

**Tecnologias de Informação e Comunicação para Otimização da  
Recolha de Resíduos Recicláveis**

Diogo dos Santos Gonçalves

Projeto de Mestrado em Gestão

Orientadora:

Prof. Doutora Tânia Rodrigues Pereira Ramos, Professora Auxiliar, ISCTE Business School,  
Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

abril 2014



## **Resumo**

---

Nesta dissertação estudou-se a eficiência dos processos de recolha de resíduos recicláveis, tendo por base o sistema de recolha de resíduos da Região Oeste e Norte de Lisboa. Atualmente, o planeamento da recolha de resíduos é efetuado de forma pouco eficiente, recorrendo a dados históricos e rotas estáticas como soluções operacionais.

De forma a colmatar estas lacunas, é proposto um sistema de ecopontos inteligentes, os quais, através de um conjunto de sensores ultrassom colocados no seu interior, permitem a monitorização do seu enchimento em tempo real. Desta forma, procurou-se otimizar a seleção de ecopontos a recolher, bem como minimizar a distância total percorrida para efetuar a recolha. Os sensores serão responsáveis pela medição do conteúdo do ecoponto e enviam a informação para uma central de operações.

Para a leitura, interpretação e construção de uma solução foi desenvolvido um modelo para definição de rotas. Este modelo, a partir de um conjunto de restrições e dos dados transmitidos pelos ecopontos, determina quais os ecopontos desejáveis de visita e define uma rota.

A aplicação do modelo ao caso em estudo revelou ser possível encontrar soluções que minimizam a distância percorrida e obtêm uma taxa de utilização do veículo elevada, sem comprometer o horário de trabalho, otimizando assim o processo de recolha de resíduos recicláveis.

## **Palavras Chave**

---

Rotas de veículos, Tecnologias de Informação e Comunicação, Gestão de Resíduos, Algoritmo de Otimização.

## **Abstract**

---

In this work it was studied the efficiency of the recyclable waste collection process, based on a real waste collection system in the West Region and North of Lisbon. Currently, the planning of waste collection is inefficiently performed, using historical data and static routes as operational solutions.

In order to overcome these shortcomings, it is proposed a system of intelligent containers (bins) which, through a set of ultrasound sensors placed inside the bins, allows the monitoring of the filling rate, in real time. The sensors are responsible for measuring the contents of the collection points and send the information to a central. Thus, we sought to optimize the selection of containers to be collected, as well as minimizing the total distance traveled to make the collection.

For reading, interpretation and construction of a solution route, it was developed a new model. This model, considering a set of constraints and the data transmitted by the sensors placed inside the recycling containers, defines the desirable containers to be visited and defines the collection route.

The application of the model to the case study proved to be possible to find solutions that minimize the distance travelled and to obtain an acceptable usage rate of the vehicles, without compromising drivers working hours. Therefore, it was possible to optimize the recyclable waste collection process.

## **Keywords**

---

Vehicle Routing, Information and Communication Technologies, Waste Management, Optimization Algorithm.

## Agradecimentos

---

Ao longo deste ano letivo 2013/2014 muitas foram as pessoas que me ajudaram, de uma forma ou de outra, para a persecução dos objetivos estabelecidos, e como tal merecem todo o respeito e a minha consideração.

À minha orientadora, pelo esforço, orientação e constante disponibilidade para me guiar e dar condições para alcançar as metas planeadas. Será sempre uma referência ao longo da minha vida e carreira profissional.

À Valorsul, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos da Região de Lisboa e do Oeste, S. A., por me ter disponibilizado este caso de estudo e ter oferecido todo o material essencial para alcançar os objetivos propostos.

Ao meu grande amigo João Matos Fernandes pela paciência e conhecimentos computacionais transmitidos que me permitiram ultrapassar alguns obstáculos.

Aos meus amigos Vasco Dias, Francisco Peres, Valdemar Faria, Cláudio Caetano, Pedro Almeida, Filipe Santos e Ricardo Dias pela constante motivação, ajuda, apoio que ofereceram.

À minha equipa de futsal, ADRC Mata de Benfica, pelos momentos de libertação de stress.

Ao Dr. Luís Figueiredo por me ter sugerido este mestrado no ISCTE e pelo apoio que me deu ao longo destes dois anos.

Queria ainda agradecer a todos os meus amigos quer direta ou indiretamente tenham intervindo na evolução desta dissertação.

Por fim, aos meus pais e irmão, pelo respeito nos momentos de ausência, carinho e apoio dado concedido ao longo de toda a minha vida.

# Índice Geral

---

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema em Estudo e Objetivos .....	1
1.2. Metodologia.....	2
1.3. Estrutura da dissertação .....	4
<b>2. Enquadramento do Caso Estudo .....</b>	<b>6</b>
2.1. Gestão de Resíduos .....	6
2.1.1. Enquadramento Económico, Ambiental e Social .....	6
2.1.2. Enquadramento Tecnológico.....	10
2.2. Gestão de Resíduos na União Europeia .....	11
2.3. Gestão de Resíduos em Portugal.....	14
2.3.1. Sistema de recolha de resíduos na Região de Lisboa e do Oeste .....	19
2.3.1.1. Descrição do processo de recolha seletiva .....	22
2.3.1.2. Identificação do Problema .....	24
2.4. Objetivos do Estudo .....	26
<b>3. Tecnologias de Informação e Comunicação para recolha de resíduos .....</b>	<b>27</b>
3.1. Tecnologias de Comunicação .....	27
3.1.1. GPRS/GSM.....	27
3.1.2. GPS .....	29
3.2. Tecnologias de Informação .....	29
3.2.1. Geographic Information System .....	29
3.2.2. Sistema RFID .....	31
3.2.3. Sistema Webcam .....	32
3.2.4. Sistema Sensor Volumétrico .....	33
3.2.5. Sistema LED Infravermelho ativo .....	34
<b>4. Problema de definição de rotas de veículos .....</b>	<b>35</b>
4.1. Vehicle Routing Problem .....	35
4.2. Variantes de VRP .....	36
4.2.1. Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) .....	36
4.2.2. Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP).....	37
4.2.3. Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP).....	37
4.2.4. Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) .....	38
4.2.5. Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP).....	38
4.3. Team Orienteering Problem .....	40
4.4. Aplicações a sistema de gestão de resíduos.....	42
<b>5. Modelo de definição de rotas para o TOP .....</b>	<b>46</b>
5.1. Considerações gerais .....	46
5.2. Objetivos e Restrições .....	47
5.3. Algoritmo para a definição de rotas TOP.....	47
<b>6. Caso de Estudo .....</b>	<b>52</b>
6.1. Situação Atual de recolha de Resíduos da Valorsul.....	52
6.1.1. Recolha de Vidro .....	55
6.1.2. Recolha de Papel/Cartão .....	57
6.1.3. Recolha de Plástico/Metal.....	59
6.2. Situação Proposta para recolha de Resíduos .....	60
6.2.1. Tecnologia para monitorização de Resíduos.....	60
6.2.2. Aplicação do Algoritmo para resolução do problema .....	63
6.2.2.1. Recolha de Vidro.....	64
6.2.2.2. Recolha de Papel/Cartão .....	65

6.2.2.3. Recolha de Plástico/Metal .....	67
6.2.3. Benefícios colhidos .....	68
6.2.4. Análise da Viabilidade Económica do Investimento .....	69
<b>7. Conclusões e Investigação Futura .....</b>	<b>73</b>
7.1. Síntese e conclusões .....	73
7.2. Investigação Futura .....	74
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>77</b>
<b>Anexo A .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo B .....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo C .....</b>	<b>89</b>

# Índice de Figuras

---

Figura 1: Quantidade, em toneladas, de material reciclado em Portugal (SPV, 2013) .....	9
Figura 2: Pirâmide de prioridades da UE.....	12
Figura 3: Quantidade de resíduos produzidos vs Quantidade de resíduos tratados na UE (UE, 2013) .....	13
Figura 4: Distribuição percentual do destino final dos resíduos dentro da União Europeia (UE, 2013) .....	13
Figura 5: Percentagem do Peso total dos resíduos recicláveis recolhidos por Fluxo Específico de Resíduo (INE, 2010) .....	17
Figura 6: Sistemas Municipais e Autarquias (SMAUT) aderentes ao Sistema Ponto Verde, responsáveis pela recolha e triagem e no contacto com o consumidor (APA, 2012) .....	18
Figura 7: Sistema Valorsul para gestão do ciclo de vida dos resíduos (Valorsul, 2013).....	20
Figura 8: Área de Intervenção da Valorsul .....	22
Figura 9: Cobertura de rede GSM em Portugal (ANACOM, 2013) .....	27
Figura 10: Cobertura de GPRS em Portugal (Optimus, 2000) .....	28
Figura 11: Comunicação GPRS entre diversos tipos de dispositivos .....	28
Figura 12: Comunicação entre um dispositivo e as partes integrantes do sistema GPS.....	29
Figura 13: Recetor e interpretador da informação recebida dos satélites GPS .....	29
Figura 14: GIS da cidade de Irati para planeamento de rotas para recolha de resíduos .....	30
Figura 15: circuito RFID e respetivo transponder .....	31
Figura 16: Funcionamento do sistema RFID para recolha de resíduos .....	32
Figura 17: Comparação de imagens para diferentes contentores com sistema webcam .....	33
Figura 18: Imagem binária obtida pelo algoritmo do sistema webcam .....	33
Figura 19: Funcionamento do sistema por sensor volumétrico .....	34
Figura 20: Funcionamento do sistema LED.....	34
Figura 21: Exemplo de um TOP.....	41
Figura 22: Exemplo de compatibilidade e não compatibilidade entre pares na rota.....	49
Figura 23: Fluxograma do algoritmo proposto .....	51
Figura 24: Exemplo de um Ecoponto .....	52
Figura 25: Dispersão de Ecopontos da Valorsul.....	53
Figura 26: Área de Intervenção escolhida para teste piloto .....	55
Figura 27: Circuito sem e com Sistema sensor ultrassom .....	61
Figura 28: Sensor Enevo.....	61
Figura 29: Exemplos de contentores aptos para sensor Enevo.....	62
Figura 30: Interações entre os diferentes elementos do sistema (Davide, 2012).....	62
Figura 31: Rotas Atuais na zona considerada vs Exemplos de rotas obtidas pelo modelo proposto na zona considerada.....	65

## Índice de Tabelas

---

Tabela 1: Fluxo de Resíduos Específicos e Entidade Licenciada Responsável .....	17
Tabela 2: Periodicidade de recolha no período entre Janeiro e Setembro de 2013 .....	23
Tabela 3: Dados dos ecopontos da Valorsul relativamente à recolha de resíduos de embalagens de plástico/metal em 4 rotas distintas .....	24
Tabela 4: Dados dos veículos da Valorsul relativamente à recolha de resíduos de embalagens de plástico/metal em 4 rotas distintas .....	25
Tabela 5: Características das principais redes sem fios .....	27
Tabela 6: Frota de Veículos da Valorsul .....	53
Tabela 7: Densidade dos materiais recolhidos e carga útil dos veículos de recolha .....	54
Tabela 8: Número de Contentores por Rota e por Tipo de Resíduo a considerar no teste piloto .....	55
Tabela 9: Dados da Recolha de vidro entre Janeiro e Junho de 2013 .....	56
Tabela 10: Síntese dos valores médios para a distância percorrida por rota e por hora, carga e taxa de utilização do veículo para recolha de vidro .....	57
Tabela 11: Dados da Recolha de papel/cartão entre Janeiro e Junho de 2013 .....	58
Tabela 12: Síntese dos valores médios para a distância percorrida por rota e por hora, carga e taxa de utilização do veículo para recolha de papel/cartão .....	58
Tabela 13: Dados da Recolha de plástico/metal entre Janeiro e Junho de 2013 .....	59
Tabela 14: Síntese dos valores médios para a distância percorrida por rota e por hora, carga e taxa de utilização do veículo para recolha de plástico/metal .....	59
Tabela 15: Resultados obtidos para a recolha do vidro utilizando o algoritmo proposto .....	64
Tabela 16: Dados médios de distância, carga e taxa de utilização do veículo por rota para o vidro .....	65
Tabela 17: Resultados obtidos para a recolha do papel/cartão utilizando o algoritmo proposto .....	66
Tabela 18: Dados médios de distância, carga e taxa de utilização do veículo por rota para o papel/cartão .....	66
Tabela 19: Resultados obtidos para a recolha do plástico/metal utilizando o algoritmo proposto .....	67
Tabela 20: Dados médios de distância, carga e taxa de utilização do veículo por rota para o plástico/metal .....	67
Tabela 21: Principais resultados face à situação atual .....	68
Tabela 22: Otimização da distância (km) percorrida pela implementação do modelo proposto .....	69
Tabela 23: Análise de Investimento no sistema Enevo ONe Collect .....	70
Tabela 24: Custo equipamento do sistema de Davide (2012) .....	70
Tabela 25: Cash-Flows do projeto de investimento com reinvestimento .....	89
Tabela 26: Cash-Flows do projeto de investimento sem reinvestimento .....	90

## **1. Introdução**

### **1.1. Problema em Estudo e Objetivos**

Os índices de crescimento da população mundial têm-se apresentado como um sério risco para o ambiente. Mais pessoas significa maior consumo de recursos e maior deposição de resíduos. O crescimento populacional alinhado à falta de consciência, ignorância e conhecimento da sociedade sobre os efeitos do aumento dos resíduos também contribui para deteriorar a situação. Por outro lado, a Europa atravessa uma fase de recuperação económica e tem sido essencial a procura de planos estratégicos que visem a recuperação através da busca pela eficiência e eficácia dos processos que compõe a atividade de gestão de resíduos. O trabalho descrito nesta dissertação visa melhorar a tomada de decisões operacionais em sistemas responsáveis pela recolha de resíduos recicláveis.

