas, respetivamente de 2783 toneladas de Plástico/Metal, 4760 toneladas de Papel/Cartão e 3143 toneladas de Vidro. Com base nestes números e na população de Odivelas estima-se que as quantidades recolhidas nesta freguesia sejam as apresentadas na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Estimativa das quantidades recolhidas em 2019 por fluxo (toneladas) na freguesia de Odivelas

Tipologia de Resíduo	Recolha RS Loures e Odivelas (t/ano)	Recolha RS freguesia Odivelas(t/ano)
Plástico/Metal	2783	441,38
Papel/Cartão	4760	798,09
Vidro	3143	338,34
Total	10686	1577,81

3.8.4 Circuitos e rotas

Atualmente não existem rotas de recolha seletiva específicas para a freguesia de Odivelas, sendo as rotas realizadas dentro dos limites dos municípios de Loures e Odivelas, pelo que não se considera útil a comparação entre a situação atual e a situação proposta. No caso da recolha da freguesia de Odivelas será considerada como base e destino o Centro de Triagem do Lumiar (CTE), que servirá também como base de veículos para a recolha seletiva da Valorsul na região de Lisboa, realizando deste modo circuitos fechados. A duração máxima de um turno de trabalho será de 7 horas, não estando ainda definido o horário do turno.

3.9 Considerações finais

A Valorsul tem conseguido cumprir as metas intercalares, em especial devido às quantidades recolhidas nos concelhos de Lisboa e na maioria dos concelhos da zona Oeste. No

entanto, verifica-se que os restantes municípios da região de Lisboa apresentam uma reduzida captação de recolha seletiva. O projeto descrito na freguesia de Alfragide, do concelho da Amadora, foi uma tentativa bem-sucedida para o aumento da captação na região. Neste sentido pretende-se adotar a metodologia em outras áreas, sendo por isso importante a sistematização da metodologia adotada e de ferramentas de apoio desenvolvidas no capítulo 4.

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE RECOLHA SELETIVA E A SUA APLICAÇÃO

Neste capítulo será descrita uma metodologia a seguir para realizar a recolha seletiva numa área delimitada pelas fronteiras administrativas da freguesia. Como foi descrito na secção 3.4, a zona de Lisboa, excluindo o concelho de Lisboa, apresenta baixas capitações de recolha seletiva, isto é, baixa quantidade de resíduos recolhidos por habitante. Uma das soluções apresentadas para este problema é aplicar uma metodologia semelhante à aplicada em Alfragide a outras freguesias da área, sendo esse o objetivo do presente capítulo. A estrutura do capítulo encontra-se esquematizada na Figura 4.1.

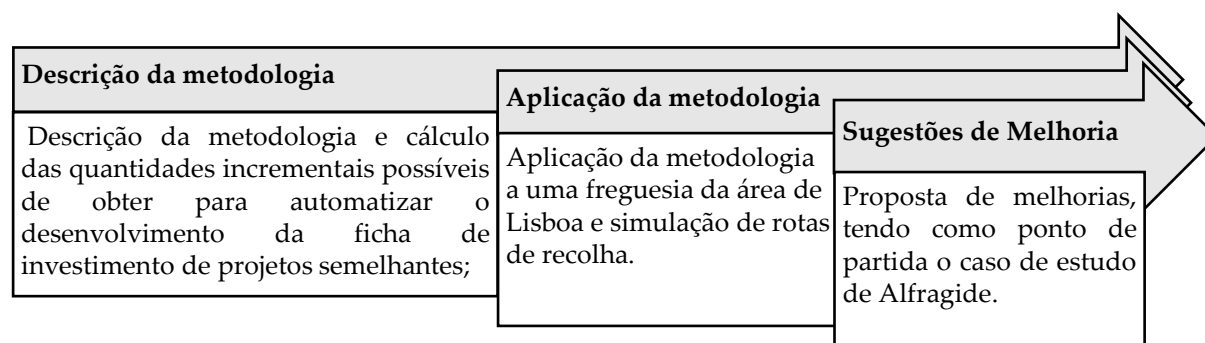


Figura 4.1 - Estrutura do capítulo 4

4.1 Projeto-piloto de recolha seletiva

Como foi mencionado no capítulo 3, os concelhos da área de Lisboa apresentam principalmente 2 tipologias de recolha: porta-a-porta e recolha na via pública. A recolha na via pública é um tipo de recolha mais económica e que permite a entrada de grandes quantidades de resíduos recolhidos seletivamente quando existe um sistema de recolha seletiva adequado.

Por sistema de recolha seletiva adequado entende-se um serviço com um número de infraestruturas adequado, fácil acessibilidade aos pontos de recolha e interação frequente com a população através de campanhas de comunicação sobre os serviços prestados e a importância da separação de resíduos e reciclagem (Rousta et al., 2017).

Semelhante à metodologia desenvolvida por Cavallin et al. (2020) assume-se como ponto de partida que a tipologia de recolha é na via pública, por ser a tipologia mais económico e sustentável. Serão aqui considerados 3 fluxos a recolher que têm como destino a reciclagem: i) fluxo de plástico/metal, ii) fluxo de vidro e iii) fluxo de papel/cartão, sendo uma metodologia específica para estas condições.

O projeto-piloto pode assim ser descrito como a recolha seletiva numa área-piloto a seleccionar, de preferência uma freguesia, na zona de Lisboa, que testa soluções de reforço de

contentorização, campanha e recolha adequada a fim de aumentar a captação de recolha seletiva. Dado o sucesso do projeto em Alfragide pretende-se expandir este conceito para outras áreas da região de Lisboa. O seguimento do capítulo 4 terá enfoque na descrição de uma metodologia que sirva de padrão de implementação do projeto-piloto, de modo a ser aplicada em qualquer freguesia, sendo depois seguida pela sua aplicação na freguesia de Odivelas.

4.2 Objetivo e iniciativas do projeto-piloto de recolha seletiva

O número de habitantes de uma região por ecoponto é um dos fatores que mais afeta as quantidades recolhidas, pelo que atuar sobre esta variável traduz-se em resultados com sucesso (Oliveira et al., 2018). Neste sentido, e considerando o panorama da maioria das freguesias de Lisboa, verifica-se que um dos indicadores com pior resultado é a densidade de ecopontos.

De acordo com o *Despacho 14202-C/2016 (2016)*, o indicador densidade de ecopontos, usado para apuramento da qualidade do serviço prestado, tem o valor de referência de 200 habitantes por ecoponto, número bastante inferior aos valores, por exemplo, dos municípios de Loures (322 habitantes por ecoponto) e Odivelas (327 habitantes por ecoponto). Como o objetivo do projeto é aumentar as quantidades recolhidas, aproximando-se das metas propostas para a Valorsul, é proposto um rácio de **180** habitantes por ecoponto, número que permite não só diminuir o número de reclamações da população, uma vez que mais facilmente encontram um ecoponto com capacidade para colocar os resíduos produzidos, assim como diminui a distância que cada habitante terá de percorrer.

Por outro lado, e de acordo com Rousta et al. (2017), por forma a aumentar o número de habitantes que praticam a separação de resíduos é necessário aumentar a sua consciência social e informá-los do serviço praticado. Assim, é também crucial o desenvolvimento de um plano de comunicação que informe os habitantes das mudanças a inserir na freguesia (a colocação de novos ecopontos) e, simultaneamente, forneça equipamentos que aumentem a facilidade da separação, nomeadamente ecobags, entre outros.

Tendo estes fatores em conta, na Tabela 4.1 é descrito o objetivo principal da implementação da metodologia, e os dois eixos principais em se vai atuar para o atingir.

Tabela 4.1 – Objetivo e Iniciativas do Projeto-Piloto de Recolha Seletiva

Nome do projeto	Projeto-Piloto de Recolha Seletiva numa freguesia da área de Lisboa
Objetivo	Aumento das quantidades de resíduos recolhidos seletivamente (fluxos de plástico/metal, papel/cartão e vidro) para captação entre 42 e 49 Kg/(hab.ano).
Iniciativas	(1) Diminuição da densidade de ecopontos para 180 habitantes por ecoponto, através da colocação de novos ecopontos; (2) Campanha de Comunicação para informar a população das novas infraestruturas e aumentar a motivação para a separação dos resíduos.

4.3 Fases do projeto

As 3 fases principais do projeto a desenvolver passam pela (1) Conceção e Planeamento, (2) Lançamento e Execução e (3) Controlo dos resultados obtidos (Figura 4.2).

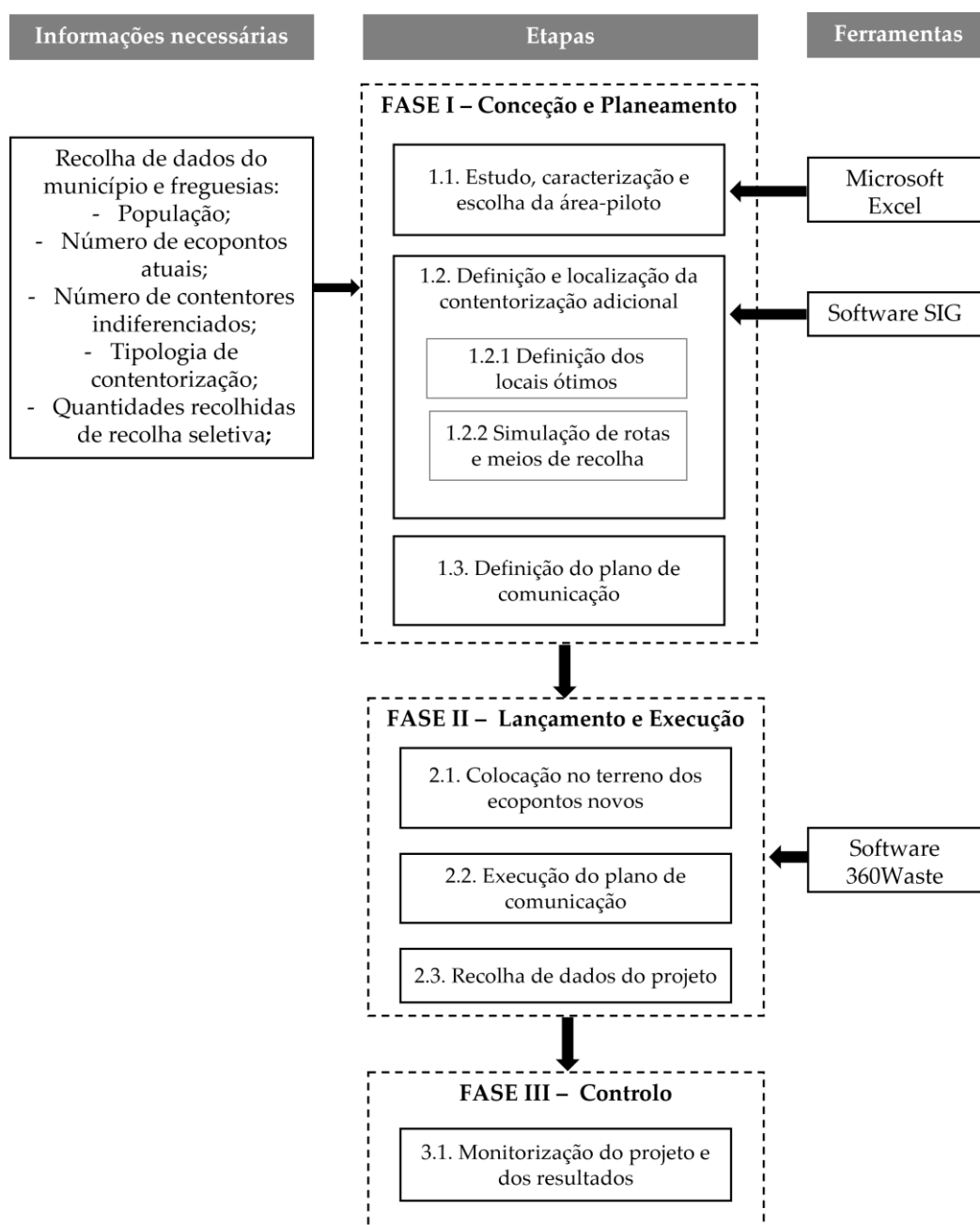


Figura 4.2 - Estrutura da metodologia do projeto-piloto a aplicar numa freguesia da área de Lisboa