A manutenção de um sistema de gestão de resíduos comporta custos de investimento e de operação bastante elevados. Atualmente, Portugal mantém em paralelo um sistema de recolha seletiva de resíduos e um sistema de recolha de resíduos indiferenciados. Em gestão, a flexibilidade e a resiliência de um sistema é, grosso modo, o seu grau de adaptação a um novo contexto ou envolvente. Dado este panorama, a área da Logística Inversa associada à reutilização, recuperação e reciclagem de materiais tem sido, nos últimos anos, alvo de diversas mudanças estratégicas e operacionais por parte da União Europeia. Para além de ser uma fonte económica dispendiosa, se não for bem gerida pode causar graves problemas ecológicos e danificar o bem-estar das gerações futuras.

Apesar de a economia mundial ter entrado em recessão, a área das tecnologias de informação e comunicação (TIC) tem tido um crescimento bastante surpreendente. As TIC têm demonstrado serem bastante benéficas em diversos sectores de atividade, tendo otimizado os custos e rapidez dos processos de atividade.

Dada a importância da gestão de resíduos na vida das populações, o objetivo desta dissertação é estudar a implementação de um sistema baseado em tecnologias de informação e comunicação para a gestão inteligente de uma rede de ecopontos (contentores disponibilizados às populações para a deposição de resíduos recicláveis). Atualmente, os sistemas de recolha dos ecopontos baseiam-se no planeamento de rotas de recolha estáticas, as quais incluem ecopontos que podem estar vazios ou com um nível de enchimento reduzido. Por vezes, um veículo desloca-se diversos quilómetros para regressar com uma carga de

resíduos inferior a 50% da sua capacidade total de carga, representando um desperdício, entre outros, de diversos litros de combustível.

Assim, o principal objetivo desta dissertação é estudar a implementação de um sistema tecnológico para monitorização em tempo real do nível de enchimento dos ecopontos, de forma a definir rotas dinâmicas para recolha de resíduos. Para a persecução do objetivo geral, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Caraterizar a situação atual de um sistema real de recolha de resíduos – o sistema de recolha na região Oeste e Norte de Lisboa;
- Identificar as principais lacunas existentes do processo de recolha atual;
- Analisar as tecnologias de informação e comunicação para monitorização de ecopontos;
- Identificar os principais modelos publicados na literatura para abordagem de problemas de logística inversa, nomeadamente, definição de rotas de recolha;
- Caraterizar a implementação de um sistema para resolução das lacunas existentes no planeamento da atual recolha de resíduos;
- Desenvolver um algoritmo para a definição de rotas dinâmicas;
- Analisar os resultados do sistema proposto, medindo as poupanças obtidas;
- Analisar a viabilidade económica do sistema proposto.

## **1.2. Metodologia**

De acordo com o problema em estudo, será seguida uma metodologia constituída por 6 etapas para dar resposta aos objetivos enunciados.

As etapas seguidas serão as seguintes:

1. Enquadramento do Caso de Estudo – Nesta primeira fase será efetuada uma análise à situação atual da gestão de resíduos na União Europeia. Serão abordados tópicos de carácter social e ambiental, tecnológico e económico. No final desta fase irá ser apresentada a empresa responsável pela recolha de resíduos na região Oeste e Norte de Lisboa, a Valorsul, que será alvo de análise nesta dissertação. Será identificado o problema em estudo, com uma breve análise do planeamento da recolha de resíduos.
2. Tecnologias de Informação e Comunicação – Após apresentação do caso de estudo, a próxima fase tem como objetivo a apresentação de soluções tecnológicas estudadas e implementadas na literatura para a resolução do tipo de problema abordado neste

trabalho. As tecnologias serão divididas entre tecnologias de comunicação e tecnologias de informação. A conjugação das duas permite obter um sistema TIC possível de resolver a questão em estudo.

3. Revisão da Literatura – Depois de apresentadas as tecnologias que permitem colmatar as lacunas existentes pela sua não utilização, a terceira fase tem como objetivo apresentar o problema da definição de rotas de veículos. Será efetuada uma revisão da literatura descrevendo os principais modelos existentes e a sua aplicação para a resolução da questão em estudo. Nesta fase será ainda efetuada uma ponte entre o uso das tecnologias, mencionadas na etapa anterior, e os modelos existentes para a definição das rotas de veículos. Serve, então, a fase 3 para sistematizar todas as abordagens da literatura passíveis de serem aplicadas no caso de estudo.
4. Construção do modelo – Nesta fase, posteriormente à revisão da literatura sobre problemas para definição de rotas, será desenvolvido um algoritmo do tipo TOP (Team Orienteering Problem) para a resolução dos problemas adjacentes à construção de rotas para recolha de resíduos. O modelo apresentado tem como objetivo otimizar as rotas de recolha a partir do tratamento dos dados enviados por um sistema TIC.
5. Teste de validação e aplicabilidade – Na penúltima fase a seguir, serão efetuadas duas grandes etapas. A primeira tem como objetivo a caracterização da situação atual de recolha de resíduos da Valorsul. A segunda comporta a apresentação e implementação do sistema TIC proposto e aplicação do modelo construído.
6. Discussão de resultados – Posteriormente à validação e aplicabilidade do sistema e modelo proposto, serão analisados em detalhe os resultados obtidos na etapa anterior. Serão estudados dois cenários de investimento, tendo em conta o mesmo sistema TIC proposto. As soluções encontradas serão descritas em detalhe e explicada a sua importância no futuro. Posteriormente, serão realizadas um conjunto de recomendações de acordo com os resultados obtidos.

As etapas consideradas servem assim como linha orientadora sobre o desenvolvimento de uma solução para o caso em estudo.

### **1.3.Estrutura da dissertação**

O presente documento encontra-se estruturado em 7 capítulos.

No presente capítulo é efetuado uma descrição do problema em estudo e os objetivos para a persecução da sua solução. É ainda apresentada a metodologia a seguir durante o processo de abordagem ao caso de estudo.

O capítulo 2 tem como objetivo o enquadramento do caso de estudo desta dissertação. Em primeiro, começa-se por introduzir o tema da gestão de resíduos e as suas vertentes económicas, sociais, ambientais e tecnológicas. É também apresentado o caso de estudo relativo à recolha de resíduos de embalagens na região de Lisboa e do Oeste. É realizada uma caracterização da Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S. A., empresa Intermunicipal responsável gestão da recolha de resíduos de embalagens nas regiões consideradas. No término do capítulo é feita uma breve descrição da situação atual de recolha de embalagens de plástico/metal como ilustração da situação atual e explicados os objetivos do caso de estudo.

No capítulo 3 são apresentadas as tecnologias atualmente existentes no mercado e que constituem alguns sistemas integrados para gestão da recolha de resíduos. O capítulo encontra-se dividido em Tecnologias de Comunicação e Tecnologias de Informação. O primeiro tema diz respeito às tecnologias responsáveis apenas pela comunicação de dados e informações. O segundo tema aborda sistema para análise, medição, tratamento e armazenamento da informação. A conjugação de algumas das tecnologias apresentadas permite obter um poderoso sistema de gestão e tratamento da informação, essencial para um eficiente sistema de recolha de resíduos.

O capítulo 4 é totalmente dedicado à revisão da literatura de problemas clássicos para definição de rotas de veículos. São apresentados e descritos os dois principais métodos de abordagem, e algumas variantes. No término do capítulo é realizada uma descrição dos sistemas estudados e implementados na literatura para recolha de resíduos.

No capítulo 5 é descrito o modelo desenvolvido para definição de rotas, baseado num dos métodos de abordagem apresentado no capítulo 4, o TOP. O seu desenvolvimento tem como objetivo a minimização dos custos associados às operações de recolha. O modelo procura definir, a partir de dados de enchimento de ecopontos, a rota ótima para um determinado dia, minimizando a distância percorrida.

## Capítulo 1: Introdução

No capítulo 6 é apresentada a atual situação de recolha de resíduos numa zona piloto da Valorsul e aplicada uma proposta de solução para tornar os processos do atual sistema mais eficientes. São apresentadas as informações relativas ao atual processo de recolha e descritas as lacunas encontradas. De seguida é realizada uma proposta para solucionar as lacunas encontradas. A proposta baseia-se na implementação de um sistema de tecnologias de informação e comunicação, juntamente com a aplicação do modelo apresentado no capítulo 5. É aplicado o sistema e apresentados os resultados através de experimentação computacional. São apresentados e descritos dois sistemas de tipologia e funcionamento igual mas com diferenças na sua gestão. No término do capítulo é realizada uma análise da viabilidade económica da implementação de um dos dois sistemas.

Por fim, no capítulo 6 é realizada uma síntese do caso de estudo desta dissertação, apresentadas as principais conclusões e indicados os principais temas que devem ser objeto de investigação futura.

## **2. Enquadramento do Caso Estudo**

### **2.1. Gestão de Resíduos**

Nas últimas décadas, o crescimento exponencial da população mundial tem conduzido ao consumo descontrolado dos recursos naturais e intensificado a produção de resíduos, levando assim a uma maior degradação do ambiente. O modelo de pensamento assente na tese de que a natureza consegue absorver e transformar os resíduos produzidos esteve na base de alguns dos atuais problemas ambientais, tais como as alterações climáticas.

Tendo em conta o atual crescimento populacional e que maior qualidade de vida implica igualmente uma maior preocupação ambiental, é necessário desenvolver estratégias de preservação ambiental para alcançar um desenvolvimento sustentável com políticas que visem a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos produzidos.

A Política de Gestão de Resíduos assenta, assim, na prossecução de um conjunto de objetivos estratégicos, quer dos governos, quer dos cidadãos. Aos governos cabe criar medidas que procurem incentivar os cidadãos e as empresas a adotarem medidas que suportem a sustentabilidade. Aos cidadãos cabe o dever civil de cumprir integralmente as medidas impostas pelo governo. As vantagens da sintonia proposta terá bastantes benefícios.

#### **2.1.1. Enquadramento Económico, Ambiental e Social**

O conceito de sustentabilidade começou a ser delineado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment - UNCHE), realizada na Suécia, na cidade de Estocolmo entre 5 a 16 de junho de 1972, a primeira conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e a primeira grande reunião internacional para discutir as atividades humanas em relação ao meio ambiente.

A Conferência de Estocolmo lançou as bases das ações ambientais a nível internacional, chamando à atenção especialmente para questões relacionadas com a degradação ambiental e a poluição, que afetam países, regiões e povos.

Em 1992, na Cimeira da Terra, realizado no Rio de Janeiro, Brasil, consolidou-se o conceito de sustentabilidade com desenvolvimento. Surgiu, assim, o conceito de desenvolvimento sustentável, nascido da reflexão sobre a degradação ambiental do Planeta e a sua relação com o crescimento económico. Assim, sustentabilidade ficou definida como um conjunto de ações e atividades humanas que visam suprir as atuais necessidades das sociedades proporcionando

desenvolvimento económico sem agredir o meio ambiente de forma a não comprometer as gerações futuras.

A integração, no tecido empresarial, dos princípios da sustentabilidade tem como consequência a maximização do crescimento económico, mas respeitando o ambiente e as pessoas. No decurso desta situação, a atividade de recolha de resíduos tem vindo a ganhar uma grande importância no ofício comercial.

Em qualquer atividade económica existe a troca de produtos transformados, provenientes da transformação de matéria-prima. Para as empresas de reciclagem responsáveis pela recolha e tratamento de resíduos, a matéria-prima são os resíduos depositados nos ecopontos, não havendo por isso custos associados à sua compra. Estas apenas têm de gerir a recolha, triagem e tratamento dos resíduos depositados pelos cidadãos.

A revolução tecnológica, sentida no último século, permitiu às empresas de reciclagem desenhar soluções de reaproveitamento dos resíduos urbanos, quer sob a forma de produto ou matéria-prima, quer sob a forma de energia.

Através da reciclagem é possível transformar produtos usados em novos produtos que podem ser novamente inseridos no mercado sob a forma de matéria-prima. Neste sentido, tem sido implementadas políticas que visam a redução e reciclagem dos resíduos produzidos pela economia assim como a promoção de processos de produção mais ecológicos. Nesta perspetiva é possível reduzir a quantidade de matéria-prima associada aos processos de produção, assim como a necessidade de endividamento com importações, visando as trocas de materiais dentro do país.

Outra solução proveniente da gestão de resíduos é a valorização energética, através do qual é possível transformar os resíduos em energia. Esta energia pode ser obtida através da incineração dos resíduos ou através da produção de biogás proveniente da decomposição orgânica, sendo posteriormente vendida injetada na rede elétrica.

*“A revolução industrial trouxe produção de bens em massa e, conseqüentemente, consumo nas mesmas proporções. (...) Produtos em massa, consumo em massa, problemas em massa.”*  
(Marques, 2005).

Durante muitos anos, a solução para os resíduos produzidos pelas populações era o depósito em lixeiras a céu aberto (local de depósito de qualquer tipo de resíduos sem qualquer controlo) na esperança que a natureza os decompusesse e absorvesse. Esta solução, para além

de causar uma degradação da paisagem, tem elevados impactos negativos no ambiente, na medida em que contribui para a proliferação de doenças pela atração de insetos e roedores. Por outro, a decomposição de determinados resíduos e a sua infiltração no solo pode causar a contaminação dos lençóis de água. Estamos, assim, perante uma situação quer de distúrbio social, quer de distúrbio ambiental. Tais problemas podem causar a extinção de ecossistemas das regiões.

Com o passar dos anos, as lixeiras a céu aberto foram substituídas por aterros sanitários. O conceito é o mesmo, porém os aterros são locais onde é feito um isolamento total do terreno e onde existe um controlo total dos resíduos depositados. Contrariamente às lixeiras a céu aberto, consegue-se obter benefícios energéticos nos aterros sanitários. O gás produzido pela decomposição dos resíduos orgânicos pode ser usado para a produção de energia ou eliminado de forma ambientalmente correta. Um sistema de aproveitamento energético a partir de resíduos depositados em aterros levanta algumas perspetivas de viabilidade energética, uma vez que o destino de cerca de 60% dos resíduos produzidos em Portugal são aterros sanitários (APA, 2012).

O constante crescimento demográfico e a concentração das populações em grandes centros urbanos altera os hábitos de consumo, levando a um aumento dos recursos consumidos, o que eleva a produção de resíduos. A forma de armazenagem destes resíduos consiste em contentores situados nas ruas da cidade. Estes estão muito expostos e podem ser alvo de vandalismo; e quando sobrelotados têm um impacto visual negativo no ambiente urbano. Por questões de higiene e segurança foram lançados, recentemente, contentores em formato de ilha ecológica. As ilhas ecológicas caracterizam-se pelo armazenamento subterrâneo em contentores de dimensão três vezes superior aos ecopontos tradicionais. A este sistema está associado um armazenamento maior de resíduos, um período de vida útil mais longo, maior funcionalidade, já que permitem uma recolha segura e cómoda dos resíduos urbanos, facilidade de enquadramento no ambiente urbano, promovendo uma melhor circulação de peões nas vias atualmente ocupadas, e maior higiene através da contenção de odores.

Embora haja cada vez mais consciência dos cidadãos em reduzir, reciclar e reutilizar materiais, existem ainda muitos resíduos urbanos que não podem ser reciclados nem ir para aterros, tendo, por este motivo, o destino final de incineração. Em 2011, 21% dos resíduos urbanos foram valorizados energeticamente através de processos de incineração (APA, 2013).

No entanto, o processo de incineração comporta grandes riscos ambientais, sendo, por isso, alvo de objeção social e ambiental. A construção de uma central de incineração compreende uma grande área, o que pode levar à destruição de ecossistemas. Por outro lado, durante a incineração de resíduos são libertados gases e toxinas para a atmosfera e que são nocivos para os seres vivos. Porém, com o avanço dos procedimentos tecnológicos foram desenvolvidos alguns filtros industriais capazes de fixar quase totalmente os gases emitentes durante a incineração, minimizando assim os riscos para a população.

A sociedade encontra-se cada vez mais focada em reciclar. Segundo dados da Sociedade Ponto Verde (SPV), foram estabelecidos pela União Europeia para o ano de 2011 metas ambiciosas:

- Valorizar 60% do peso total dos resíduos de embalagens;
- Reciclar um mínimo de 55% desses resíduos;
- Reciclar um mínimo de 60% de vidro, 60% de papel/cartão, 50% de metal, 22.5% de plástico e 15% de madeira.

No ano de 2011, a taxa de retoma de resíduos de embalagens atingiu os 64%, ultrapassando a meta prevista (55%), sendo a taxa de retoma do vidro de 53%, papel/cartão de 85%, metal de 83%, plástico de 37% e madeira de 78%. Apenas o vidro teve uma taxa de reciclagem abaixo da meta prevista.

No ano de 2013, foram recicladas, em Portugal, 618.814 toneladas de embalagens de vidro, papel, plástico, metal e madeira face às 218.679 toneladas recicladas em 2003, o que representa um aumento de 83% nos últimos 10 anos (ver Figura 1).

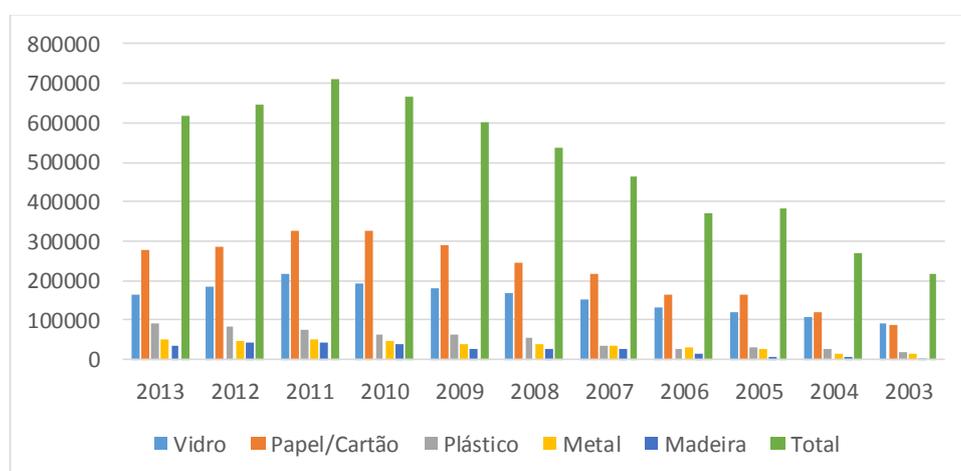


Figura 1: Quantidade, em toneladas, de material reciclado em Portugal (SPV, 2013)

Este crescimento faz acreditar que o gesto de reciclar está cada vez mais presente na população portuguesa. Esta nova mentalidade trouxe enormes benefícios para Portugal. Só em 2012, o sector da reciclagem sustentou 2.300 postos de trabalho, libertou menos de 116 mil toneladas de dióxido de carbono e contribuiu com 71 milhões de euros para o PIB nacional. E, mais importante ainda, reciclar significa menos extração de matérias-primas, menos consumo de energia para fabricar novos produtos, menos emissões de dióxido de carbono e mais valor acrescentado para a economia (SAPO Greensavers, 2013).

### **2.1.2. Enquadramento Tecnológico**

A dispersão de resíduos aumentou significativamente com a industrialização e urbanização. Assim, as dificuldades impostas à gestão de resíduos têm também aumentado. Contudo, nas duas últimas décadas houve uma explosão tecnológica que beneficiou o crescimento e expansão de vários sectores. A vasta difusão da Internet, assim como o nascimento de novas tecnologias bastante fiáveis, duradouras e a um preço acessível, permitiu um maior investimento experimental de novos sistemas integrados. Por conseguinte, o sector responsável pela gestão de resíduos urbanos foi um dos beneficiados. A introdução de sistemas automáticos e centralizados beneficiou em larga escala todos os processos inerentes à recolha, manuseamento e transporte de resíduos urbanos.

Com o crescimento exponencial da tecnologia, novos modelos de otimização foram desenvolvidos visando a integração de novos equipamentos inteligentes no sistema de gestão de resíduos. Segundo Rada (2013), nos últimos anos, alguns casos de estudo disponibilizados mostraram que a adoção de novos sistemas integrados tem demonstrado ser um bom investimento.

Contudo, existe ainda um desnível entre a informação disponível e a informação real. Esta situação deriva da escassez de tecnologias de informação e comunicação entre os ecopontos e a central de recolha. Num futuro próximo deverá proceder-se a uma renovação e/ou mudança arquitetónica das áreas urbanas de forma a tornar o processo de recolha mais eficiente.

Na ordem deste pensamento, em 1961 foi desenhado e testado um protótipo de um sistema de recolha de resíduos através de vácuo na Suécia (método ENVAC). Este demonstrou ser bastante eficiente, porém levou a algumas adaptações urbanas. O método ENVAC encontra-se em funcionamento em mais de 21 países, inclusivé em Portugal - Parque das Nações – prestando serviços em áreas residenciais, áreas de negócio, áreas industriais, hospitais e aeroportos.

Na recolha por vácuo, os resíduos são encaminhados, através de tubos subterrâneos, diretamente do ecoponto até uma central de armazenagem, onde são recolhidos e transportados por uma frota de veículos para uma central de tratamento e triagem. Através deste sistema é, assim, possível servir os cidadãos 24h por dia, durante 365 dias, reduzir os custos operacionais associados à recolha de resíduos, potencializar as áreas urbanas através da estética e higiene, libertar zonas que podem ser aproveitadas para outros fins económicos ou transformadas em zonas verdes e reduzir as perturbações de trânsito.

Apesar das vantagens do sistema, o custo elevado assusta os investidores. Barcelona, Espanha, já investiu, desde 1992, mais de 150 milhões de euros. O custo para que o sistema abranja cerca de 18 mil famílias é de, em média, 50 milhões de euros. Contudo, para o gerente comercial da ENVAC Brasil, Fábio Colella: *“o investimento é alto, mas compensado a longo prazo”* (Envac, 2011).

Dado que uma reconstrução de zonas urbanas teria custos elevadíssimos, a melhor opção seria a utilização de tecnologias de informação e comunicação entre os ecopontos e a central de recolha, num processo centralizado. Nesta solução, os ecopontos, através de um sistema RFID armazenariam informações relativas ao seu nível de enchimento, enviando-os, posteriormente, via GPRS/GSM para a central de recolha. As rotas seriam traçadas consoante o nível de enchimento dos ecopontos. Desta forma, só seriam visitados os ecopontos com níveis de enchimento considerados elevados. Os custos com combustível e mão-de-obra seriam, assim, reduzidos tornando o processo de recolha mais eficiente em termos financeiros.

## **2.2.Gestão de Resíduos na União Europeia**

A União Europeia (UE) tem vindo a desenvolver, nos últimos 30 anos, uma série de planos e legislações que procuram reduzir os impactos negativos da atividade humana sem comprometer o desenvolvimento económico, ambiental e social.

Segundo dados de um estudo efetuado pela Comissão Europeia, *“as operações ilegais relacionadas com os resíduos nos Estados-Membros estão a causar a perda de oportunidades para crescimento económico”* (UE, 2012).

Em 2008, o sector de gestão e reciclagem de resíduos na UE obteve um volume de negócios de 145 mil milhões de euros, representando cerca de 1% do PIB da UE e 2 milhões de postos de trabalho (UE, 2012).

Entre 2002-2012, o *EU's Sixth Environment Action Programme*, proposto pela União Europeia, definiu a gestão e prevenção de resíduos como uma das suas 4 áreas prioritárias (Decisão n.º 1600/2002/CE do Parlamento Europeu e do Conselho). Em 2005 a revisão das diretivas relativas às políticas de resíduos da UE, introduziu a pirâmide de prioridades a seguir pelos Estados-Membros. No topo da pirâmide encontra-se a Prevenção, seguida da Reutilização, Reciclagem, Outras formas de recuperação e Eliminação (ver Figura 2).

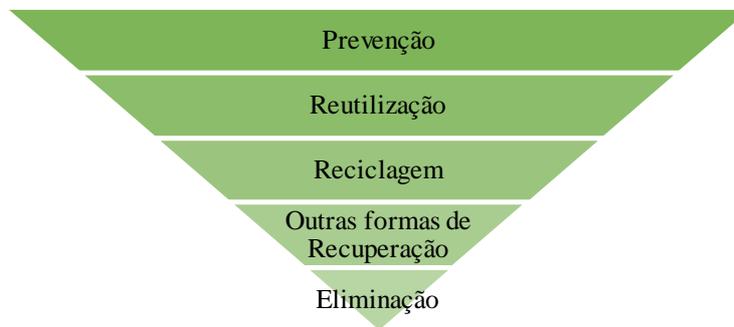


Figura 2: Pirâmide de prioridades da UE

Em 2012, a Comissão Europeia formalizou o Programa *Living well, within the limits of our planet* como plano de ação ambiental a cumprir até 2020. Este programa propõe um conjunto de estratégias a serem cumpridas dentro da Comunidade Europeia com o objetivo de elevar a resiliência ecológica europeia e transformar a União Europeia numa zona economicamente sustentável.

A proposta da UE assenta em três princípios fundamentais:

- Prevenção – tem como objetivo influenciar os métodos de produção promovendo o uso de materiais ecológicos. Se se conseguir reduzir a quantidade de resíduos provenientes das atividades económicas e reduzir o seu impacto no ambiente através de políticas de que reduzam a quantidade de materiais perigosos presentes nestes, a eliminação dos resíduos será bastante simples;
- Reciclagem e Reutilização – como alternativa à falta de eficácia da prevenção, será útil promover a reutilização dos resíduos produzidos assim como a sua utilização noutra atividade através da reciclagem, na qual o resíduo é transformado;
- Monitorização e melhoramento da eliminação final – caso não seja possível reutilizar ou reciclar o resíduo é essencial possuir métodos eficazes para eliminação do mesmo sem colocar o ambiente em perigo.

## Capítulo 2: Enquadramento do Caso de Estudo

A atual legislação da UE relativa à gestão de resíduos economizaria cerca de 72 mil milhões de euros, aumentaria o volume de negócios em 42 mil milhões e criaria mais de 400.000 postos de trabalho (UE, 2012).

Dados relativos a 2010 mostram que a quantidade de resíduos produzidos, em média, por pessoa por ano era de 502kg, enquanto que a quantidade de resíduos tratada, em média, por pessoa era 486kg. A quantidade de resíduos produzidos varia dentro de cada Estado-Membro, sendo que o Chipre é aquele que apresenta a maior quantidade produzida em média por pessoa, 760 kg (ver Figura 3).

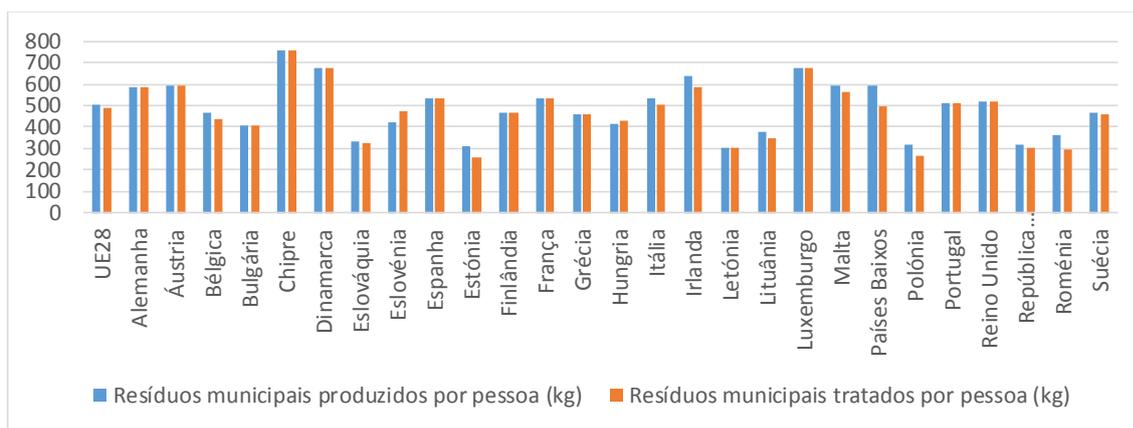


Figura 3: Quantidade de resíduos produzidos vs Quantidade de resíduos tratados na UE (UE, 2013)

Pela análise da Figura 4, é possível evidenciar que a quantidade de resíduos com destino final em aterros é ainda bastante elevada. As novas metas da UE propõem novas medidas estratégicas que visam novas soluções para os resíduos produzidos, quer através da reciclagem ou através da sua valorização.