A fase I está dividida em 3 etapas. A etapa 1.1. tem enfoque na caracterização das várias freguesias do município onde se pretende desenvolver o projeto, a fim de escolher qual a melhor candidata e em qual será mais facilmente aplicado o projeto, servindo assim de ponto de partida para a eventualidade de se alargar o projeto às restantes freguesias. É a fase principal da fase I, uma vez que é durante esta análise que é definido a contentorização a aplicar e também qual o número de contentores a adicionar para atingir a densidade objetivo de 180 habitantes por ecoponto.

De seguida, na etapa 1.2, é definida a localização dos contentores e é feita uma simulação dos circuitos a efetuar. A localização dos contentores de recolha seletiva depende principalmente da localização dos contentores indiferenciados atualmente no terreno, mas também do número de contentores necessários colocar, consoante a análise desenvolvida na etapa 1.1. Após a localização dos contentores é simulada, em ambiente SIG, o número de rotas

a percorrer para atingir todos os contentores do local. Nesta etapa é também fundamental a visita ao terreno para estudar a viabilidade da colocação dos contentores nos locais selecionados.

Na fase I inclui-se ainda a etapa 1.3, isto é a definição do plano de comunicação, essencial para o sucesso do projeto. As principais estratégias do plano de comunicação são outdoors no município a informar da colocação dos novos ecopontos, colocação nos contentores de indiferenciados de sinalética sobre a correta separação de resíduos e junto dos ecopontos novos sinalética com frases "se não me usas vou-me embora", para incentivar os habitantes a separar os resíduos. Adicionalmente a Valorsul pretende ainda realizar: i) visitas porta-a-porta, ii) oferta de folhetos e conjunto de *ecobags* para as famílias e para o comércio local e iii) colagem de circular informativa nos elevadores.

Tendo a fase I concluída é possível passar à fase II, lançamento e execução. A etapa 2.1 é faseada, iniciando-se pelos contentores que podem ser colocados de imediato no caso de na etapa 1.2 não serem identificados problemas no terreno. Esta informação é imediatamente colocada no software 360Waste que permite o registo das quantidades recolhidas por cada contentor. Ao mesmo tempo que são colocados os contentores no terreno deve ser iniciada a etapa 2.2, a campanha de comunicação e entrega dos *ecobags* aos habitantes. Durante esta fase devem ir sendo recolhidos os dados do projeto, etapa 2.3, com recurso ao software 360Waste a fim de ser possível a realização da fase III.

A fase III, controlo, é a última fase do projeto e destaca-se por incluir apenas uma etapa, etapa 3.1, e permitir retirar conclusões sobre o sucesso do projeto. Nesta fase é possível, com base nos dados a consultar no software 360Waste, aferir que locais registam maiores quantidades, estudando-se nesta altura uma possível solução para o aumento de capacidade no local, ou tomar a decisão de relocalizar ecopontos que recebam quantidades reduzidas.

A metodologia aplicada na fase I, Conceção e Planeamento, recorre fundamentalmente ao *Microsoft Excel*. O *Microsoft Excel* será fundamental para o agrupamento das informações recolhidas, assim como para a sua posterior análise. Na fase II deve recorrer-se ao *software SIG*, que será utilizado para a definição dos locais "ótimos" para a colocação de novos ecopontos, assim como para a simulação de rotas e meios de recolha.

As etapas 1.1 e 1.2 serão aplicadas em dois municípios da área metropolitana de Lisboa. Para a descrição da fase III foi analisada a freguesia de Alfragide, no capítulo 3, a fim de ser possível analisar que melhorias é possível aplicar.

No Anexo A é apresentado um cronograma que ilustra o tempo estimado de cada uma das etapas a serem executadas. A data de lançamento e execução do projeto-piloto é uma data hipotética, usada apenas para ilustrar a duração total do projeto.

4.3.1 Estudo, caracterização e escolha da área-piloto

Na maioria das freguesias em que se pretende executar este projeto, a responsabilidade da recolha seletiva é atualmente do Município/Serviços Intermunicipalizados (não da empresa Valorsul). Neste sentido, um dos obstáculos a ultrapassar é o facto de não se possuir informação tão detalhada como no caso da freguesia de Alfragide em 2020, onde já é possível ter conhecimento das quantidades geradas em cada ponto de recolha. Assim, neste projeto as quantidades de resíduos a serem recolhidos foram estimados de acordo com a densidade populacional, porque se tem acesso à produção de resíduos por habitante.

A etapa 1.1 do projeto obriga à recolha de dados do concelho onde se pretende implementar o projeto. A metodologia aqui descrita considera como fator prioritário o fator demográfico de cada freguesia, como ponto de partida para o cálculo das necessidades de recolha seletiva.

Por forma a iniciar este projeto é necessário recolher dados da área a estudar, nomeadamente, no que concerne:

- População do concelho e da freguesia: obtida através dos Censos mais recentes ou de estimativas realizados pelo *Portdata* do ano anterior. Esta é uma das variáveis mais importantes uma vez que a população da freguesia influencia diretamente a produção de resíduos;
- Número de ecopontos atuais;
- Número de ecopontos indiferenciados: Como será explicado na secção 4.4.2, a localização dos locais "ótimos" é baseada nesta variável;
- Tipologia de contentorização: A tipologia de contentorização afeta os veículos necessários para a recolha, assim como a frequência de recolha. Pretende-se uma contentorização pouco disfar a fim de facilitar o processo de recolha;
- Quantidades recolhidas na recolha seletiva no município;
- Quantidades estimadas de recolha seletiva com capitação desejada: Este indicador permite estimar as quantidades que será possível recolher a mais, isto é, as quantidades incrementais.

A fim de atingir a densidade de ecopontos objetivo, que no caso da Valorsul foi definida em 180 habitantes/ecoponto, é calculado o número de ecopontos novos que são necessários colocar no terreno, com recurso à equação 4.1.

$$N^{\circ} \text{ ecopontos novos} = \frac{\text{População Residente}}{\text{densidade de ecopontos objetivo}} - n^{\circ} \text{ ecopontos atuais} \quad (4.1)$$

Tratando-se de um projeto-piloto os critérios utilizados para a escolha da área a estudar são os seguintes:

1) Quantidades esperadas de resíduos produzidos elevadas

O objetivo do projeto é aumentar as quantidades recolhidas, de tal modo que a área-piloto beneficia de ter elevada população. Esta variável está diretamente ligada às quantidades esperadas de resíduos, assim como às quantidades incrementais. As quantidades esperadas são calculadas considerando a capitação objetivo de recolha seletiva e a população da freguesia, assumindo-se que será atingido o objetivo com a colocação dos novos ecopontos. Para tal é necessário calcular as quantidades esperadas com base na equação 4.2.

$$\text{Quantidades Esperadas [t]} = \frac{\text{População da freguesia (hab)} \times \text{Capitação Objetivo [Kg/(hab.ano)]}}{1000} \quad (4.2)$$

- 2) Elevado potencial de reforço de equipamentos:** Áreas em que a densidade de habitantes por ecoponto é elevada revelam maior necessidade de incremento no número de ecopontos;
- 3) Tipologia de recolha maioritariamente na via pública;**
- 4) Zona limítrofe do município:** Esta última variável, é a que tem menos peso, mas no caso de dúvida opta-se por uma zona limítrofe por facilitar o acesso à mesma.

Uma das propostas da autora passa pelo desenvolvimento de um documento recorrendo ao *Microsoft Excel*, a fim de facilitar a etapa 1.1 da metodologia. Com o ficheiro Excel pretende-se reduzir o tempo necessário na análise das freguesias, assim como automatizar o cálculo das quantidades incrementais, importantes para aprovação do projeto.

Foram inseridas as informações dos censos 2021 relativamente ao número de habitantes de cada freguesia e número de alojamentos. Nesta fase inicial apenas se introduziram os municípios de Loures e Odivelas, Vila Franca de Xira e Amadora, por serem os municípios da região de Lisboa com menos quantidades de resíduos recicláveis recolhidos.

Por fim, na terceira folha, pode-se ainda fazer uma análise da contentorização das freguesias em estudo, já que este é um dos fatores mais importantes para a realização da metodologia, Figura 4.7.

Figura 4.3 - Folha introdutória do ficheiro Excel

Figura 4.4 - Introdução de informações no ficheiro Excel

Figura 4.5 - Tabela de estudo dos municípios e freguesias do ficheiro Excel

B) QUANTIDADES INCREMENTAIS

[illegible]

Figura 4.6 - Tabela de estudo das quantidades incrementais do ficheiro Excel

C) ESTUDO DA CONTENTORIZAÇÃO DAS FREGUESIAS

[illegible]

Figura 4.7 -Tabela de estudo da contentorização das freguesias

4.3.2 Definição e localização de contentorização adicional

Na etapa 1.2 da fase I, os locais dos novos ecopontos a colocar são distribuídos na área a estudar. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são imprescindíveis nesta fase do estudo porque permitem ao utilizador localizar os contentores existentes ao trabalhar com dados espaciais guardados em bases de dados. Esta informação é fundamental para a identificação dos locais "ótimos", que serão depois comparados com o número de ecopontos que é necessário colocar. Contrariamente a estudos anteriores (Boskovic & Jovicic, 2015; Gallardo et al., 2015), não se pretende alterar os locais dos ecopontos já colocados no terreno, já que a população já está habituada à sua localização e, por isso, não se considera necessária a mudança. Assim, a localização dos novos ecopontos depende fundamentalmente dos equipamentos atualmente existentes no terreno.

O principal critério utilizado será a localização de contentores indiferenciados que não possuam ecopontos próximos. Este critério é usado uma vez que se pretende disponibilizar um serviço tão eficaz a nível de recolha seletiva como de recolha indiferenciada, eliminando-se a opção de colocar os resíduos em contentores indiferenciados por não haver ecopontos na proximidade, tornando estes locais completos, isto é, locais com os quatro fluxos de recolha (recolha seletiva trifluxo e recolha indiferenciada). A recolha de indiferenciados pode ser definida como recolha na berma, já que os contentores não distam mais de 30 metros entre si. Neste sentido é usado um raio da área de serviço de 25 metros para identificar os locais "ótimos".

A localização dos locais "ótimos" para os ecopontos a adicionar é definida com recurso ao Sistema de Informação Geográfico (SIG) e segue fundamentalmente 2 passos: (1) Desenho de circunferências com raio de 25 metros com origem nos ecopontos existentes; (2) Sinalização dos contentores de resíduos indiferenciados que ficam fora das circunferências criadas – estes locais passam a ser designados de locais "ótimos", Figura 4.8.

No caso de o número de locais "ótimos" existentes ser superior ao número necessário, calculado com recurso à equação 4.1, recorre-se ainda ao passo (3), classificação dos locais "ótimos" em 2 prioridades: Prioridade A - Habitações não servidas com recolha seletiva, isto é, zonas com distância superior a 100 metros de um ecoponto (indicador da ERSAR), estas zonas são caracterizadas de prioridade máxima, e Prioridade B - Zonas com distância inferior a 100 metros ao ecoponto. Entre os locais de prioridade B, pode ainda realizar-se uma análise tendo em conta a volumetria dos contentores indiferenciados no terreno, como foi realizado em Alfragide, dando-se preferência aos locais com mais contentores ou maior capacidade.

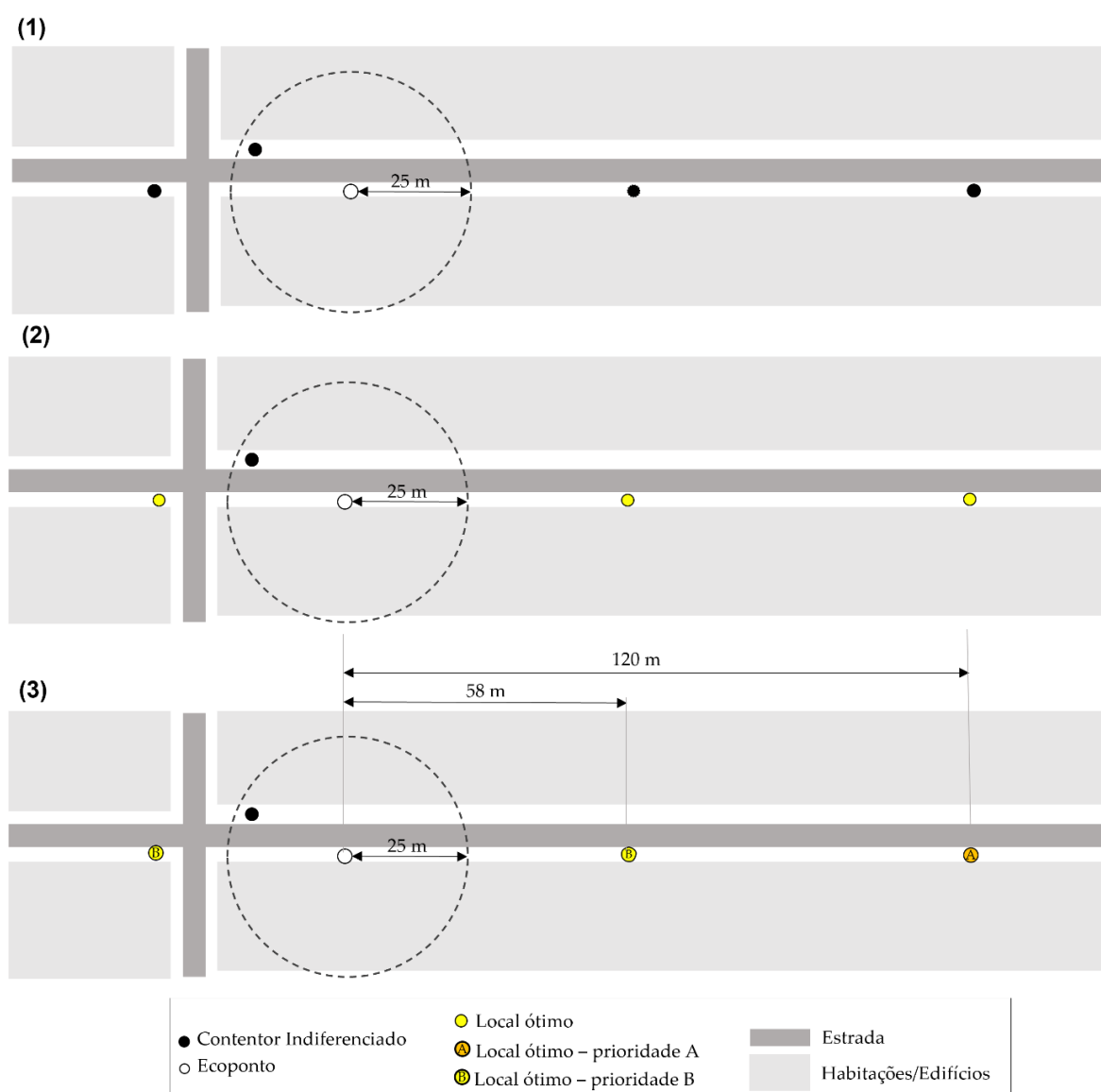


Figura 4.8 - Método para localização dos ecopontos com recurso ao SIG: (1) Desenho de circunferências de 25 metros com origem nos ecopontos existentes; (2) Identificação dos contentores de resíduos indiferenciados que ficam fora das circunferências criadas - locais "ótimos" e (3) Classificação dos locais "ótimos" em prioridade A e prioridade B

Estando os locais "ótimos" definidos é necessário verificar se há condições na via pública para a colocação de ecopontos. Para tal, o ficheiro obtido no SIG é exportado, a fim de se obter, com recurso aos softwares Google Earth e ArcGis um circuito otimizado que visite todos os locais. Nesta fase, são efetuadas visitas no terreno a cada local "ótimo" e os locais são classificados em 3 categorias: (1) colocar, (2) pendente e (3) rejeitado. Os locais em que não se verifica qualquer inconveniente são identificados como colocar, sendo possível a colocação do ecoponto na altura de lançamento do projeto. No caso de se verificar constrangimentos que possam ser ultrapassados, como autorização para ocupação de espaço de estacionamento e necessidade de obras no local, o local fica pendente, sendo adiada a colocação do ecoponto até o obstáculo ser ultrapassado. Por fim, se a colocação do ecoponto no local provocar perigo aos habitantes, como comprometer a visibilidade de condução, o local é rejeitado.

4.4 Aplicação da metodologia de recolha seletiva

Para sua validação, a metodologia foi aplicada nos municípios de Loures e Odivelas, nos quais a Recolha Seletiva é atualmente executada pelos Serviços Intermunicipalizados de Águas e Resíduos (SIMAR).

4.4.1 Estudo, caracterização e escolha da área-piloto

4.4.1.1 Escolha da área-piloto

Para análise dos municípios de Loures e Odivelas, recolheram-se os dados mencionados na secção 4.3.1, e utilizou-se o ficheiro Excel preparado para a sua análise (Anexo B). Para tal, realizou-se a análise dos municípios separadamente, para se compreender como as características de cada um afetam o desenvolvimento do projeto.

Loures devido ao seu extenso território apresentou algumas dificuldades para a escolha da área onde implementar o projeto, sendo também por essa razão uma área de interesse para o estudo para se reportar as características que dificultam o seu desenvolvimento.

Numa primeira análise as freguesias de Bucelas, Fanhões, Lousa e a União das freguesias de Santo Antão e São Julião do Tojal foram excluídas por serem áreas pouco urbanas, muito extensas e com pouca população. Por este motivo, as quantidades incrementais que se esperavam recolher anualmente, no total, eram aproximadamente 200 toneladas, não sendo uma boa solução para início do projeto (Tabela 4.2). Acrescenta-se ainda que por se tratar de áreas com reduzida densidade populacional, esta metodologia não seria a mais correta uma, vez que, apesar de nestas quatro localidades existir uma densidade inferior à objetivo, de 180 habitantes por ecoponto, este número não é suficiente para atingir elevadas capitações de recolha seletiva, já que Bucelas, Fanhões, Lousa e União de freguesias de Santo Antão e São Julião do Tojal apresentam respetivamente 38, 36, 46 e 25 Kg/(hab.ano). Ou seja, apenas a freguesia de Lousa se encontra dentro do objetivo de capitação definido para o projeto.

Excluídas estas freguesias, as restantes freguesias apresentavam, todas elas, vantagens e desvantagens como áreas piloto. As freguesias de Loures e Santo António dos Cavaleiros são servidas maioritariamente por contentores de 3200 L, que, como foi mencionado no capítulo 3, são recolhidos por veículos de carga lateral, não tendo a Valorsul de momento veículos que correspondam a estas necessidades. Existem também freguesias que têm também a tipologia de recolha porta-a-porta, o que dificulta a colocação em prática deste projeto.

O município de Odivelas, por outro lado, apresenta melhores características para a adoção deste projeto, por apenas conter 4 freguesias, todas elas predominantemente urbanas e com elevada densidade populacional. Neste concelho a freguesia de Odivelas destacou-se por apresentar características ótimas procuradas, pois apresenta elevada população, 66 369 habitantes, o que consequentemente levará a elevadas quantidades de recolha seletiva. Ao aplicar a equação 4.2 conclui-se que, considerando que se atingia a capitação objetivo de 42

Kg/(hab.ano), seria possível atingir uma quantidade de recolha seletiva de 2788 toneladas, um incremento de 1210 toneladas, apenas nesta freguesia (Tabela 4.3). Adicionalmente, como se pode comprovar na Figura 3.20, a freguesia de Odivelas contém maioritariamente contentores de 2500 L com acoplamento com grua, tipologia de contentor que a Valorsul pretende implementar.