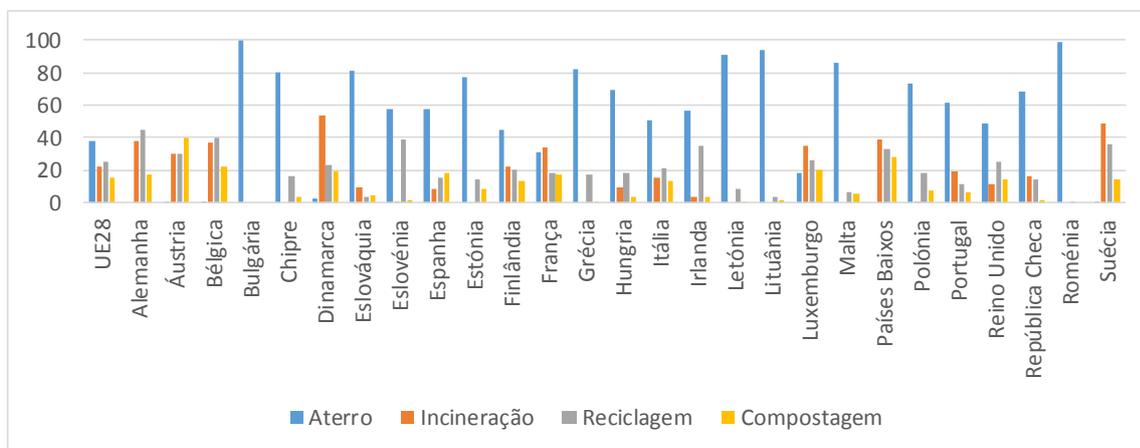


Figura 4: Distribuição percentual do destino final dos resíduos dentro da União Europeia (UE, 2013)

Num comunicado efetuado a 16 de Abril de 2012 pela Comissão Europeia, Bruxelas afirma que os Estados-Membros com melhor desempenho apresentam taxas de reciclagem que atingem os 70%. Segundo o Comissário Europeu Janez Potočnik *“Seis Estados-Membros suprimiram, praticamente, a deposição em aterro e atingiram elevadas taxas de reciclagem. Não só passaram a explorar o valor contido nos resíduos como criaram, nesse processo, uma indústria próspera e muitos postos de trabalho”*. Para estes seis Estados-Membros (Bélgica, Dinamarca, Alemanha, Suécia e Países Baixos), que depositam em aterro menos de 3% dos resíduos produzidos, o segredo deste sucesso encontra-se na combinação dos seguintes instrumentos económicos:

- Impostos e/ou proibições respeitantes à deposição em aterro e à incineração
- Regimes de tributação em função da quantidade de resíduos descartados
- Regimes de responsabilidade dos produtores

Dada a existência de diferenças significativas entre Estados-Membros e no âmbito da avaliação das metas para 2014, encontra-se em estudo a possibilidade de tornar obrigatória a utilização dos instrumentos económicos referidos acima dentro de toda a UE. Os Estados-Membros que apresentem boas práticas de prevenção e gestão de resíduos poderão beneficiar de fundos europeus.

### **2.3.Gestão de Resíduos em Portugal**

*“Em 2050 o planeta será habitado por 9 mil milhões de pessoas, dos quais, estima-se, 75% viverão em cidades. Não é preciso ser especialista para perceber que a forma como vivemos terá de mudar. Os recursos são finitos e cada vez mais escassos.”* (Sociedade Ponto Verde, 2013)

Em resposta aos problemas sociais e ambientais adjacentes à produção de resíduos, foram lançados a partir de finais da década de 90 diversos planos estratégicos para gestão dos resíduos, entre os quais se destacam o Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares (PERH), o Plano Estratégico dos Resíduos Industriais (PESGRI) e o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I e PERSU II).

Em 1997 foi implementado o Plano Estratégico para Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I), com duração de 10 anos. Neste plano foram estabelecidos os objetivos a cumprir pelo país, fundamentais para a concretização de uma política eficaz de gestão de resíduos. Assim,

estabeleceu-se como meta o encerramento de todas lixeiras do país, criaram-se diversos sistemas multimunicipais e intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos urbanos, construíram-se numerosas infraestruturas de valorização e eliminação, e lançaram-se sistemas de recolha seletiva multimaterial (APA, 2012). Há cerca de 17 anos, Portugal tinha mais de 300 lixeiras espalhas pelo país. Atualmente existem 42 aterros, 34 estações de triagem, 3 centrais de valorização energética e 22 unidades de valorização orgânica.

Em 2007, à luz das necessidades impostas pelos programas do governo em relação ao planeamento e gestão de resíduos, o Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional reviu as metas e objetivos propostos e cumpridos no PERSU I e procedeu à elaboração do PERSU II, a cumprir entre 2007 e 2016.

O Governo Português encarregou a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) enquanto Autoridade Nacional de Resíduos (ANR) com a missão de propor, desenvolver e acompanhar a implementação das políticas de ambiente que promovam um desenvolvimento sustentável em território nacional.

A 5 de Setembro de 2006 foi aprovado o Decreto-Lei 178/2006 que revoga o Decreto-Lei 239/97 de 9 de Setembro no qual foi aprovado um novo regime jurídico para a gestão dos resíduos. No mesmo Decreto foi referido a necessidade de criar um Plano Nacional de Gestão de Resíduos (Artigo 14 do Decreto-Lei 178/2006). Neste sentido, coube à APA a responsabilidade de assegurar a elaboração do referido plano.

Atualmente está em vigor o Decreto-Lei 73/2011, de 17 de Junho, que estabelece a terceira alteração do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro e transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa aos resíduos, a qual prevê, no seu enquadramento legislativo:

- Reforço da prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem, promover o pleno aproveitamento do novo mercado organizado de resíduos, como forma de consolidar a valorização dos resíduos, com vantagens para os agentes económicos, bem como estimular o aproveitamento de resíduos específicos com elevado potencial de valorização;
- Clarifica conceitos-chave como as definições de resíduo, prevenção, reutilização, preparação para a reutilização, tratamento e reciclagem, e a distinção entre os conceitos de valorização e eliminação de resíduos, prevê-se a aprovação de programas

de prevenção e estabelecem-se metas de preparação para reutilização, reciclagem e outras formas de valorização material de resíduos, a cumprir até 2020;

- Incentivo à reciclagem que permita o cumprimento destas metas, e de preservação dos recursos naturais, prevista a utilização de pelo menos 5% de materiais reciclados em empreitadas de obras públicas;
- Definição de requisitos para que substâncias ou objetos resultantes de um processo produtivo possam ser considerados subprodutos e não resíduos;
- Critérios para que determinados resíduos deixem de ter o estatuto de resíduo;
- Introduzir mecanismo da responsabilidade alargada do produtor, tendo em conta o ciclo de vida dos produtos e materiais e não apenas a fase de fim de vida, com as inerentes vantagens do ponto de vista da utilização eficiente dos recursos e do impacto ambiental.

Em 1990, Lindqvist e Lidgren introduziram o conceito de Responsabilidade Alargada do Produtor (*Extended Producer Responsibility principle*), no qual o produtor deve ser responsável por todo o ciclo de vida do produto (fases de produção, comércio, consumo) e especialmente pela sua retoma, reciclagem e eliminação.

Concretamente, e de acordo com Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, consiste em “*atribuir, total ou parcialmente, física e ou financeiramente, ao produtor do produto a responsabilidade pelos impactos ambientais e pela produção de resíduos decorrentes do processo produtivo e da posterior utilização dos respetivos produtos, bem como da sua gestão quando atingem o final de vida*”.

Contudo, esta responsabilidade pode, de acordo com a lei vigente, ser legalmente transferível para uma outra entidade, que fica responsável pela gestão do produto a partir do momento em que este é considerado resíduo, visando recuperar uma parte do seu valor. Este princípio encontra-se em vigor desde 1997, quando a primeira entidade gestora de fluxos específicos de resíduos foi licenciada.

A legislação estabelece, para além da coresponsabilização dos vários intervenientes no sistema, um modelo económico, que pressupõe que os produtores procedam ao pagamento de prestações financeiras, também denominado ecovalor, pelos produtos colocados no mercado, baseado na responsabilidade do produtor através da implementação de sistemas integrados ou individuais de gestão.

Atualmente, as entidades licenciadas em Portugal estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1: Fluxo de Resíduos Específicos e Entidade Licenciada Responsável

Fluxo de Resíduos Específicos		Entidade Licenciada
Embalagens	Embalagens Geral	Sociedade Ponto Verde (SPV)
	Embalagens Farmacêutico	Valormed
	Embalagens Agrícola	Valorfito
Pilhas e Acumuladores		Ecopilhas
Pneus		Valorpneu
Equipamento Elétrico e Eletrónico		AMB3E e ERP Portugal
Óleos Lubrificantes		Sogilub
Veículos em Fim de Vida		Valorcar

Considerando os fluxos específicos de resíduos acima referidos e segundo dados provenientes do Instituto Nacional de Estatística (INE), aquele que apresenta uma maior relevância é o fluxo das Embalagens com cerca de 85.1% do peso total de resíduos recolhidos, tal como ilustrado na Figura 5.

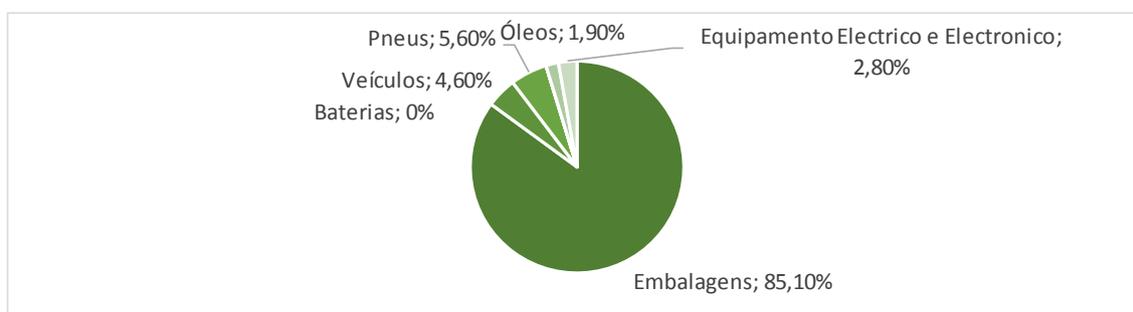


Figura 5: Percentagem do Peso total dos resíduos recicláveis recolhidos por Fluxo Específico de Resíduo (INE, 2010)

Dada a importância do fluxo de embalagens, importa referir que a principal entidade licenciada responsável pelo tratamento deste tipo de resíduos é a Sociedade Ponto Verde (SPV).

A SPV, criada, em Novembro de 1996, por um conjunto de empresas que colocam os produtos embalados no mercado, é responsável pela gestão do Sistema Integrado previsto na legislação sobre Embalagens e Resíduos de Embalagens (SIGRE), e destino final dos resíduos de embalagens. As suas principais missões são promoção da recolha, triagem, recuperação e reciclagem de embalagens de resíduos.

As operações de recolha e triagem de resíduos são da responsabilidade da Autarquia local ou de um Sistema Municipal ou Multimunicipal.

Nos sistemas municipais ou associações de municípios, a gestão do sistema pode ser efetuada pelo próprio município ou ser concessionada a qualquer empresa de natureza pública ou privada. As entidades multimunicipais, cujos sistemas abrangem a área de pelo menos dois municípios, são geridos por empresas concessionárias de capitais maioritariamente públicos.

Com a constituição de sistemas de gestão de resíduos, Portugal passou de uma situação em que existiam 257 entidades gestoras de resíduos para 23 Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) em Portugal Continental, sendo 12 Multimunicipais e 11 Intermunicipais, 1 na Região Autónoma da Madeira e 6 na Região Autónoma da Açores.

O sistema integrado de gestão de resíduos é, assim, constituído por várias empresas, que podem ser municipais ou privadas, que são responsáveis pela gestão de uma rede de ecopontos distribuídos por uma ou várias regiões – ver Figura 6. Cada empresa possui infraestruturas que são responsáveis por assegurar a recolha, tratamento e destino final para os resíduos recicláveis recolhidos dentro da sua rede de ecopontos, bem como de atender às necessidades das populações que são servidas dentro da sua zona (localização e instalação de ecopontos, número de ecopontos, entre outros).

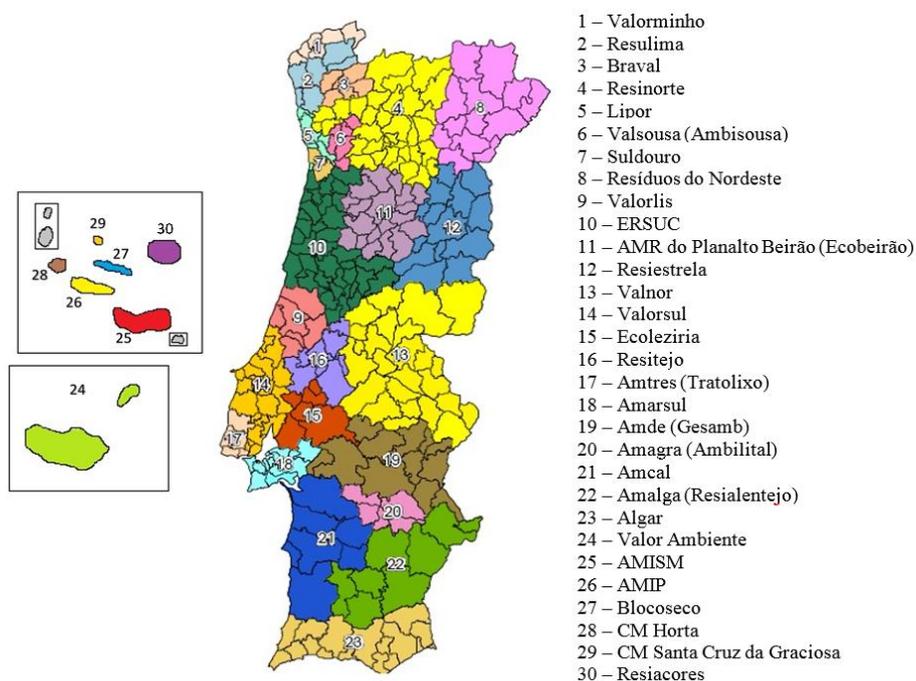


Figura 6: Sistemas Municipais e Autarquias (SMAUT) aderentes ao Sistema Ponto Verde, responsáveis pela recolha e triagem e no contacto com o consumidor (APA, 2012)

Através da valorização, os resíduos são transformados, mediante processos químicos, em materiais que podem ser utilizados em diferentes indústrias.