Tabela 4.2 - Quantidade de recolha seletiva em 2019, esperadas e incrementais nas 4 freguesias com menor densidade populacional de Loures

	Quantidades RS 2019 (t)	Quantidades Esperadas RS (t) ¹	Quantidades Incrementais RS (t)
Bucelas	180	210	30
Fanhões	96	126	30
Lousa	149	143	-6
Santo Antão e São Julião do Tojal	216	362	146

¹ Recurso à equação 4.1 e dados de população estimada de 2019 (PORDATA, 2020)

Tabela 4.3 - Quantidades RS em 2019, esperadas e incrementais nas 4 freguesias de Odivelas

	Quantidades RS 2019 (t)	Quantidades Esperadas RS (t) ²	Quantidades Incrementais RS (t)
Odivelas	1578	2788	1210
Pontinha e Famões	900	1598	698
Póvoa de Santo Adão e Olival Basto	498	883	385
Ramada e Caneças	1311	1525	214

² Recurso à equação 4.1 e dados de população estimada de 2019 (PORDATA, 2020)

4.4.1.2 Previsão de quantidades a recolher na área-piloto

Escolhida a área-piloto é possível prever as quantidades que serão possíveis recolher com a implementação do projeto. Para tal no ficheiro Excel desenvolvido colocou-se informação relativa às quantidades de resíduos recolhidos por concelho e por fluxo, a partir do qual se calculou a percentagem de cada fluxo. Assim, é possível esperar um incremento de 315 toneladas de Plástico/Metal, 539 de Papel/Cartão e 356 de Vidro na freguesia de Odivelas, Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Quantidades RS em 2019, esperadas e incrementais dos fluxos Plástico/Metal, Papel/Cartão e Vidro da freguesia de Odivelas

	% fluxo	Quantidades RS 2019 (t)	Quantidades Esperadas RS (t)	Quantidades Incrementais RS (t)
Plástico / Metal	26%	411	726	315
Papel / Cartão	45%	703	1242	539
Vidro	29%	464	820	356
Total	100%	1578	2506	928

4.4.2 Definição e localização da contentorização adicional

Ao aplicar a equação 4.1 conclui-se que são necessários 369 ecopontos na freguesia para ser atingida a densidade de ecopontos objetivo de 180 habitantes/ecoponto. Como existem atualmente 197 ecopontos, é necessário acrescentar **172** novos locais.

Usando o ArcGis foi possível identificar 185 locais "ótimos" segundo a metodologia descrita na secção 4.3.2, Figura 4.9. Entre os 185, apenas 54 apresentam prioridade A, isto é, não existem ecopontos num raio de 100 metros do contentor de indiferenciados.

Entre os 185 existem 121 pontos de recolha com contentores de 1100 L, 39 com contentores de 2400 L, 22 com contentores 3200 L e 3 com contentores de 5000 L. Aqui é possível observar uma diferença do sucedido em Alfragide, onde a maioria dos locais possuía contentores molok de 5000 L.

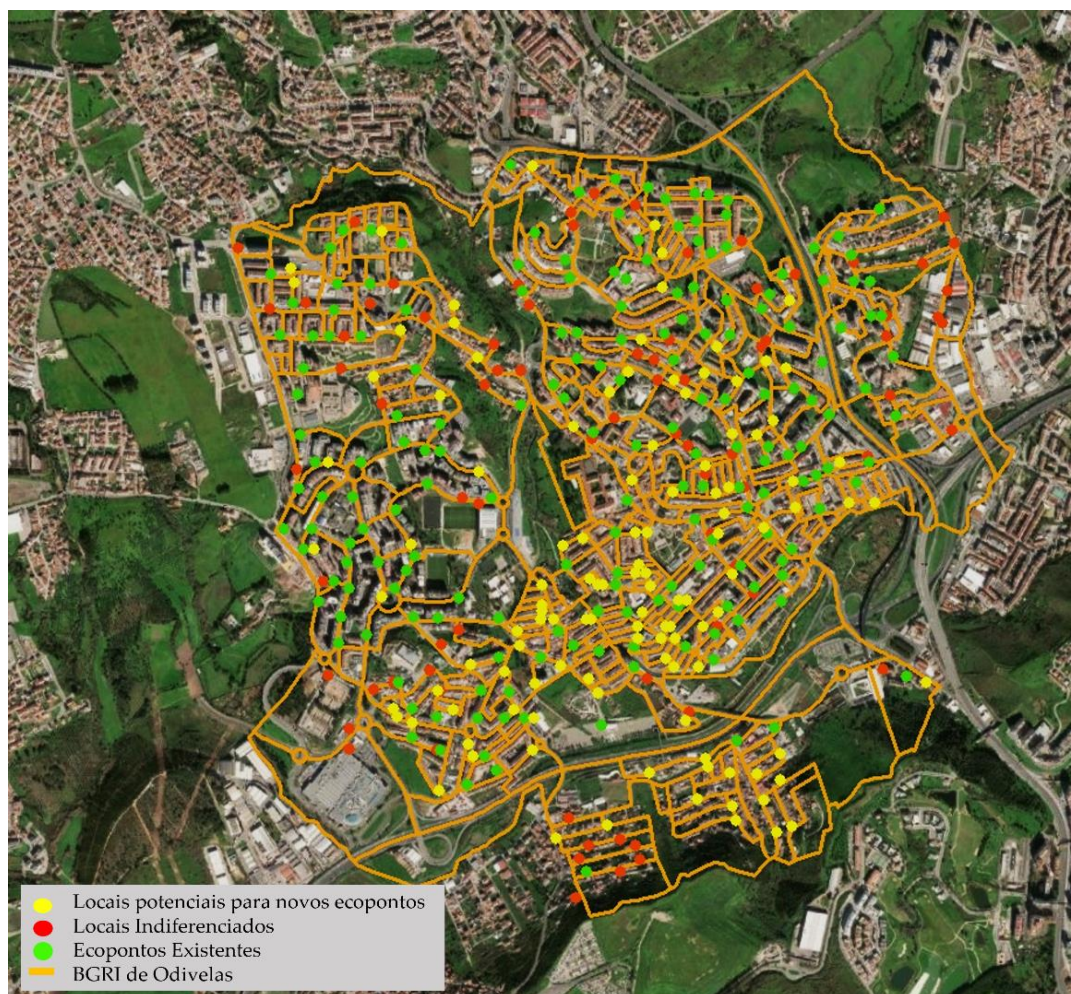


Figura 4.9 - Localização dos locais "ótimos" na freguesia de Odivelas

4.4.3 Simulação de circuitos e rotas

Concluído o procedimento a executar, um passo fundamental é simular e prever as rotas a executar, dentro dos limites da freguesia, a fim de fazer o dimensionamento de equipas e otimizar os circuitos que serão implementados no terreno. Contrariamente a estudos revistos, no presente estudo de caso ainda não existe restrição do número de viaturas ou motoristas, já que a previsão dos meios de recolha necessários é também um dos objetivos da simulação e otimização de rotas. Não será feita uma avaliação comparativa em relação ao estado atual do sistema uma vez que a área a recolher será diferente, assim como o número de pontos de recolha, pelo que se torna difícil a comparação dos dois cenários.

4.4.3.1 Sistema de informação geográfica ArcGis

As rotas otimizadas foram realizadas com recurso ao software ArcGis. O ArcGis, um software da Environmental Systems Research Institute (ESRI), é um sistema de informação geográfica que permite criar, editar e analisar mapas e informações geográficas, contendo diversas aplicações e extensões. Neste estudo foram usados o ArcGis Desktop para a criação da base de dados e o ArcGis Online para criação das rotas otimizadas.

Uma das principais aplicações do ArcGis Desktop é o ArcGis Map, uma aplicação usada diariamente por milhares de profissionais de SIG no mundo. Esta aplicação permite criar mapas, editá-los e gerir informação espacial, assim como o espetro de análises por forma a transformar dados em informação útil. Por outro lado, o ArcGis Pro permite partilhar informação e colaborar através da organização.

Por fim o ArcGis Online é uma plataforma na nuvem onde é possível criar e partilhar mapas, aplicações e outros dados geográficos. Esta aplicação tem a vantagem de ser possível ter acesso a uma grande galeria de mapas dinâmicos, camadas, imagens, entre outros, da comunidade ArcGis. Uma das funcionalidades do ArcGis Online é a ferramenta “Plan Routes”, com a qual é possível criar rotas com vários veículos, considerando como as paragens devem ser distribuídas entre as diferentes rotas e a ordem pela qual devem ser visitadas.

Este projeto encontra-se numa fase inicial, pelo que esta análise tem apenas por base a localização dos ecopontos (constituídos por um contentor de papel/cartão, um contentor de plástico e um contentor de vidro). Reconhece-se que uma análise mais profunda será necessária com base na localização de contentores específicos de cada fluxo, informação não disponível na realização deste estudo.

As rotas podem ser configuradas em diferentes modos de viagem, sendo que se escolheu o modo de viagem de camião, que segue as regras e limites de velocidade aplicadas a camiões pesados. A utilização deste software tem ainda a vantagem de obrigar as rotas a obedecer a estradas com apenas um sentido, proibições de viragem, entre outros.

O ArcGIS Online demonstrou-se uma ferramenta bastante acessível e fácil de trabalhar, no entanto, considerando as restrições de um problema de rotas de veículos, verifica-se que considera poucas informações, sendo necessária apenas a inserção dos seguintes dados:

- Ecopontos incluídos na área a estudar;
- Número de veículos a utilizar;
- Pontos de partida e de descarga disponíveis.

Assim, não são consideradas algumas informações importantes como a capacidade dos contentores e a capacidade do veículo.

Neste estudo, como pontos de recolha serão estudados os locais dos ecopontos atuais (198), somados aos locais "ótimos" (185), totalizando 382 ecopontos. Os 185 novos ecopontos terão capacidade de 2500 L, tipologia de contentorização predominante na área (186 ecopontos). Acrescenta-se que as viaturas necessárias para a recolha de contentores de 2500 L são as mesmas que os necessários para contentores de 5000 L (subterrâneos). Os 9 ecopontos existentes de 1100 L, devido ao seu reduzido número, serão análise de um estudo futuro por forma a perceber-se se é possível a sua substituição por ecopontos de 2500 L. Na otimização de rotas não serão, por isso, considerados, já que seria necessária uma viatura diferente (recolha por carga posterior) para a recolha. Tendo isto em conta foram apenas considerados 374 pontos de recolha na otimização.

Concluindo, as condições iniciais introduzidas no software foram as seguintes:

- 374 pontos de recolha;
- Mesmo local de início e fim de rota (Centro de Triagem do Lumiar);
- Tempo de paragem em cada ponto de 1,5 minutos (tempo estimado pelo software);
- Tempo limite da rota de 7 horas (turno de trabalho);

4.4.3.2 Resultados

Após a introdução dos dados, o programa concluiu que o método "ótimo" para dividir a recolha dos ecopontos era a criação de 2 rotas, uma com 199 paragens e outra com 175 paragens. Como se observou anteriormente no caso de Alfragide, é necessário fazer esta divisão consoante os diferentes fluxos, uma vez que têm diferentes velocidades de produção e também diferentes densidades, tanto no contentor como na viatura.

Uma vez que o software não permite introduzir a capacidade dos contentores será testado se é possível recolher 199 paragens sem a viatura ficar completa antes de completar a rota definida. Para isso serão usadas as taxas médias de enchimento observadas em Alfragide, por ser uma freguesia com características semelhantes a Odivelas, isto é, taxa média de

enchimento de 45% do fluxo de vidro, 56% do fluxo de plástico/metal e 27% de papel/cartão. Para este cálculo é também essencial o conhecimento da densidade dos resíduos, tanto nos contentores, com nas viaturas, que têm compactação, Tabela 4.5.

Como o fluxo de plástico é o que contém maior taxa de enchimento e menor densidade, será tomado como exemplo. Assim, para um contentor de plástico/metal de 2500 L conclui-se que este contém, em média, 28 Kg na altura da recolha, tendo por base o caso de estudo de Alfragide. Por outro lado, uma viatura de recolha com compactação e volume de 15 metros cúbicos, consegue transportar 2250 Kg de plástico/metal. Conclui-se que o número de pontos de recolha visitados numa rota não deve por isso ultrapassar os 80, que equivale a aproximadamente 5 rotas (Figura 4.10). A cada cor corresponde uma rota.

Tabela 4.5 - Densidade dos fluxos de Papel/Cartão e Plástico/Metal nos contentores
Adaptado de Lopes (2014)

Fluxo	Densidade no contentor (Kg/m ³)	Densidade nas viaturas (Kg/m ³)
Papel/Cartão	40	250
Plástico/Metal	20	150
Vidro	300	600

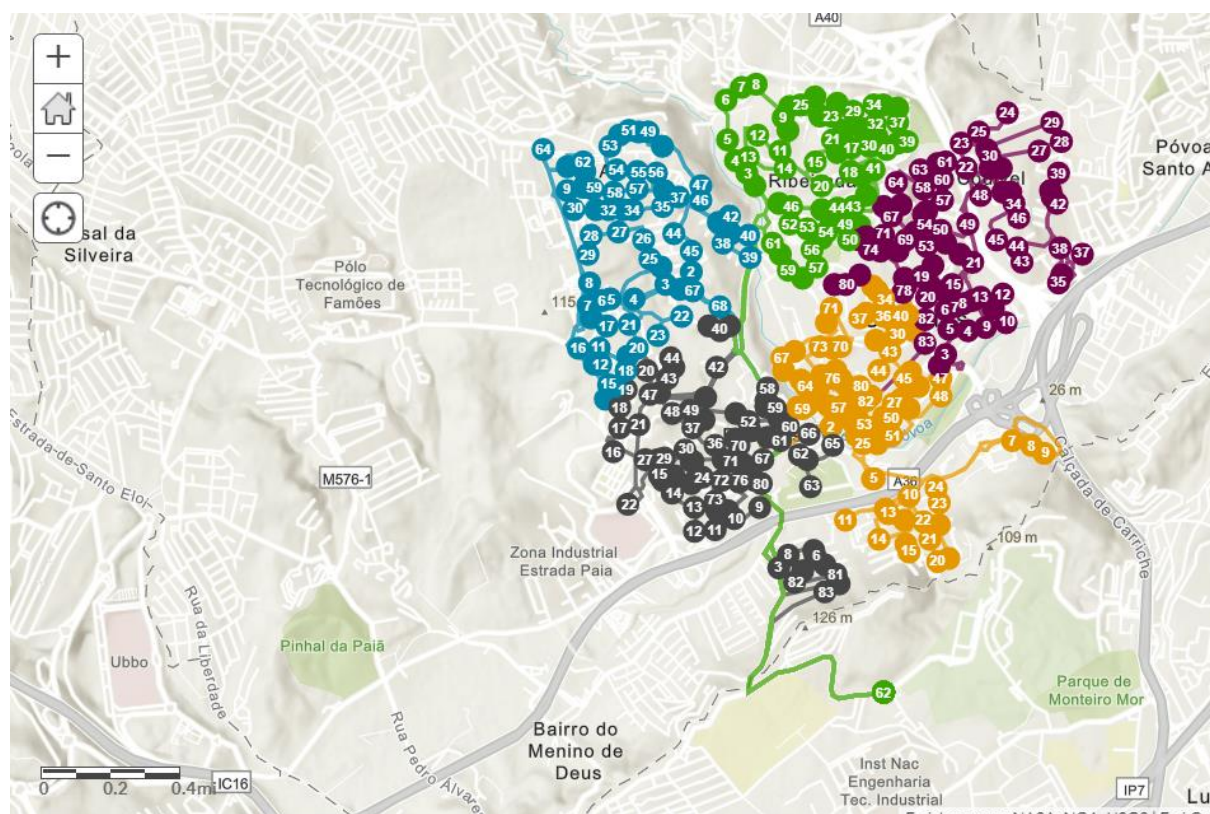


Figura 4.10 - Rotas devolvidas pelo software ArcGis com a ferramenta "Planear Rotas" na freguesia de Odivelas

4.5 Sugestões de melhoria

4.5.1 Locais com grandes quantidades de resíduos recolhidos

O projeto desenvolvido em Alfragide obteve, claramente, os resultados pretendidos. No entanto, observou-se que as quantidades produzidas em locais nas proximidades de, por exemplo, restaurantes, supermercados ou outra tipologia de loja, são superiores. Neste

sentido, era importante, após a identificação dos locais "ótimos", serem assinalados, durante a viagem ao terreno, os contentores que fiquem próximos destas estruturas. Observou-se também que a capacidade de indiferenciados no local é um forte indicador das possíveis quantidades que podem ser geradas nesse local e, por isso, podem ser uma ajuda para prever se existirá necessidade de colocar uma maior capacidade de contentores de recolha seletiva. Neste sentido, sugere-se que sejam identificados estes locais e seja estudada uma possível implementação de contentores subterrâneos, nomeadamente "moloks", de modo a aumentar a capacidade sem comprometer o espaço na via pública, que tende a ser um fator de preocupação e reclamação da população quando existe a colocação de novos contentores. Deve ser tido em conta, que os contentores terão de ter acoplamento com grua, para que a rota de recolha possa ser feita sem constrangimentos.

De acordo com a metodologia, recomenda-se, na fase III do projeto (Monitorização dos resultados) e tendo já as informações de 1 ano de recolha, uma análise de modo a identificar que locais beneficiariam da colocação de contentores de maiores dimensões.

Neste sentido, tomar-se-á o caso de Alfragide como exemplo. Apesar do projeto ter sido bem-sucedido nesta freguesia, atingindo-se a meta proposta de capitação de recolha seletiva, observou-se uma elevada disparidade entre a frequência de recolha e o número de vezes em que de facto existe transferência de resíduos para a viatura, especialmente no fluxo de papel/cartão. Adicionalmente existem diversos locais onde a taxa média de transbordo de recolhas ultrapassa os 30%, Figura 3.15.

Destaca-se na tabela Tabela 4.6 os 10 locais que têm, no total, maior produção de resíduos de recolha seletiva. Optou-se por destacar estes locais e não os pontos que possuem por fluxo maiores quantidades, uma vez que se considera mais benéfico a substituição dos 3 contentores por contentores de maiores dimensões. Durante o desenvolvimento do projeto em Alfragide, uma das reclamações mais frequente foi a ocupação de espaços de estacionamento ou na via pública. Assim, considera-se que não seja viável o aumento do número de contentores de 2500L, já que isto agravaria mais as reclamações dos habitantes. Destaca-se ainda o facto de nos locais onde existem atualmente 2 contentores de papel/ cartão, isto é, capacidade de 5000L no local, a taxa de transbordo é quase metade dos restantes, estando nestes locais entre 13% e 22%, e nos outros, entre 24% e 45%.

Tabela 4.6 - Taxa Média de Recolhas com Transbordo nos 10 locais com maiores quantidades de resíduos recolhidos

Ponto de Recolha	Taxa de Recolhas com Transbordo	
	Papel/Cartão	Plástico/Metal
1 ¹	22%	33%
2 ¹	17%	40%
3 ¹	15%	19%
4	28%	26%
5	45%	23%
6 ¹	13%	25%
7	40%	24%
8	43%	24%
9	28%	15%
10	24%	13%

¹Locais com 2 contentores de Papel/Cartão

De modo a contornar esta situação, optou-se por testar uma equação adaptada (equação 4.3) dos trabalhos Boskovic & Jovicic (2015), equação 2.1, e de Gallardo et al.(2015), equação 2.2, devido à sua facilidade de aplicação. A equação 4.3 desenvolve o coeficiente C_{f_j} , isto é, o um coeficiente que permite determinar a melhor frequência de recolha do fluxo j, tendo em conta os contentores colocados atualmente no terreno. Na Tabela 4.5 é possível observar os valores de densidade dos três fluxos, de acordo com Lopes (2014).

$$Cf_j = \frac{Dj \cdot V_{ij}}{\frac{MP_{ij}}{30} \cdot Cu_{ij}} \quad (4.3)$$

onde Dj [Kg/m³], é a densidade do fluxo j no contentor, V_{ij} [m³] é o volume disponível no local, isto é, no contentor i do fluxo j , MP_{ij} [Kg/mês] é a quantidade média recolhida no contentor i do fluxo j e Cu_{ij} é o coeficiente de utilização do contentor i com o fluxo j .

O coeficiente Cu_{ij} , coeficiente necessário para evitar transbordo, foi calculado para cada contentor, de acordo com a equação 4.4.

$$Cu_{ij} = \frac{\text{Quantidade máxima recolhida do fluxo } j \text{ no contentor } i}{\text{Quantidade média do fluxo } j \text{ no contentor } i} \quad (4.4)$$

Ao aplicar-se a equação 4.3, considerando contentores de 5000 L nos 10 locais apresentados na Tabela 4.6., identificou-se o local onde a frequência de recolha teria de ser mais elevada, isto é o coeficiente teria de ser mais baixo. De forma a manter uma frequência regular, sugere-se uma recolha de 3 vezes por semana no caso do papel, o que equivale a, aproximadamente, 13 vezes por mês, metade do número praticado atualmente e bastante mais próximo do número de vezes em que existe de facto transferência de resíduos para a viatura, Tabela 4.7.

No caso do fluxo de plástico/metal, a equação 4.3 resulta numa recolha semanal de 2,3 vezes, optando-se por arredondar este número para 2 vezes semanais, uma vez que segundo a análise efetuado à freguesia de Alfragide, a frequência média mensal de aproximadamente 8 é suficiente e permite reduzidas percentagens de transbordo na maioria dos casos.

No caso do vidro considera-se que não existe necessidade de alterar a frequência executada, já que esta é feita com recurso a recolhas dinâmicas, tendo-se observado uma reduzida taxa de transbordo.

Tabela 4.7 - Frequência de recolha dos fluxos de papel/cartão e plástico/metal

	Papel/Cartão	Plástico/Metal
Situação Atual	26 vezes por mês	8 vezes por mês
Colocação de "molok" nos locais com maior produção	13 vezes por mês	8 vezes por mês

4.5.2 Locais com reduzidas quantidades de resíduos recolhidos

Na Figura 3.17 foram destacados alguns pontos de recolha que se encontram muito próximos, mas são recolhidas poucas quantidades. De referir que, numa rua de apenas 120 metros estão colocados 3 contentores, identificados como 72, 84 e 87 que, na totalidade, entre março e dezembro, apenas foram recolhidas 5785 Kg de resíduos provenientes de recolha seletiva. Tendo isto em conta, após uma avaliação de desempenho, considera-se que seria benéfico realocar alguns ecopontos.