### **2.3.1. Sistema de recolha de resíduos na Região de Lisboa e do Oeste**

Em 1993, com a publicação do Decreto-Lei 379/93, de 5 de Novembro, foram enunciados os princípios fundamentais a que tem de obedecer o regime de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais. Neste contexto, os municípios de Lisboa, Amadora, Loures e Vila Franca de Xira entenderam a necessidade de uma solução integrada para os resíduos gerados nas suas áreas de jurisdição, tendo em conta a necessária defesa do equilíbrio ambiental e a desejável economia de meios.

Assim, em 1994, foi fundada a Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa, S.A. como uma sociedade anónima com 7 acionistas (Câmara Municipal de Lisboa, Câmara Municipal de Loures, Câmara Municipal da Amadora, Câmara Municipal de Vila Franca de Xira, Parque Expo'98 SA, Empresa Geral do Fomento SA e Eletricidade de Portugal SA), sendo-lhe atribuída a concessão da exploração e gestão do sistema multimunicipal de triagem, recolha, tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos das regiões de Lisboa.

A 20 Julho de 2010, após a aprovação do Decreto-Lei n.º 68/2010, foi constituída a nova Valorsul, como resultado da fusão com a Resioeste — Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A. A Valorsul é, desta forma, parte integrante do Sistema Integrado de Gestão de Resíduos em Portugal, sendo responsável pela conceção e concretização da gestão dos resíduos produzidos nas regiões onde atua, representando uma otimização das opções ambientais, sociais, económicas, técnicas e institucionais, ao mesmo tempo que prevê uma aposta na prevenção e aplicação de diferentes opções de tratamento e valorização de acordo com os diferentes tipos de resíduos recolhidos.

A Valorsul é responsável pelo tratamento, valorização e destino final dos resíduos urbanos produzidos em 19 municípios da Grande Lisboa e da Região Oeste. O sistema da Valorsul oferece soluções completas e integradas para a gestão do ciclo de vida dos resíduos abrangendo diferentes tipos de recolha: recolha indiferenciada, recolha seletiva de materiais recicláveis e recolha orgânica. Só no último ano, 2013, a Valorsul foi responsável pelo tratamento de mais de 950 mil toneladas de resíduos urbanos, representando um quinto (20%) dos resíduos totais produzidos em Portugal.

Como referido, o sistema da Valorsul é constituído por três tipos de operações de recolha: a recolha seletiva, a recolha de orgânicos e a recolha indiferenciada. A recolha seletiva

## Capítulo 2: Enquadramento do Caso de Estudo

corresponde à recolha de materiais com vista à reciclagem, separados em três tipos: embalagens de vidro, papel/cartão e plástico/metal. A recolha orgânica procede à recolha de materiais de natureza orgânica, isto é, matéria de origem animal, vegetal ou microbiana, viva ou morta, em qualquer estado de conservação, passível de decomposição, como por exemplo, restos de refeições. A recolha indiferenciada processa os resíduos que não sofrem qualquer tipo de diferenciação, também designado por lixo comum, isto é, resíduos urbanos que são colocados no mesmo contentor, não sendo separados por tipo de material, como na recolha seletiva.

Depois de recolhidos os resíduos, e de acordo com a sua composição e natureza, os resíduos são encaminhados para o destino mais adequado, tendo em conta o seu potencial. A Figura 7 ilustra, resumidamente, o funcionamento do sistema da Valorsul. Para isso, a Valorsul dispõe de diversas unidades e instalações, espalhadas pelos 19 municípios onde atua, com tecnologias de ponta para o tratamento e valorização dos resíduos:

- 2 Centros de Triagem
- 2 Estações de Tratamento e Valorização Orgânica
- 1 Central de Valorização Energética
- 1 Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias
- 2 Aterros Sanitários
- 6 Estações de Transferência
- 8 Ecocentros



Figura 7: Sistema Valorsul para gestão do ciclo de vida dos resíduos (Valorsul, 2013)

A Valorsul é responsável por gerir um dos maiores centros de valorização de resíduos em Portugal e conta com 3 tipos de valorização:

- Valorização energética – os resíduos colocados em caixotes de lixo comum, isto é, que não são separados, são encaminhados para um central de incineração para valorização energética. Estima-se que cada quilo de lixo enviado para a central de valorização energética da Valorsul, produz energia suficiente para 1 apartamento durante 1 hora.
- Valorização orgânica – os restos orgânicos de algumas cantinas e mercados são tratados e transformados em corretivo agrícola orgânico, sem aditivos químicos, para utilização na agricultura e jardinagem. É ainda possível através da valorização orgânica produzir energia elétrica através do gás proveniente do processo de “digestão anaeróbia”.
- Valorização de Escórias – este processo recebe as escórias provenientes da incineração de resíduos e separa o metal ferroso, não ferroso e inerte. O metal recuperado é encaminhado para reciclagem e os inertes podem ser utilizados na construção de estradas.

Por dia, a Central de Valorização Energética recebe perto de 2.000 toneladas de resíduos e produz energia suficiente para alimentar uma cidade de 150 mil habitantes. Na Valorsul, por ano, retira-se das escórias material suficiente para a construção de 16 500 automóveis.

A área de intervenção da Valorsul abrange uma área geográfica de 3378 km<sup>2</sup>, servindo 19 concelhos de Portugal Continental (Alcobça, Alenquer, Amadora, Arruda dos Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lisboa, Loures, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Odivelas, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras, Vila Franca de Xira) e totalizando 1,9 milhões de habitantes (EGF, 2013). A Figura 8 ilustra a situação referida.



Figura 8: Área de Intervenção da Valorsul

### 2.3.1.1. Descrição do processo de recolha seletiva

Apesar de ser responsável pelo sistema gestão de resíduos em 19 municípios da Grande Lisboa e Região Oeste, a Valorsul apenas efetua a recolha de resíduos recicláveis nos municípios da Região Oeste. Para os municípios da Grande Lisboa (Lisboa, Amadora, Odivelas, Loures e Vila Franca de Xira), a recolha de resíduos domésticos fica a cargo do próprio município e a recolha de resíduos de empresas e particulares a cargo das próprias ou transportadoras contratadas. Após a recolha, os resíduos são encaminhados para o destino final mais adequado, tendo em conta a sua natureza e o seu potencial.

O processo de operações de recolha de resíduos recicláveis é planeado com recurso a um *software* informático que, mediante o cruzamento de informações introduzidas num algoritmo, efetua uma estimativa do nível de enchimento dos ecopontos e avalia a necessidade de efetuar uma rota de recolha. As rotas ou circuitos de recolha são estáticas, isto é, nunca se alteram, independentemente do nível de enchimento dos ecopontos. A realização ou não de um determinado circuito, num determinado dia, é que é decidida com base na informação que o *software* fornece. Se o *software* verificar que um determinado ecoponto não se encontra

cheio com base em dados recebidos num curto espaço de tempo, a rota que o veículo fará não irá incluir esse ecoponto. Assim, o veículo pode ter de visitar todos os ecopontos dessa rota ou apenas aqueles que são dados como aptos para recolha pelo *software* informático, nunca visitando mais do que aqueles que a rota terá. Desta forma, consegue-se um ganho de tempo e de combustível.

O sistema da Valorsul é composto por 26 rotas para a recolha de papel/cartão, 26 rotas para recolha de plástico/metálico e 30 rotas para recolha de vidro, perfazendo um total de 82 rotas.

O processo de recolha de resíduos é realizado periodicamente, não havendo qualquer tipo de informação do nível de enchimento real dos ecopontos que indiquem a necessidade de recolha dos mesmos. As rotas de recolha de vidro são aquelas que têm um maior espaçamento temporal entre recolhas.

A periodicidade da recolha depende do tipo de resíduo a recolher e da área onde estão localizados os ecopontos. A Tabela 2 apresenta a periodicidade mínima, média e máxima (em número de dias entre recolhas) para os diferentes tipos de resíduos, verificada no período entre Janeiro e Setembro de 2013.

Tabela 2: Periodicidade de recolha no período entre Janeiro e Setembro de 2013

<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Periodicidade Máxima (dias)</b>	<b>Periodicidade Mínima (dias)</b>	<b>Periodicidade Média (dias)</b>
<b>Papel/Cartão</b>	14	5	9,35
<b>Plástico/Metal</b>	14	5	8,35
<b>Vidro</b>	30	14	20,33

Assim, no dia anterior à realização de uma rota, o sistema informático analisa todas as informações disponíveis (níveis de enchimento previstos, veículos e trabalhadores disponíveis) e planeia qual o veículo, o condutor e respetivo ajudante, e ecopontos que serão visitados no dia da rota. Esta atribuição tem em vista percorrer o menor número de quilómetros possíveis, visitando os ecopontos aptos para recolha, regressando com uma carga tão elevada quanto a capacidade do veículo, isto é, otimizar a taxa de ocupação do veículo o máximo possível.

Durante a recolha de um tipo de resíduo, a equipa regista num *PDA* o nível de enchimento dos ecopontos recolhidos e o nível de enchimento dos ecopontos circundantes, classificando-os como vazio, menos de meio, meio, mais de meio e cheio. O processo repete-se até ao último ecoponto a recolher. As informações registadas são carregadas posteriormente na central

informática, sendo possível prever probabilisticamente a taxa de enchimento de um determinado ecoponto. Contudo, esta previsão não é considerada fiável, pois baseia-se em dados recolhidos no passado e através de decisão humana. Assim, o nível de enchimento de um determinado ecoponto é medido com base em julgamento humano, podendo variar de pessoa para pessoa.

### 2.3.1.2. Identificação do Problema

Através de dados fornecidos pela Valorsul fez-se uma pequena análise ao processo de recolha de resíduos, onde foram selecionadas 4 rotas de recolha de resíduos de embalagens de plástico/metal e analisadas as taxas de enchimento dos respetivos ecopontos (com base na informação recolhida pela equipa de recolha), bem como a taxa de utilização dos respetivos veículos de recolha. Esta análise prévia recaiu sobre o mês de maio de 2013 (um mês considerado “normal”). Um ecoponto é considerado apto para recolha quando o seu nível de enchimento se encontra entre 75% e 100%. Verificou-se a situação apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Dados dos ecopontos da Valorsul relativamente à recolha de resíduos de embalagens de plástico/metal em 4 rotas distintas

Rota	Turno	Data operação	Ecopontos recolhidos	Valor médio de enchimento (0 - 1)	Ecopontos NÃO aptos para recolha	Ecopontos aptos para recolha	Percentagem de ecopontos aptos para recolha
3	18646	08/05/2013	68	0,61	30	38	56%
	18727	17/05/2013	68	0,56	37	31	46%
	18794	27/05/2013	70	0,55	42	28	40%
6	18670	10/05/2013	72	0,53	40	32	44%
	18747	21/05/2013	74	0,47	51	23	31%
	18823	30/05/2013	75	0,37	59	16	<b>21%</b>
11	18647	08/05/2013	74	0,76	22	52	70%
	18737	20/05/2013	66	0,82	11	55	83%
	18824	30/05/2013	74	0,66	37	37	50%
13	18613	03/05/2013	89	0,88	14	75	<b>84%</b>
	18659	09/05/2013	80	0,43	52	28	35%
	18713	16/05/2013	91	0,60	43	48	53%
	18768	23/05/2013	91	0,51	47	44	48%
	18825	30/05/2013	90	0,46	64	26	29%
<b>Média</b>			77	0,59	39	38	49%

Pela análise da Tabela 3 podemos constatar que durante o mês de maio de 2013, a percentagem de ecopontos que se encontravam aptos para recolha, por rota, variou entre os 21% e os 84% face ao total de ecopontos recolhidos. Desta pequena amostra de 14 rotas, em

## Capítulo 2: Enquadramento do Caso de Estudo

que 1082 ecopontos foram recolhidos, 549 ecopontos não estavam aptos para recolha (cerca de 51%), ou seja, a taxa de enchimento era inferior a 75%. Isto significa que a equipa de recolha deslocou-se a 549 ecopontos para os encontrar não aptos para recolha. Podemos ainda verificar que o intervalo percentual de ecopontos aptos para recolha (21% - 84%) é bastante elevado, o que reforça a tese de falta de eficiência no processo de planeamento da recolha.

Neste sentido, é de notar a necessidade de implementação de um sistema de gestão e planeamento da recolha de resíduos que seja mais eficiente e que apenas visite os ecopontos que apresentem níveis de enchimento elevados.

Outra questão que se levanta durante o estudo da eficiência dos processos de recolha é a taxa de enchimento do veículo. Quanto maior a capacidade do veículo, maior o consumo de combustível deste. Assim, é importante ter uma noção da quantidade de carga que se irá recolher numa determinada rota, de modo a seleccionar o veículo ideal para a recolha. Na Tabela 4 apresentam-se os dados relativos à taxa de ocupação dos veículos para as mesmas 4 rotas de recolha de plástico/metal, durante o mês de maio de 2013.

Tabela 4: Dados dos veículos da Valorsul relativamente à recolha de resíduos de embalagens de plástico/metal em 4 rotas distintas

Rota	Turno	Data da operação	Km Percorridos	Carga Recolhida (kg)	Capacidade do veículo (kg)	Capacidade do veículo para Plástico/Metal (kg)	Taxa de ocupação do veículo
3	18646	08/05/2013	155	2040	5580	3200	64%
	18727	17/05/2013	133	1420	5580	3200	44%
	18794	27/05/2013	137	1580	5580	3200	49%
6	18670	10/05/2013	223	1240	5580	3200	39%
	18747	21/05/2013	220	1280	5580	3200	40%
	18823	30/05/2013	213	1280	5580	3200	40%
11	18647	08/05/2013	132	2520	4465	3200	<b>79%</b>
	18737	20/05/2013	151	2240	5580	3200	70%
	18824	30/05/2013	137	2080	4465	3200	65%
13	18613	03/05/2013	123	2180	5580	3200	68%
	18659	09/05/2013	130	1100	5580	3200	<b>34%</b>
	18713	16/05/2013	124	2160	5580	3200	68%
	18768	23/05/2013	122	1700	5580	3200	53%
	18825	30/05/2013	132	1820	5580	3200	57%
<i>Média</i>			<i>152</i>	<i>1760</i>	<i>5580</i>	<i>3200</i>	<i>55%</i>

Segundo os dados da Tabela 4, podemos afirmar que a taxa de ocupação dos veículos de recolha é bastante reduzida, situando-se no intervalo entre os 34% e os 79%, com uma média de 55%. Apenas na rota 11 observa-se uma taxa média de ocupação do veículo superior a

70%. Uma boa taxa de ocupação deveria situar-se entre os 80% e os 90%. Mais uma vez demonstra-se a falta de eficiência no processo de recolha de resíduos.

## **2.4. Objetivos do Estudo**

A recolha de resíduos urbanos é uma atividade que comporta elevados custos. Dado o atual panorama económico em Portugal, é essencial procurar por soluções que intensifiquem a eficiência dos serviços associados às atividades. Estima-se que anualmente as empresas de recolha de resíduos urbanos gastem em média 75% do seu orçamento para as atividades de recolha (Shamshiry et al., 2011). Existe um claro défice na utilização e integração de tecnologias de informação e comunicação no planeamento e recolha de resíduos. A integração de tecnologia seria uma mais-valia na otimização dos processos associados à atividade da gestão de resíduos.

Este estudo tem como objetivo desenvolver um plano de integração de tecnologias de informação e comunicação no planeamento de rotas de recolha de resíduos nos municípios que fazem parte do sistema de recolha de resíduos gerido pela Valorsul. Tendo em conta que a Valorsul tem diversas rotas definidas com períodos de recolha pré-determinados, pretende-se otimizar o atual sistema de planeamento através da definição de rotas a partir de dados reais e não probabilísticos. Uma análise prévia a 4 rotas realizadas durante o mês de maio de 2013 revelou que 51% dos ecopontos recolhidos apresentam um nível de enchimento inferior a 75% (considerados não aptos para a recolha) e que os veículos apresentam uma taxa de ocupação média de 55%. Assim, através da integração das TIC, será possível determinar a qualquer altura o nível de enchimento real dos ecopontos da região da Valorsul e planear as rotas de recolha consoante a necessidade.

Neste estudo será efetuado, numa primeira fase, uma análise da situação atual da recolha seletiva de resíduos no sistema da Valorsul. Numa segunda fase, será elaborada uma proposta de melhoria com recurso à utilização das TIC e aferidas as poupanças esperadas. Dado que a proposta de melhoria envolve um investimento elevado, será também apresentado o estudo de viabilidade económica para aferir a viabilidade deste investimento.

### 3. Tecnologias de Informação e Comunicação para recolha de resíduos

#### 3.1. Tecnologias de Comunicação

##### 3.1.1. GPRS/GSM

O *Global System for Mobile Communications (GSM)* ou Sistema Global para Comunicações Móveis é uma tecnologia digital móvel utilizada em telefones para transmissão de dados de texto e voz. O sistema GSM encontra-se presente em mais de 200 países sendo utilizado por mais de mil milhões de pessoas.

Em comparação com outras tecnologias de comunicação sem fios, como as redes Bluetooth e as redes Wi-Fi 802.11, as redes GSM apresentam uma cobertura de rede muito elevada e baixos custos com infraestruturas. Na Tabela 5 apresenta-se uma breve comparação relativamente às redes referidas.

Tabela 5: Características das principais redes sem fios

Tipo de Rede	Alcance	Velocidades
Wi-Fi IEEE 802.11	Médio	Até 6 Gbps
Bluetooth	Pequeno	Até 24 Mbps
GSM	Grande	Até 270 Kbps

O GSM opera em duas bandas: 900MHz e 1900MHz. A banda dos 900 MHz (890 MHz – 960 MHz) é utilizada maioritariamente na Europa, Ásia e África, enquanto que a banda dos 1900 MHz é utilizada sobretudo na América Latina e América do Norte.

Segundo dados de 2011 da ANACOM, a cobertura de rede GSM em Portugal é bastante abrangente, atingindo cerca de 99.7% do país (ver Figura 9).

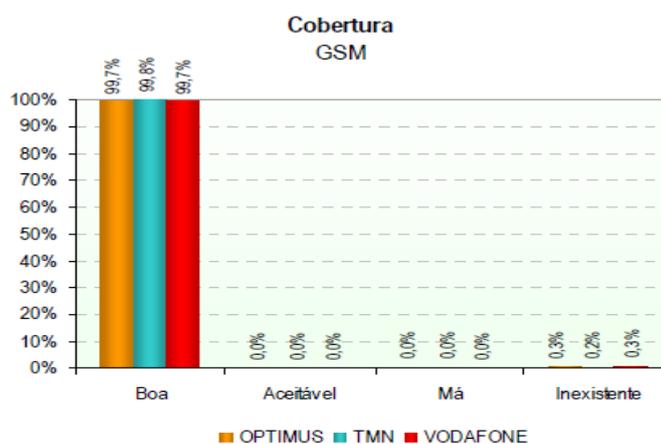


Figura 9: Cobertura de rede GSM em Portugal (ANACOM, 2013)

Com o crescimento da Internet, os clientes móveis começaram a exigir o acesso a rede global de informação através dos seus dispositivos. Porém, a rede GSM não estava preparada para as exigências dos protocolos de transmissão e receção de dados. A Internet funciona sobre o protocolo IP, no qual a informação é transportada através de pacotes. Neste sentido, foi criada a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Services*). Com a incorporação do GPRS na rede GSM, a qual recebeu o nome de geração 2.5G, começou a ser possível transmitir e receber dados da Internet e entre dispositivos móveis. A Figura 10 ilustra a cobertura de rede GPRS em Portugal.



Figura 10: Cobertura de GPRS em Portugal (Optimus, 2000)

Esta evolução teve um impacto significativo na evolução da comunicação por dados móveis. O GPRS transmite a informação através de pequenos pacotes de dados em canais de aproximadamente 160 Kbps. A Figura 11, ilustra um exemplo de comunicação entre dispositivos via GPRS, quer utilizando um computadores, quer através de dispositivos móveis.

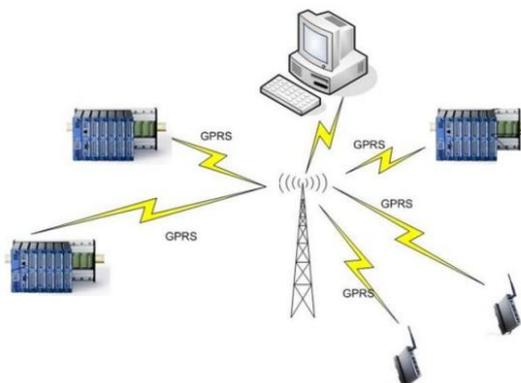


Figura 11: Comunicação GPRS entre diversos tipos de dispositivos

Recentemente a tecnologia GPRS/GSM tem sido recorrentemente utilizada como meio de comunicação entre sensores RFID e/ou sensores ultrassom e um sistema de servidores para troca de informações, como veremos nas próximas subsecções.

### 3.1.2. GPS

O *Global Positioning System* (GPS) é um sistema de navegação por satélite. Existem diversos satélites a orbitar o planeta, sendo estes responsáveis pelo cálculo da posição, velocidade e tempo de um determinado recetor no planeta. A Figura 12 ilustra a situação descrita.

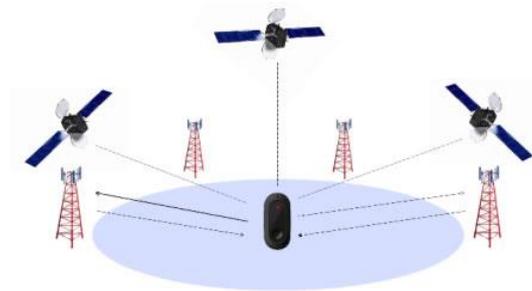


Figura 12: Comunicação entre um dispositivo e as partes integrantes do sistema GPS

O sistema GPS comunica com o recetor através de sinais de rádio, e trabalha em qualquer tipo de condição climática. Com o uso de GPS pode-se calcular a posição de um determinado cliente e calcular a distância de separação entre o nosso recetor e o recetor destino. Desta forma, um determinado veículo poderia calcular a distância e tempo entre si e o próximo contentor a recolher (ver Figura 13).



Figura 13: Recetor e interpretador da informação recebida dos satélites GPS

## 3.2. Tecnologias de Informação

### 3.2.1. Geographic Information System

O *Geographic Information System* (GIS) é um sistema tecnológico que integra *hardware*, *software* e informação e permite a análise, gestão e visualização de dados sob a forma de uma componente geográfica. Através de um sistema GIS é possível observar padrões, relações e tendências espaciais.

As duas grandes vantagens deste sistema são a sua portabilidade e o elevado retorno de investimento. Atualmente, o GIS está presente em diferentes áreas de negócio, tais como a Administração Pública, Defesa e Segurança, Ensino e Investigação, Telecomunicações e Transporte, Logística e Serviços, potencializando a eficiência dos processos de negócio bem como a resolução de problemas. São cada vez mais as empresas a recorrer a sistemas GIS como decisão estratégica dos seus negócios. Os benefícios associados aos GIS podem ser classificados em 5 categorias: aumento da eficiência e redução de custos, tomada de decisão, comunicação eficaz, manutenção de registos, e gestão geográfica.

Chalkias e Lasaridi (2008) comprovaram a eficiência do uso de ferramentas baseadas em GIS em sistemas de gestão de resíduos municipais. Segundo estes autores, as empresas de recolha de resíduos obteriam uma poupança significativa em combustível, emissões de CO<sub>2</sub> e tempo de viagem, na ordem dos 14%, 13% e 18%, respetivamente.

Assim, no contexto da recolha de resíduos, é possível através de um sistema GIS recolher dados (localização, número de série, enchimento) sobre a localização de todos os ecopontos, pontos de depósito, frota de veículos, entre outros. Porém, o sistema apenas fornece informações atualizadas se tiver constantemente a receber dados atualizados, isto é, o sistema apenas emite conclusões com base na natureza dos dados que recebe. A Figura 14 ilustra um sistema GIS para planeamento de rotas de recolha de resíduos na cidade de Irati, Brasil.

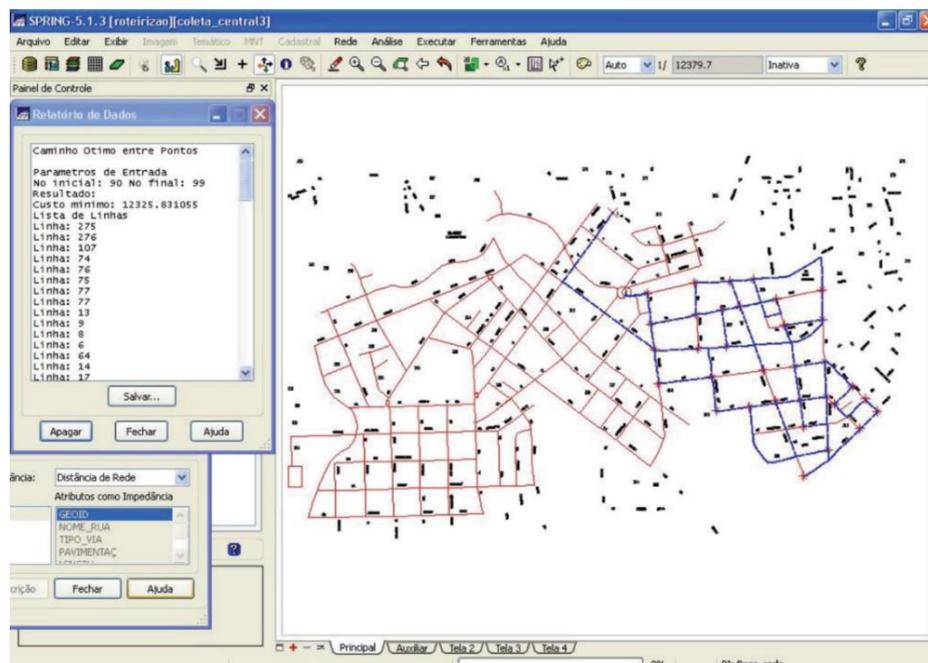


Figura 14: GIS da cidade de Irati para planeamento de rotas para recolha de resíduos

### 3.2.2. Sistema RFID

O *Radio Frequency Identification* (RFID) é uma tecnologia disponibilizada desde 1990 e que foi utilizada durante a Segunda Guerra Mundial. O sistema de RFID é composto por um ou mais RFID *tags* ou transmissores RFID e um ou mais RFID *readers* ou leitores RFID.

Os transmissores RFID são compostos por um *microchip* e uma antena e são classificados consoante a sua frequência de transmissão e potência. Este dispositivo é responsável por guardar informação específica, como o ID do contentor, localização, última recolha, entre outros. Os RFID *readers* são compostos por um cartão eletrónico e uma antena. Este dispositivo é responsável por guardar a informação transmitida pelo RFID tag para depois ser enviada para o sistema computadorizado. O sistema computadorizado é composto por *hardware* e *software* onde será guardada a informação transmitida pelos leitores RFID. Este sistema pode também escrever novas informações nos transmissores RFID utilizando os leitores RFID como meio de escrita. Este sistema tem a vantagem de não necessitar contacto físico entre a *tag* e o *reader*, sendo a comunicação efetuada via sinais de rádio. Na Figura 15 encontra-se uma breve ilustração referente ao tamanho e funcionamento de um sistema RFID.