Para tal sugere-se adotar uma estratégia semelhante à estudada no trabalho de Boskovic & Jovicic (2015). Para o efeito, será realizada uma análise de modo a determinar os pontos de recolha ineficientes, que serão aqui descritos como locais onde são recolhidos poucos resíduos e onde existem ecopontos na proximidade. Será usada a distância máxima de 75 metros, isto é, os habitantes não devem ter de andar mais que 75 metros para depositar os seus resíduos, por se considerar que não diminui o conforto da disposição de resíduos e dos serviços prestados à população.

Foi calculado o percentil 25 das quantidades recolhidas em cada ponto de recolha entre os meses de março e dezembro, aproximadamente 3950 Kg, ou seja, em 25% dos ecopontos são recolhidas quantidades inferiores a este número, o que corresponde a 23 ecopontos. Recorrendo ao software ArcGis online foram transferidas as localizações dos 89 ecopontos e

dos ecopontos a analisar. Seguidamente foi usada a ferramenta "Criar buffer" para identificar a área de serviço de cada contentor, com um raio de 75 metros, Figura 4.11. Foram retirados os ecopontos onde existia sobreposição das áreas de influência com outros locais, seguindo um método de tentativa e erro, de modo que os ecopontos onde são recolhidas reduzidas quantidades apenas sejam mantidos no terreno se não existir nenhum ecoponto num raio de 75 metros. Com este método e, analisando-se somente os 23 ecopontos com menos quantidades recolhidas, foram identificados 5 ecopontos ineficientes e, por isso, é sugerida a sua realocização, identificados como 73, 71, 79, 84 e 76 na Figura 3.17.

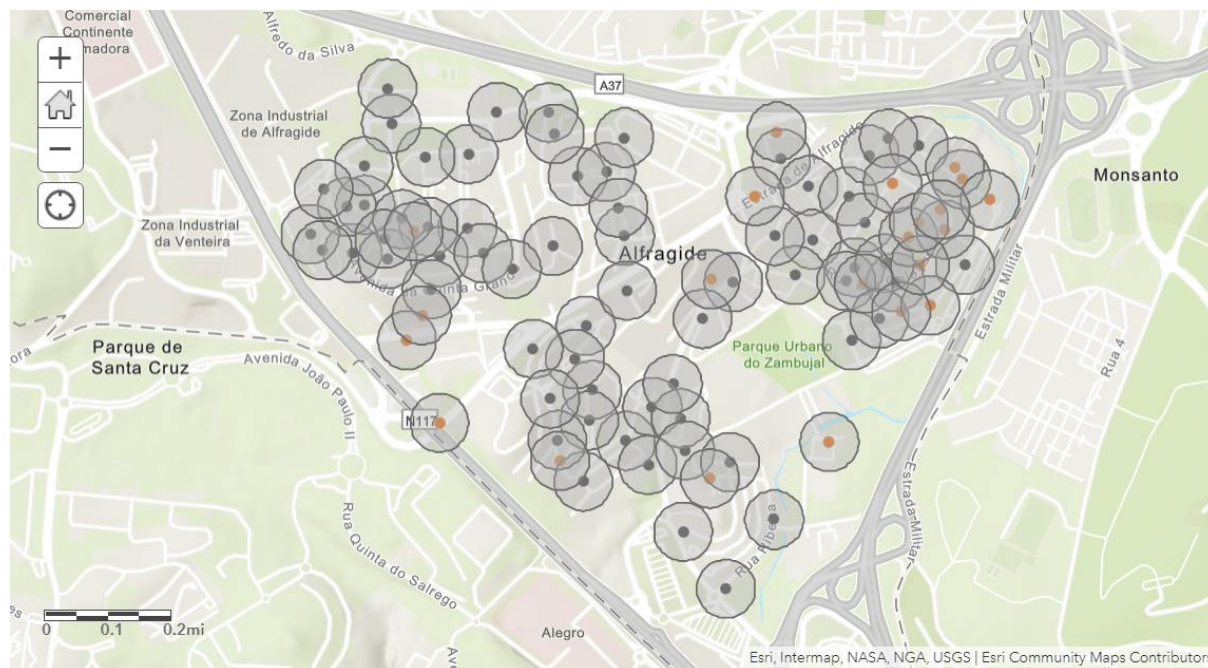


Figura 4.11 - Área de serviço (raio de 75 metros) dos ecopontos da freguesia de Alfragide

4.6 Considerações finais

Neste capítulo foi sistematizada a metodologia de recolha seletiva a aplicar numa freguesia com reduzida capitação de recolha seletiva, tendo esta preferencialmente as características: elevada densidade populacional, ecopontos com acoplamento com grua e recolha na via pública. Verificou-se que a freguesia dos municípios de Loures e Odivelas que melhor cumpria estes requisitos era a freguesia de Odivelas, pelo que as etapas localização de contentores e simulação de rotas de recolha foram simuladas nesta freguesia. De acordo com os estudos consultados, a ferramenta ArcGis, em especial ArcGis Online, mostrou-se uma ferramenta muito útil e fácil de usar na resolução de problemas na ótica da recolha de resíduos.

Como se verificou no capítulo 3, os ecopontos existentes no terreno vão influenciar a aplicação da recolha no terreno. Especificamente neste estudo de caso verificou-se que existia a restrição de viaturas com grua e contentores de 2500 L a serem colocados. Reforça-se assim a importância da primeira etapa da metodologia, caracterização e escolha da área-piloto, que permite a certificação que a área escolhida tem as condições necessárias para a aplicação do projeto. Conclui-se, de forma análoga à conclusão da secção 2.9, que a melhor metodologia de recolha de resíduos deve ser flexível e capaz de se adaptar a diferentes cenários.

O fim do capítulo foi dedicado a sugestões de melhoria, já que o projeto tinha sido lançado no início de 2020 na freguesia de Alfragide. Assim, após a análise do ano de 2020 no capítulo 3, foi possível concluir que a metodologia aplicada foi eficaz, ultrapassando a meta de 42 Kg/(hab.ano) de recolha seletiva. Tendo isto em conta, considerou-se importante

melhorar a eficiência da recolha seletiva na freguesia, já que com o desenvolvimento do projeto verificou-se elevada disparidade entre os pontos de recolha com maiores e menores quantidades recolhidas. Com este objetivo, nos locais em que se verifica maior produção de resíduos, sugeriu-se a colocação de contentores "molok" de 5000 L, o que vai levar a menores taxas de transbordo. De seguida, e considerando esta nova contentorização, foi aplicada uma equação baseada nos trabalhos de Boskovic & Jovicic (2015) e Gallardo et al. (2015) de modo a definir a melhor frequência de recolha nas novas condições.

Por último, foram analisados os pontos de recolha de Alfragide onde são recolhidos menos resíduos de recolha seletiva. Novamente com o auxílio do software ArcGis Online foi possível definir áreas de serviço de raio 75 metros e sugerir a eliminação dos pontos de recolha considerados ineficientes.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

O objetivo principal deste trabalho foi o de propor uma metodologia de recolha seletiva de resíduos urbanos capaz de aumentar as quantidades recolhidas de materiais recicláveis, sendo definido como captação objetivo 42 Kg/(hab.ano). A metodologia é composta por 3 fases principais. A primeira fase é constituída pela escolha e caracterização da área de implementação do projeto, localização de ecopontos e definição de rotas de recolha. A etapa 1.1 desta fase (estudo, caracterização e escolha da área-piloto) foi aplicada aos municípios de Loures e Odivelas, mostrando as principais limitações da aplicação da metodologia e o cálculo das quantidades esperadas obter em cada freguesia. A etapa 1.2, definição e localização de locais "ótimos" foi depois aplicada na área-piloto escolhida. A segunda fase, lançamento e implementação, não foi possível ser aplicada. A terceira fase da metodologia, controlo dos resultados, foi aplicada na freguesia de Alfragide, uma vez que o projeto tinha sido lançado em janeiro de 2020.

A recolha de resíduos representa uma importante etapa da gestão de resíduos, por ser a única etapa em que existe contacto com os habitantes das cidades. Assim, o sistema deve ser prático para os habitantes, proporcionando infraestruturas físicas adequadas e convenientemente localizadas. Aqui inclui-se uma fácil acessibilidade a pontos de recolha e serviço de qualidade igual ao prestado na recolha indiferenciada, conseguido através da aplicação de modelos heurísticos ou programação matemática.

Concluiu-se que é insuficiente melhorar a recolha de resíduos sem campanhas de informação e comunicação, através de, por exemplo, entrega de sacos para colocação de resíduos, contacto presencial e apresentação do sistema de recolha implementado. Especificamente na recolha seletiva de resíduos, por ser necessária uma elevada taxa de participação dos habitantes na separação dos seus resíduos, uma correta comunicação torna-se imprescindível uma vez que o Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) apenas consegue reciclar os materiais que recebe. Considera-se, por isso, que o plano de comunicação desenvolvido pela Valorsul em Alfragide, aliada à colocação de novos ecopontos, foi o principal motivo para aumentar a captação de recolha seletiva de 29 Kg/(hab.ano), em 2019, para 52 Kg/(hab.ano), em 2020, ultrapassando pela primeira vez nesta freguesia a meta intercalar imposta para a Valorsul, que no ano de 2020 era de 51 Kg/(hab.ano). A análise realizada à freguesia de Alfragide permitiu ainda concluir que é possível aumentar as quantidades recolhidas mantendo um sistema de recolha na via pública (ecopontos) sem a necessidade de recorrer a sistemas mais dispendiosos e com impactos negativos no ambiente, como o porta-a-porta.

No que diz respeito às metodologias e ferramentas utilizadas na recolha de resíduos constatou-se que, atualmente, a maioria dos estudos recorre a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para realizar uma correta afetação de pontos de recolha e contentores nas cidades, assim como executar rotas de recolha o mais otimizadas possível. Na metodologia proposta nesta dissertação recorreu-se também ao SIG, especificamente ao ArcGis para a localização de locais "ótimos" e definição de rotas de recolha.

A distância máxima entre pontos de recolha nos estudos consultados varia entre 20 e 250 metros. Os locais "ótimos" para a colocação de ecopontos foram definidos nesta dissertação como locais de indiferenciados fora da área de influência de ecopontos com um raio de 25 metros. Foi usada a localização dos contentores de indiferenciados com base na tese de que o serviço prestado na recolha seletiva deve ser de igual qualidade ao prestado na recolha indiferenciada. Esta tese teve o resultado esperado, já que se concluiu que quanto maior o número de contentores de resíduos indiferenciados no local, maior o número de resíduos recolhidos por recolha seletiva.

No entanto, na freguesia de Alfragide verificou-se que o raio de 25 metros definido desde um ecoponto devia ser aumentado em locais com características residenciais, sem a existência de prédios altos ou comércio, já que este levou a pontos de recolha considerados ineficientes, isto é, onde são recolhidas quantidades muito reduzidas. Neste sentido, e com recurso ao ArcGIS online, foi testada a distância máxima entre ecopontos de 75 metros e foram identificados 5 locais onde seria possível a retirada do ecoponto mantendo-se um serviço de qualidade e fácil acessibilidade para os habitantes.

Considera-se que esta metodologia será uma ferramenta útil para a distribuição de pontos de recolha em áreas com elevada densidade populacional. Adicionalmente estudos realizados sobre a distribuição de pontos de recolha com o objetivo de aumentar as quantidades recolhidas separadas é escassa, verificando-se que a maioria dos estudos tem como enfoque o aumento da eficiência, em especial na fase de recolha e transferência de resíduos. No entanto, e tendo em conta as elevadas metas propostas de reciclagem de resíduos, torna-se necessário investir na eficácia e garantir que estas são cumpridas.

Comparativamente aos trabalhos de Gallardo et al. (2015) e Cavallin et al. (2020), considera-se que a metodologia apresentada nesta dissertação tem a vantagem de ser facilmente aplicada. Não é necessário um estudo tão profundo da área em questão, pois a principal variável para a localização dos pontos de recolha são os contentores de indiferenciados.

5.2 Limitações

Apesar da conveniência da aplicação da metodologia, foram identificadas algumas limitações. Nomeadamente o facto de os locais "ótimos" serem baseados na localização de contentores de indiferenciados, implica que a área a estudar tenha um sistema de recolha de indiferenciados eficiente em termos da localização de contentores.

Adicionalmente, como se verificou na aplicação da etapa 1.1, estudo, caracterização e escolha da área-piloto, no município de Loures, a metodologia proposta apresenta algumas limitações no que toca às características da área onde pode ser aplicada. Não é adequada para freguesias com reduzida densidade populacional porque, devido ao afastamento de habitações, a densidade de 180 habitantes por ecoponto não corresponde necessariamente a uma boa acessibilidade aos pontos de recolha.

Por fim, considera-se que a metodologia devia ter em conta a diferença de produção entre zonas de comércio e restaurantes e zonas apenas habitacionais. Como se verificou, a colocação de ecopontos sem ter este ponto em consideração levou a elevada disparidade de resíduos recolhidos em diferentes ecopontos, o que dificulta o processo de recolha, em especial numa área pequena.

5.3 Trabalhos Futuros

Na sequência das limitações da metodologia apresentada, considera-se importante, no desenvolvimento de projetos futuros:

- Identificar locais com comércios, serviços e prédios altos, por serem locais que apresentam elevadas quantidades de produção de resíduos e consequentemente elevadas quantidades de resíduos recolhidos. Estes podem ser identificados em visitas ao terreno ou utilizando softwares como o *Google Maps*. Nestes locais é importante estudar a colocação de contentores com maior volumetria, nomeadamente contentores semi-subterrâneos, não sendo aconselhável a colocação de mais do que 1 contentor de cada fluxo, devido ao espaço ocupado na via pública.
- Identificar locais em áreas residenciais que apresentem menor densidade populacional. Nestes locais sugere-se o uso da distância de 75 metros, ao invés de 25 metros, já que se apurou que não existem quantidades recolhidas suficientes que justifiquem uma distância tão curta.
- Procurar ajustar a frequência de recolha associada a cada fluxo, de modo a evitar que se atinjam taxas de transbordo tão elevadas.

No caso de se pretender executar esta metodologia em locais em que não se verifica um sistema eficiente de recolha indiferenciado, sugere-se, em primeiro lugar, estudar a correta localização deste fluxo. Aconselha-se, de acordo com os estudos revistos, a colocação de contentores em cruzamentos de ruas e locais intermédios de ruas, não ultrapassando a distância de 75 metros em áreas com elevada densidade populacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelli, I., Abdelmalek, F., Djelloul, A., Mesghouni, K., & Addou, A. (2016). GIS-based approach for optimised collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Waste Management & Research*, 34(5), 417–426. <https://doi.org/10.1177/0734242X16633519>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *PERSU2020+ Reflexão Estratégica e Ajustamento às medidas do PERSU2020*.
- Agência Portuguesa do Ambiente, MAOTE, IST, & EGF. (2014). *PERSU 2020—Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos*.
- Bing, X., Bloemhof, J. M., Ramos, T. R. P., Barbosa-Povoa, A. P., Wong, C. Y., & van der Vorst, J. G. A. J. (2016). Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste Management*, 48, 584–592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.025>
- Boskovic, G., & Jovicic, N. (2015). Fast methodology to design the optimal collection point locations and number of waste bins: A case study. *Waste Management & Research*, 33(12), 1094–1102. <https://doi.org/10.1177/0734242X15607426>
- Bueno-Delgado, M.-V., Romero-Gázquez, J.-L., Jiménez, P., & Pavón-Mariño, P. (2019). Optimal Path Planning for Selective Waste Collection in Smart Cities. *Sensors*, 19(9), 1973. <https://doi.org/10.3390/s19091973>
- Cavallin, A., Rossit, D. G., Herrán Symonds, V., Rossit, D. A., & Frutos, M. (2020). Application of a methodology to design a municipal waste pre-collection network in real scenarios. *Waste Management & Research*, 38(1_suppl), 117–129. <https://doi.org/10.1177/0734242X19894630>
- Chang, N.-B., & Pires, A. (2015). Optimal Planning for Solid Waste Collection, Recycling, and Vehicle Routing. Em *Sustainable Solid Waste Management: A Systems Engineering Approach* (pp. 515–551). IEEE. <https://doi.org/10.1002/9781119035848.ch15>
- Comissão Europeia. (2015). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Closing the loop—An EU action plan for the Circular Economy (COM/2015/0614 final)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>
- Comissão Europeia. (2020). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe (COM/2020/98 final)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>
- da Cruz, N. F., Ferreira, S., Cabral, M., Simões, P., & Marques, R. C. (2014). Packaging waste recycling in Europe: Is the industry paying for it? *Waste Management*, 34(2), 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.035>

Dahlén, L., & Lagerkvist, A. (2010). Evaluation of recycling programmes in household waste collection systems. *Waste Management & Research*, 28(7), 577–586. <https://doi.org/10.1177/0734242X09341193>

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>

de Brito, M. P., & Dekker, R. (2004). A Framework for Reverse Logistics. Em R. Dekker, M. Fleischmann, K. Inderfurth, & L. N. Van Wassenhove (Eds.), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains* (pp. 3–27). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24803-3_1

De Feo, G., Ferrara, C., Iannone, V., & Parente, P. (2019). Improving the efficacy of municipal solid waste collection with a communicative approach based on easily understandable indicators. *Science of The Total Environment*, 651, 2380–2390. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.161>

Decreto-Lei 102-D/2020. (2020). Diário da República Eletrónico. <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/150908012/details/normal?q=Decreto-Lei+n.%C2%BA%20102-D%2F2020>

Despacho 3350/2015. (2015, Abril 1). Diário da República Eletrónico. <https://dre.pt/home/-/dre/66896121/details/3/maximized?serie=II&dreId=66891371>

Despacho 14202-C/2016, 2016-11-25. (sem data). Diário da República Eletrónico. Obtido 15 de Junho de 2021, de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/105263195/details/maximized?jp=true>

EMPRESAS | EGF. (2021). <https://www.egf.pt/pt/egf/empresas/>

ERSAR. (2017). *PERSU 2020: Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2014-2020. Relatório de Monitorização 2016*. ERSAR.

ERSAR. (2018). *PERSU 2020: Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2014-2020. Relatório de Monitorização 2017*. ERSAR.

ERSAR. (2019). *PERSU 2020: Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2014-2020. Relatório de Monitorização 2018*. ERSAR.

ERSAR. (2020). *PERSU 2020: Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2014-2020. Relatório de Monitorização 2019*. ERSAR.

European Parliament, Council of the European Union. (2004). *Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste—Statement by the Council, the Commission and the European Parliament* (Vol. 047). <http://data.europa.eu/eli/dir/2004/12/oj/eng>

European Parliament, Council of the European Union. (2018). *Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste (Text with EEA relevance)* (Vol. 150). <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/852/oj/eng>

Eurostat. (2019). *Packaging waste statistics—Statistics Explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics

Everett, J. W. (2019). Waste Collection and Transport. Em N. J. Themelis & A. C. (Thanos) Bourtsalas (Eds.), *Recovery of Materials and Energy from Urban Wastes: A Volume in the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Second Edition* (pp. 21–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7850-2_124

- Farrokhi-Asl, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Asgarian, B., & Sangari, E. (2017). Metaheuristics for a bi-objective location-routing-problem in waste collection management. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 34(4), 239–252. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1253619>
- Gallardo, A., Carlos, M., Peris, M., & Colomer, F. J. (2015). Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study. *Waste Management*, 36, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.008>
- Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., Musmanno, R., & Vigo, D. (2014). Operations research in solid waste management: A survey of strategic and tactical issues. *Computers & Operations Research*, 44, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.10.006>
- Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., & Triki, C. (2012). Capacitated location of collection sites in an urban waste management system. *Waste Management*, 32(7), 1291–1296. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.009>
- Ghiani, G., Manni, A., Manni, E., & Toraldo, M. (2014). The impact of an efficient collection sites location on the zoning phase in municipal solid waste management. *Waste Management*, 34(11), 1949–1956. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.026>
- Greco, G., Allegrini, M., Del Lungo, C., Gori Savellini, P., & Gabellini, L. (2015). Drivers of solid waste collection costs. Empirical evidence from Italy. *Journal of Cleaner Production*, 106, 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.011>
- Han, H., & Cueto, E. P. (2015). Waste Collection Vehicle Routing Problem: Literature Review. *Promet - Traffic&Transportation*, 27(4), 345–358. <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i4.1616>
- Hannan, M. A., Hossain Lipu, M. S., Akhtar, M., Begum, R. A., Al Mamun, M. A., Hussain, A., Mia, M. S., & Basri, H. (2020). Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches, and their challenges toward achieving sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123557. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123557>
- INE. (2021). *INE - Plataforma de divulgação dos Censos 2021 – Resultados Preliminares*. https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html
- Julianelli, V., Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., & Cruz, S. P. de M. F. (2020). Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 104784. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104784>
- Kallel, A., Serbaji, M. M., & Zairi, M. (2016). Using GIS-Based Tools for the Optimization of Solid Waste Collection and Transport: Case Study of Sfax City, Tunisia. *Journal of Engineering*, 2016, e4596849. <https://doi.org/10.1155/2016/4596849>
- Khan, D., & Samadder, S. (2016). Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City, India. *Waste Management & Research*, 34(7), 666–676. <https://doi.org/10.1177/0734242X16649679>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Lagerkvist, A., & Dahmén, L. (2019). Solid Waste Generation and Characterization. Em N. J. Themelis & A. C. (Thanos) Bourtsalas (Eds.), *Recovery of Materials and Energy from Urban Wastes*:

A Volume in the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Second Edition (pp. 7–20). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7850-2_110

Lopes, D. (2014). *Otimização da recolha seletiva na Valorsul: Estudo de cenários alternativos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Mesjasz-Lech, A. (2019). Reverse logistics of municipal solid waste – towards zero waste cities. *Transportation Research Procedia*, 39, 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.034>

Nelles, M., Grünes, J., & Morscheck, G. (2016). Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy? *Procedia Environmental Sciences*, 35, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.001>

Oliveira, V., Sousa, V., Vaz, J. M., & Dias-Ferreira, C. (2018). Model for the separate collection of packaging waste in Portuguese low-performing recycling regions. *Journal of Environmental Management*, 216, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.065>

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019a). Design and Planning of Waste Collection System. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 141–166). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_9

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019b). Introduction. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 3–11). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_1

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019c). Optimization in Waste Collection to Reach Sustainable Waste Management. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 207–238). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_12

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019d). Preparation for Reusing, Recycling, Recovering, and Landfilling: Waste Hierarchy Steps After Waste Collection. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 45–59). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_4

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019e). Prevention and Reuse: Waste Hierarchy Steps Before Waste Collection. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 13–23). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_2

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019f). Psychosocial Perspective. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 73–93). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_6

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019g). Regulation and Policy Concerns. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 61–71). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_5

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019h). Technology Status of Waste Collection Systems. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid*

Waste Collection and Management (pp. 25–44). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_3

Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., & Gomes, M. I. (2019i). Trend Analysis on Sustainable Waste Collection. Em A. Pires, G. Martinho, S. Rodrigues, & M. I. Gomes (Eds.), *Sustainable Solid Waste Collection and Management* (pp. 323–333). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_17

Pires, A., Sargedas, J., Miguel, M., Pina, J., & Martinho, G. (2017). A case study of packaging waste collection systems in Portugal – Part II: Environmental and economic analysis. *Waste Management*, 61, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.032>

Pohlen, T. L., & Theodore Farris, M. (1992). Reverse Logistics in Plastics Recycling. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 22(7), 35–47. <https://doi.org/10.1108/09600039210022051>

População residente: Total e por grandes grupos etários. (sem data). Obtido 31 de Março de 2021, de <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+total+e+por+grandes+grupos+et%C3%A1rios-390>

PORDATA. (2020). *População residente, estimativas a 31 de Dezembro: Total e por grupo etário.* <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente++estimativas+a+31+de+Dezembro+total+e+por+grupo+et%C3%A1rio-137>

Rathore, P., Sarmah, S. P., & Singh, A. (2020). Location–allocation of bins in urban solid waste management: A case study of Bilaspur city, India. *Environment, Development and Sustainability*, 22(4), 3309–3331. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00347-y>

Rodrigues, S. S. e M. (2016). *Classificação e Benchmarking de Sistemas de Recolha de Resíduos Urbanos* [Tese de Doutoramento em Ambiente]. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1999). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reverse Logistics Executive Council.

Rousta, K., Ordoñez, I., Bolton, K., & Dahlén, L. (2017). Support for designing waste sorting systems: A mini review. *Waste Management & Research*, 35(11), 1099–1111. <https://doi.org/10.1177/0734242X17726164>

Sanjeevi, V., & Shahabudeen, P. (2016). Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai, India. *Waste Management & Research*, 34(1), 11–21. <https://doi.org/10.1177/0734242X15607430>

Stock, J. R. (1992). *Reverse Logistics*. Council of Logistics Management.

Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., & Oduro-Kwarteng, S. (2018). Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods. *Journal of Engineering*, 2018, e4586376. <https://doi.org/10.1155/2018/4586376>

Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., & Oduro-Kwarteng, S. (2019). Effect of optimal routing on travel distance, travel time and fuel consumption of waste collection trucks. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(4), 803–832. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2018-0134>

Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., & Van Wassenhove, L. (1995). Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*, 37(2), 114–136. <https://doi.org/10.2307/41165792>

Tsai, F. M., Bui, T.-D., Tseng, M.-L., Lim, M. K., & Hu, J. (2020). Municipal solid waste management in a circular economy: A data-driven bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124132>

Valorsul. (2020). *Indicadores*. Valorsul. <http://www.valorsul.pt/pt/seccao/a-valorsul/indicadores/>

Valorsul. (2021). *Relatório e contas 2020*. <http://www.valorsul.pt/pt/seccao/a-valorsul/planos-e-relatorios/>

van der Laan, E. A. (2019). Closed Loop Supply Chain Management. Em H. Zijm, M. Klumpp, A. Regattieri, & S. Heragu (Eds.), *Operations, Logistics and Supply Chain Management* (pp. 353–375). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92447-2_16

Vu, H. L., Ng, K. T. W., & Bolingbroke, D. (2018). Parameter interrelationships in a dual phase GIS-based municipal solid waste collection model. *Waste Management*, 78, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.050>

Yuan, Y., & Yabe, M. (2015). Residents' Preferences for Household Kitchen Waste Source Separation Services in Beijing: A Choice Experiment Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(1), 176–190. <https://doi.org/10.3390/ijerph120100176>

Zorpas, A. A. (2020). Strategy development in the framework of waste management. *Science of The Total Environment*, 716, 137088. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137088>

GLOSSÁRIO

Deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro

Percentagem de resíduos urbanos biodegradáveis depositados diretamente em aterro e rejeitados do Tratamento Mecânico (TM) depositados em aterro relativamente ao universo de resíduos urbanos do Sistema (PERSU 2020).

Preparação para reutilização e reciclagem

Percentagem de resíduos de embalagem recolhidos seletivamente, recicláveis provenientes de TM e Tratamento Mecânico-Biológico (TMB), resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) valorizados e escórias metálicas resultantes da valorização energética relativamente à produção de resíduos urbanos (RU) reciclável.

Retomas com origem em recolha seletiva

Quantidade de resíduos de embalagens recolhidos seletivamente retomados para reciclagem.

Anexo A - Cronograma da aplicação da metodologia

Atividades	Duração (dias)	Início (teórico)	Conclusão (teórico)	2021												2022			
				mar	abr	maio	jun	jul	ag	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr		
				10 20 31	10 20 30	10 20 31	10 20 30	10 20 31	10 20 31	10 20 30	10 20 31	10 20 30	10 20 31	10 20 31	10 20 31	10 20 28	10 20 30	10 20 31	
FASE I - Conceção e Planeneamento	85	01/03/2021	25/06/2021																
A. Estudo, caracterização e escolha da área-piloto	45	01/03/2021	30/04/2021																
B. Definição de locais "ótimos"	10	03/05/2021	14/05/2021																
C. Visita aos locais "ótimos" e definição do número viável de locais	45	17/05/2021	16/07/2021																
D. Simulação de rotas e meios de recolha	20	19/07/2021	13/08/2021																
E. Definição do plano de comunicação	25	17/05/2021	12/03/2022																
FASE II - Lançamento e Execução	150	16/08/2021	11/03/2022																
F. Colocação no terreno dos ecopontos novos	45	16/08/2021	08/10/2022																
G. Execução do plano de comunicação	150	16/08/2021	11/03/2022																
H. Recolha de dados do projeto-piloto	150	16/08/2021	11/03/2022																
FASE III - Controlo	20	14/03/2022	08/04/2022																
I. Monitorização e avaliação dos resultados	20	14/03/2022	08/04/2022																

Anexo B - Simulação de uma aplicação do ficheiro Excel a Loures e Odivelas



Registo de Informações		
Ano de Referência	2019	
Município em Estudo	Loures e Odivelas	
População do concelho	375461 hab	

	RS anual (t/ano)	% fluxo
Plástico/Metal	2854	26,69%
Papel/Cartão	4764	44,55%
Vidro	3075	28,76%
Total	10692	100%

Capitação atual	28,48	Kg/(hab.ano)
Objetivo (hab/ecoponto)	180	
Capitação objetivo	42	Kg/(hab.ano)

Limpar

A) ESTUDO DOS MUNICIPIOS E FREGUESIAS

Município a Estudar: Odivelas			Demografia			Produção					Objetivo (hab/ecoponto)					
						Situação			Objetivo	180						
						2019			42							
Município	Dicofre	Freguesia	Pop Estimativa Censos 2021	Área (km2)	Densidade Populacional (hab/km2)	Total Produção (Ton)				Capitação RS (Kg/(hab.ano))	Estimativa Produção	Nº EPV atual	Densidade atual ecopontos (hab/ecop)	Nº ecopontos necessários	Nº ecopontos a acrescentar	
						Plástico/Metal	Papel/Car tã o	Vidro	Total RS							
☒	Odivelas	'111603'	Odivelas	59 546	5,04	11 815	441,4	798,1	338,3	1578	26,5	2500,9	197	302	331	134
☐	Odivelas	'111608'	União das freguesias de Pontinha e Famões	34 143	9,21	3 707	245,5	390,1	264,4	900	26,4	1434,0	98	348	190	92
☐	Odivelas	'111609'	União das freguesias de Póvoa de Santo Adrião e Olival Basto	18 872	2,63	7 176	176,3	205,6	116,6	498	26,4	792,6	54	349	105	51
☐	Odivelas	'111610'	União das freguesias de Ramada e Caneças	32 581	9,66	3 373	300,5	461,8	549,0	1311	40,2	1368,4	142	229	181	39
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																
☐																

[illegible]

Município	Dicofre		População	Recolha Seletiva Trifluxo			Plástico/Metal (ton)			Papel/Cartão (ton)			Vidro (ton)		
				Atuais	Esperadas	Incrementais	Atuais	Esperadas	Incrementais	Atuais	Esperadas	Incrementais	Atuais	Esperadas	Incrementais
Loures	'110702'	Bucelas	4 995	180,20	209,78	29,58	48,1	56,0	7,9	80,3	93,5	13,2	51,8	60,3	8,5
Loures	'110705'	Fanhões	3 000	95,79	126,01	30,22	25,6	33,6	8,1	42,7	56,1	13,5	27,5	36,2	8,7
Loures	'110708'	Lousa	3 394	148,75	142,57	-6,18	39,7	38,1	-1,7	66,3	63,5	-2,8	42,8	41,0	-1,8
Loures	'110729'	União das freguesias de Santo Antão e São Julião do Tojal	8 626	216,12	362,29	146,17	57,7	96,7	39,0	96,3	161,4	65,1	62,2	104,2	42,0
Total			20 015	641	841	200	171	224	53	286	375	89	184	242	57



2021

MADALENA MONTEIRO NUNES

UMA METODOLOGIA DE RECOLHA SELETIVA DE RESÍDUOS
URBANOS