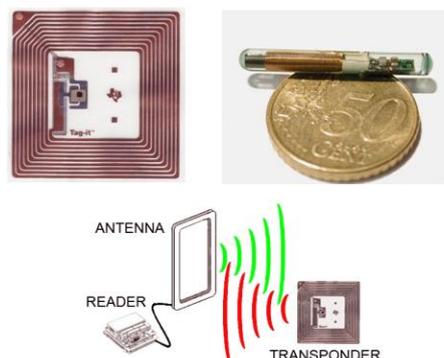


Figura 15: circuito RFID e respetivo transponder

O RFID é uma tecnologia que tem vindo a crescer exponencialmente em diversos sectores de atividade nomeadamente no campo da logística, gestão da cadeia de abastecimento, navegação e agricultura (Roussos e Kostakos, 2009). No sector da logística, o RFID tem sido bastante utilizado na recolha de resíduos urbanos. Segundo Hannan et al. (2011), 20% da recolha de resíduos na Alemanha é gerida com recurso a um sistema de RFID. Williams et al. (2008) e Thomas (2009) concluíram que na Europa os sistemas RFID têm-se mostrado bastante práticos, eficientes e precisos na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Um sistema RFID para gestão de resíduos é composto por um conjunto de RFID *tags*, colocados nos ecopontos, e um conjunto de RFID *readers*, colocados nos veículos de recolha. Sempre que um veículo se aproxima de um ecoponto, a fim de o recolher, o seu RFID *reader* emite um sinal ao RFID *tag* do ecoponto, pedindo informações acerca deste, tais como ID do ecoponto, localização registada, data da última recolha, entre outros. Posteriormente essa informação é enviada para uma central, através de um dispositivo registado na rede GSM para uma central de servidores, que fará o registo de recolha daquele ecoponto – ver Figura 16. O registo destas informações era função do condutor, sendo por isso suscetível a erros. A aplicação de um sistema RFID vem colmatar esta falha, que assim passa a registar as informações de forma automática, sem intervenção humana. Desta forma, comparativamente com os sistemas convencionais de recolha manual de informação, com esta tecnologia consegue-se reduzir o tempo e mão-de-obra despendida na recolha de informação e aumentar a precisão da informação recolhida.

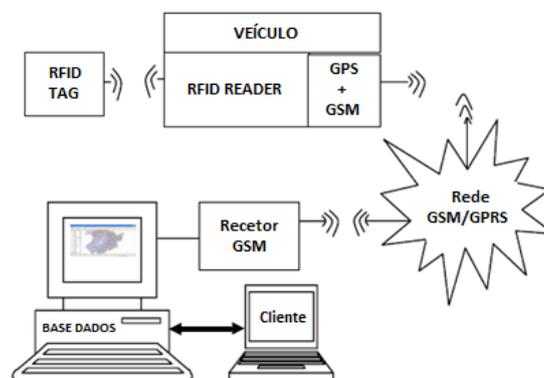


Figura 16: Funcionamento do sistema RFID para recolha de resíduos

Para além do sector da logística e da recolha de resíduos, os sistemas RFID são atualmente utilizados numa grande variedade de atividades comerciais, tais como pagamentos, bilheteiras, indústria farmacêutica, indústria automóvel, entre outros.

### 3.2.3. Sistema Webcam

O sistema de *webcam* consiste em utilizar uma pequena câmara de baixo custo para captura de fotografias dos contentores, antes e depois da sua recolha. O sistema recorre a um *software* específico para tratamento de imagens que analisa o brilho e o nível de intensidade de preto nas imagens e com recurso a um algoritmo pré-definido, compara as imagens de cada ecoponto antes e depois da sua recolha, e conclui acerca do seu nível de enchimento (Rovetta et al., 2009).

Antes de recolher um ecoponto o condutor tira uma fotografia ao contentor, de seguida recolhe, e no final tira outra fotografia. As fotografias são tiradas em formato RGB a cores e depois são convertidas para formato *grayscale* – Figura 17.



Figura 17: Comparação de imagens para diferentes contentores com sistema *webcam*

O sistema recorre a um algoritmo que inicialmente compara as imagens, RGB cores e RGB *grayscale*, e subtrai as duas de modo a obter uma terceira imagem em formato binário, como se pode ver na Figura 18.

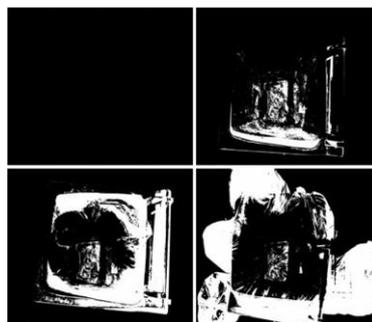


Figura 18: Imagem binária obtida pelo algoritmo do sistema *webcam*

De seguida, o algoritmo analisa a imagem obtida relativamente à quantidade de pixels pretos presentes e conclui acerca do nível de enchimento do ecoponto. Assim, será possível com muitas imagens de um determinado contentor, fazer a previsão sobre o seu nível de enchimento numa determinada altura do ano.

#### **3.2.4. Sistema Sensor Volumétrico**

Os sensores volumétricos são compostos por um mecanismo de medição da mudança de estado num determinado ambiente. Poderá ser do tipo ultrassónico e micro-ondas. Os sensores de ultrassom e micro-ondas funcionam como um radar emitindo pulsos de diferentes naturezas e analisando os sinais recebidos (efeito Doppler), detetando assim uma alteração de estado no ambiente envolvente. Enquanto que um sensor micro-ondas emite um pulso com ondas de alta frequência, 10 GHz, e por isso é utilizado em ambientes exteriores, um sensor de ultrassom emite sinais acústicos de baixa frequência, 22kHz a 45kHz e é utilizado em

ambientes internos. Assim, no contexto da recolha de resíduos, um sensor volumétrico deverá ser colocado estrategicamente no topo do contentor de forma a dirigir os sinais emitidos para os resíduos, que se encontram no fundo deste. Um sinal é emitido em direção aos resíduos e depois é refletido por este. Entre a emissão do sinal e a sua receção é calculada a distância dos resíduos ao sensor e determinado o volume existente no contentor. A Figura 19 ilustra a situação descrita.



Figura 19: Funcionamento do sistema por sensor volumétrico

### **3.2.5. Sistema LED Infravermelho ativo**

Um sistema LED (*Ligh Emitting Diode*) é, genericamente, constituído por um conjunto de LEDs, normalmente 3 a 5, um módulo processador e um dispositivo de comunicação *wireless* (GSM, Wi-Fi). Neste sistema, os LEDs servem de sensores, os quais estão ligados ao módulo processador. Sempre que um LED fica obstruído, o módulo processador interpreta uma determinada taxa de enchimento e comunica com o dispositivo *wireless* a sua interpretação. Este, por sua vez, envia a informação recebida para uma central de servidores – Figura 20. Quanto maior o número de LEDs obstruídos maior é a taxa de enchimento do contentor.

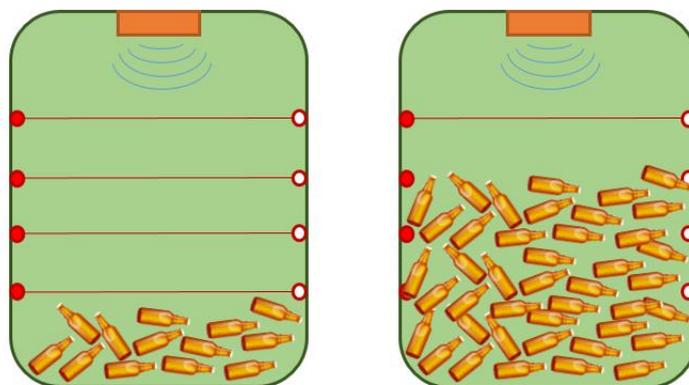


Figura 20: Funcionamento do sistema LED

A utilização de LEDs como sensores de peso, movimento ou pressão tem sido amplamente utilizada em diversos países, tal como China, Suécia e Finlândia, nas mais diversas atividades.

## **4. Problema de definição de rotas de veículos**

### **4.1. Vehicle Routing Problem**

O conceito de Roteamento de Veículos ou *Vehicle Routing* começou a desenvolver-se a partir de 1959 com a publicação do artigo “*Truck dispatching Problem*”, proposto por Danzig e Ramser. O objetivo deste artigo passava por determinar a rota ótima, a ser realizada por uma frota de caminhões cisterna, entre um terminal de produção de gasolina e um conjunto de estações de serviço.

Cordeau et al. (2007) classifica o *Vehicle Routing Problem* (VRP) como uma generalização do Problema do Caixeiro-Viajante Múltiplo, sendo que, neste caso, ao invés de se ter apenas um veículo a efetuar uma rota, têm-se à disposição uma frota de veículos. Neste sentido, o foco do VRP é o de desenhar um conjunto de rotas a serem realizadas por uma frota de veículos (uma rota por veículo, a começar e a terminar no mesmo local) que satisfaça todos os clientes dentro de uma determinada área geográfica e que minimize os custos de realização do trajeto (por exemplo, custo com combustível). A capacidade da frota de veículos, assim como a distância e tempo total de cada trajeto, são algumas das restrições que o modelo para o desenho de rotas VRP tem de ter em conta.

Durante os 50 anos posteriores à publicação do artigo de Danzig e Ramser (1959), o desenvolvimento de aplicações e variantes de *Vehicle Routing* cresceu exponencialmente, sendo atualmente o problema na área das operações e logística que mais sucesso faz. A título de exemplo, 103.500 condutores de veículos da UPS realizam trajetos gerados em computadores com base em algoritmos VRP. Para Cordeau et al. (2007), o VRP posiciona-se no coração da distribuição e logística sendo fulcral na otimização destas atividades. Associado ao crescimento dos estudos sobre o VRP está também o crescimento das heurísticas para resolução deste tipo de problemas. Um dos métodos heurísticos que tem tido maior destaque na resolução de problemas VRP é o método das poupanças ou de Clarke e Wright (1964).

Este método de definição de rotas logísticas baseia-se no conceito de poupança. O objetivo desta heurística é a de minimizar os custos inerentes ao caminho percorrido por um veículo combinando dois clientes numa mesma rota em oposição a envios diretos, a partir da origem, a cada um deles. A heurística de Clarke and Wright, como ficou conhecida, demonstra uma grande utilidade para frotas homogêneas, uma vez que admite a minimização da frota e da distância percorrida. Contudo, a heurística não possui a capacidade de manipulação de dados

referentes a frotas heterogêneas, por não considerar os custos fixos e diretos associados à variabilidade dos veículos e das distâncias percorridas (Teixeira, 2002).

Neste método podem ser impostas algumas restrições, como por exemplo a capacidade do veículo. Neste caso, seriam escolhidos para uma rota os primeiros  $n$  clientes cuja carga total no veículo fosse abaixo da carga suportada. Os clientes que não foram visitados na primeira rota serão incluídos numa futura rota, recomeçando o algoritmo.

## **4.2. Variantes de VRP**

A evolução do estudo do VRP e a tentativa de aplicação deste problema a situações reais levou à criação de algumas variantes de VRP. Tendo em conta as diferentes características que os problemas reais possuem, variantes ao VRP foram sendo estudadas na literatura. Estas variantes adicionam níveis de decisão e restrições ao clássico VRP. No contexto da recolha de resíduos, as variantes mais comuns são as que se destacam em seguida.

### **4.2.1. Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)**

A variante *Capacitated Vehicle Routing Problem* ou CVRP procura satisfazer o máximo número de clientes numa dada região tendo em conta a capacidade dos veículos que compõe a frota.

Liu et al. (2009) consideram que a capacidade dos veículos deve atender às necessidades previamente conhecidas do cliente, a partir de um local (base de veículos) e a um custo mínimo. Os veículos considerados são homogêneos, ou seja, têm a mesma capacidade e custos e pertencem a uma frota ilimitada. Assim, o CVRP procura determinar qual o número mínimo de veículos necessários e qual a sequência de visita dos vários veículos, considerando que a capacidade dos mesmos não pode ser ultrapassada e que todas as necessidades dos clientes são satisfeitas.

Porém, Liu et al. (2009) considera ainda a existência de duas variantes ao CVRP, a variante *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem* (FSMVRP) que procura determinar o número ideal de veículos de cada tipo na frota, considerando a existência de veículos de diferentes capacidades e custos (frota heterogênea).

Se se considerar a existência de uma frota limitada de veículos com diferentes tipos de capacidade e custos, estamos perante a variante *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* ou

HVRP. A decisão passa por determinar qual a melhor forma de satisfazer os clientes a partir da frota existente, a um custo mínimo.

#### **4.2.2. Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)**

O *Multi-Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) é uma extensão da variante CVRP que permite a existência de múltiplas bases de veículos numa região (Nagy e Salhi, 2005, Pisinger e Ropke, 2007, Ramos e Oliveira, 2011). Na variante MDVRP, cada cliente pode ser servido por uma frota de veículos ilimitada (CVRP), proveniente de vários depósitos (bases de veículos).

A resolução desta variante passa, essencialmente, numa primeira fase por associar a cada cliente o depósito que o melhor consegue servir. Numa segunda fase, cada depósito é isolado e tratado segundo o modelo CVRP, no qual uma frota de veículos ilimitada procura servir os seus clientes partindo de um local e regressando ao mesmo no final, não ultrapassando a capacidade de cada veículo.

No caso de existirem clientes que podem ser servidos por diferentes depósitos, deve-se procurar utilizar uma heurística para definir qual o depósito a escolher (por exemplo, afectar os clientes ao depósito que serve o menor número de clientes).

#### **4.2.3. Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)**

O *Periodic Vehicle Routing Problem* (PVRP) foi inicialmente identificado por Beltrami e Bodin (1974) para atribuição de veículos compactadores na recolha de resíduos municipais, mas foi formalmente definido por Christofides e Beasley, num artigo publicado em 1984, sendo classificado como uma das muitas variantes do VRP. Devido à sua herança, o PVRP é classificado como um problema *NP-hard*, apresentando assim uma elevada complexidade computacional, sendo assim necessário recorrer a heurísticas e meta heurísticas para o resolver.

O PVRP consiste no desenvolvimento de uma sequência de rotas, sujeita a algumas restrições, para um conjunto de dias de um determinado período  $T$  (por exemplo, uma semana). Neste problema, os clientes a visitar apresentam frequências de visita diferentes. Um cliente pode ter de ser visitado todos os dias, outro cliente duas vezes por semana, outro cliente apenas uma vez por semana, etc. Em cada dia, os veículos realizam rotas incluindo apenas os clientes que têm de ser visitados naquele dia específico, começando e terminando no mesmo local. Os

clientes (no caso em estudo, os ecopontos) têm uma frequência de visita pré-definida para esse período, consoante a sua taxa de deposição, que deve ser satisfeita pela frota de veículos.

Assim, pode-se descrever o PVRP como aquele que procura encontrar um conjunto de rotas, a realizar pela sua frota de veículos, que minimiza a distância total percorrida no período  $T$  definido, sujeito à capacidade dos veículos, assim como às restrições de frequência de visita dos clientes.

#### **4.2.4. Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)**

O *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) é uma variante importante do clássico VRP. Nesta variante cada cliente deve ser visitado dentro de uma determinada janela de tempo  $[a_i, b_i]$  para um cliente  $i$ , isto é, existe apenas um período de tempo durante o qual o cliente pode ser satisfeito. No VRPTW o veículo pode chegar antes de  $a_i$  e esperar que o cliente fique disponível, porém, chegadas depois de  $b_i$  são proibidas. Este problema tem inúmeras aplicações na área da logística e distribuição. Exemplos comuns são a distribuição de bebida e comida (cafés, restaurantes), jornais e revistas, e recolha de resíduos comerciais e industriais (Golden et al. 2002).

O uso de janelas temporais torna esta variante de VRP muito complexa. Se os clientes estipularem um horário de visita muito apertado pode levar à necessidade de introdução de mais um veículo no processo, aumentando assim os custos. De acordo com Kang et al. (2008), o VRPTW pode ser dividido em duas variantes: *Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows* (VRPHTW) e *Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows* (VRPSTW). Se um horário de visita do cliente for determinado segundo o VRPHTW, este tem de ser obrigatoriamente cumprido. O VRPSTW permite que esse horário possa não ser cumprido, incorrendo em penalizações. A aplicação de penalizações apenas ocorrerá no caso em que o veículo chegue após a hora estipulada pelo cliente.

Devido à incerteza dos acontecimentos do dia-a-dia, o modelo VRPSTW assemelha-se mais à realidade. Tráfego, avarias, ausências de motoristas são algumas das situações destacadas por Kang et al. (2008) que podem levar ao não cumprimento do horário especificado pelo cliente.

#### **4.2.5. Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)**

A maior parte dos estudos de VRP considera que os elementos do problema são assumidos como sendo determinísticos. Na realidade, todos estes elementos (por exemplo, a procura dos

clientes) são altamente estocásticos, dada a elevada complexidade dos sistemas logísticos (Zhang et al., 2013).

Introduzido em 1969 por Tillman, o *Stochastic Vehicle Routing Problem* (SVRP) é uma variante do VRP e deve ser utilizada quando se considera a existência de elementos de natureza estocástica no problema. Os elementos estocásticos podem ser a incerteza do tempo de viagem dada a possibilidade de existência de trânsito e problemas nos veículos de recolha, a quantidade de resíduos existentes nos ecopontos, a incerteza do tempo de serviço e recolha de um ecoponto, entre outros.

Com o objetivo de reduzir a distância total percorrida por um conjunto de veículos de capacidade limitada e um conjunto de clientes com procura estocástica, Bertsimas (1990) desenvolveu um algoritmo que procura a sequência de clientes ótima (*a priori sequence*) com distância total mínima expectável – *a priori optimization*. Desta forma, as rotas são desenhadas tendo uma estimativa probabilística da procura em cada cliente e a capacidade do veículo. Bertsimas (1990) procura, através de um conjunto de estratégias e heurísticas, encontrar e ignorar os clientes que não tem procura e apenas satisfazer aqueles que apresentem evidências de procura.

Anteriormente à solução *a priori optimization* foi desenvolvida a solução *reoptimization approach* (Psaraftis, 1995; Secomandi e Margot, 2007). Nos termos da *reoptimization approach*, após servir um cliente o condutor do veículo fará a decisão de voltar ao depósito ou visitar o próximo cliente tendo em conta a capacidade do veículo e as informações probabilísticas da procura dos clientes não servidos. Assim, se a capacidade do veículo estiver próxima de 95% e um dos clientes não servidos tem uma procura inferior a 5% face aos outros, o condutor do veículo pode optar por ir servir este cliente em vez de se deslocar ao depósito para reabastecimento.

Enquanto que no *reoptimization approach* o trajeto e a decisão de voltar ao depósito dependem da capacidade do veículo assim como do universo de clientes não servidos, no *a priori optimization* as rotas e o momento de voltar ao depósito são planeados.

Para Psaraftis (1995), apenas o *reoptimization approach* poderá tirar maior partido das tecnologias de informação e comunicação visto ser mais dinâmico. No mesmo sentido, Dror (2002) considera o *reoptimization approach* o método mais promissor, eficiente e exato na resolução de SVRP sem desrespeitar as restrições de espaço.

Assim, a variante SVRP procura minimizar a distância total percorrida por um veículo com capacidade limitada e que deve satisfazer a procura, assumida como desconhecida, numa dada região, percorrendo  $N$  locais e voltado periodicamente ao local de depósito para descarregar o seu conteúdo.

### **4.3. Team Orienteering Problem**

O Problema de Orientação em Equipa ou *Team Orienteering Problem (TOP)*, como é designado na literatura inglesa, é uma extensão da versão singular do jogo da Orientação. Neste desporto, os participantes partem de um local pré-determinado e têm de visitar o máximo de pontos de controlo (*checkpoints*) possíveis e voltar ao local inicial dentro de uma janela de tempo pré-definida. A cada *checkpoint* está associado uma determinada pontuação. Assim, o objetivo deste desporto é maximizar a pontuação total para a janela de tempo definida. Como o tempo é limitado, poderá não ser possível visitar todos os *checkpoints*. Assim sendo, é necessário seleccionar aqueles que maximizem a pontuação final.

A primeira aplicação do problema de orientação em equipa foi desenvolvida por Tsiligirides (1984) para o problema do caixeiro-viajante, considerando um tempo limitado para visitar todas as cidades. Este sabe o número de vendas em cada cidade e quer maximizar o número de vendas total dentro da janela de tempo que lhe foi concebida.

Outra aplicação real deste tipo de problema é o caso do Guia Turístico. Para os turistas a visitar uma cidade ou região é praticamente impossível visitar todos os pontos de interesse. Assim, devem desenhar um plano fiável, seleccionando os pontos que acreditam ser mais atractivos, dado a janela de tempo que possuem.

Butt e Cavalier (1994) introduziram o conceito de *Multiple Tour Maximum Collection Problem*, designado mais tarde por Chao et al. (1996) por *Team Orienteering Problem*, durante a fase de recrutamento de atletas de futebol nos liceus americanos. Dado o elevado número de escolas nos EUA, a distâncias entre si e o número de dias disponíveis do recruta, foi necessário associar uma pontuação a cada escola, baseada no potencial de recrutamento passado. Neste sentido, o recruta teria de seleccionar, cuidadosamente, as escolas que iria visitar em cada dia, tendo em conta o horário dos treinos dos atletas e o seu horário escolar.

Tang e Miller-Hooks (2005) descrevem uma aplicação do TOP na prestação de serviços a clientes. Segundo os autores, dado o horário limitado de trabalho de cada técnico, estes devem

selecionar um conjunto de clientes a atender, tendo em conta a urgência do serviço, assim como a importância do cliente.

A principal diferença entre o TOP e o problema do caixeiro-viajante e o VRP, é o facto de não ser obrigatório visitar todos os clientes (Vansteenwegen et al., 2011), sendo por isso, alternadamente, classificado como *Selective Travelling Salesperson Problem* (Laporte e Martello, 1990; Gendreau et al., 1998; Thomadsen e Stidsen, 2003), *Multiple Tour Maximum Collection Problem* (Butt e Cavalier, 1994) e *Bank Robber Problem* (Arkin et al., 1998).

Na Figura 21 é apresentado um exemplo de um TOP, adaptado de Bouly et al. (2010), onde existem 5 possíveis clientes a visitar (representados por quadrados). As rotas deverão iniciar e terminar no mesmo depósito (representado por um círculo). O limite temporal é de 50 minutos por rota, sendo a frota composta por apenas 2 veículos. O valor/pontuação de cada cliente está representado ao lado de cada cliente e o tempo entre os clientes e depósito está associado a cada arco.

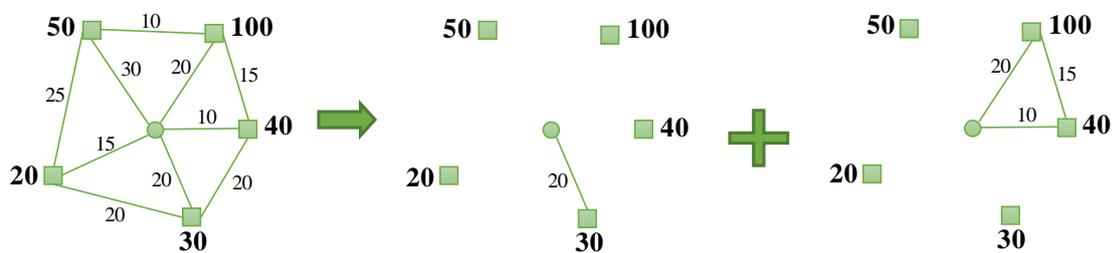


Figura 21: Exemplo de um TOP

Dos 5 clientes existentes, apenas são visitados 3 através da implementação de um algoritmo TOP. Das duas rotas projetadas, na primeira apenas é visitado o cliente com valor 30 com custo de deslocamento de 40 minutos (20+20); na segunda rota são visitados os clientes com valores 100 e 40 com custo de deslocamento de 45 minutos (20+15+10). Pela restrição da janela de tempo por rota de 50 minutos e com apenas dois veículos disponíveis para visitar os clientes, obtemos uma pontuação maximizada de 170 (30+100+40). Serve o exemplo para mostrar que havendo apenas dois veículos disponíveis para realizar o percurso e uma janela de tempo definida, é essencial maximizar o lucro do percurso selecionado e deslocando-se aos clientes que maior contributo dão para atingir tal objetivo.

Na atualidade, dada a conjuntura económica mundial é cada vez mais frequente encontrar problemas inseridos na tipologia TOP. Os problemas económicos obrigam as empresas ao *trade-off* na prestação de serviços aos seus clientes, selecionando os clientes mais rentáveis e

descartando aqueles que não apresentam lucro significativo para a empresa, aplicando o princípio 80/20 (80% do volume de negócios provém de 20% dos clientes da empresa). Neste sentido, é dado a cada cliente um nível de prioridade consoante a importância deste para a empresa. Nos casos em que a visita a um cliente não seja prioritária, este deve ser descartado do plano de rota para o período definido.

O modelo tradicional de recolha de resíduos consiste em recolha cega, isto é, um determinado veículo é destacado para recolher os resíduos de todos os contentores de uma determinada zona. Neste modelo não existe qualquer cálculo da rota ideal com base em dados *real-time* ou preditivos, não se sabendo se determinado contentor se encontra cheio ou vazio. Para Arebey et al. (2010), os principais problemas do processo de recolha de resíduos são:

- Inexistência de um sistema para monitorizar os veículos e contentores visitados recentemente;
- Falta de informação acerca da quantidade de resíduos existentes num determinado contentor e na área em seu redor;
- Não existe uma resposta rápida a casos de emergência como acidente, paragens prolongadas ou problemas técnicos com o veículo de recolha;
- Não existe um meio de resposta rápida a reclamações de clientes pela não recolha de resíduos de um determinado contentor.

No seguimento das necessidades de evolução do sistema de gestão de resíduos, a literatura científica tem proposto vários modelos para otimização do sistema de recolha de resíduos, que se descrevem na secção seguinte.

#### **4.4. Aplicações a sistema de gestão de resíduos**

Com a imposição de regras e metas por parte da União Europeia, a comunidade científica tem vindo a desenvolver, nos últimos 20 anos, diversas soluções que procuram aumentar a eficiência dos processos de recolha de resíduos. Segundo Beliën et al (2011), desde 1995 o número de estudos e trabalhos sobre otimização de rotas cresceu 75%. Os primeiros estudos apenas procuravam otimizar as rotas e processos de recolha através de algoritmos computacionais baseados em dados de deposição passados. Este tipo de recolha, como foi referido acima, é chamada recolha cega e baseia-se apenas nos dados antigos para prever o nível de enchimento de um determinado conjunto de ecopontos.

Nuortio (2006) propõe um modelo com base em previsões. Para Nuortio (2006), o problema da recolha de resíduos torna-se estocástico por natureza assim que a quantidade de resíduos sólidos urbanos se torna bastante variável e a sua acumulação dependa de vários fatores, tais como estilo de vida, época do ano, GDP *per capita*, número de habitantes, entre outros. Contudo, parece não existir informação detalhada acerca da massa e volume dos resíduos em cada contentor. Este modelo desenha as rotas de recolha com base em previsões, previsões essas baseadas no registo histórico das quantidades depositadas em cada contentor.

Teixeira et al. (2004) procurou otimizar a recolha de resíduos de uma empresa responsável pela recolha na região litoral centro de Portugal recorrendo a previsões de enchimento diário, para cada tipo de resíduo, baseadas em dados históricos. A solução encontrada permitiu reduzir os custos da empresa com transporte em 29%.

Estes modelos de recolha cega procuram otimizar as suas rotas de recolha recorrendo a métodos matemáticos, modelos heurísticos ou métodos de simulação (Beliën et al., 2011). Como foi referido anteriormente, os problemas de rotas de recolha podem ser modelados segundo um VRP, onde todos os ecopontos serão recolhidos (recolha cega) ou segundo um TOP, onde são selecionados apenas os ecopontos com taxas de enchimento que justifiquem a recolha. Contrariamente ao VRP, o TOP considera a existência de clientes/ecopontos prioritários e os quais devem ser obrigatoriamente visitados durante o tempo disponível. Assim, só os clientes/ecopontos que apresentem necessidades de visita é que são colocados na rota.

Mais recentemente, alguns autores têm vindo a desenvolver trabalhos e testes pilotos que procurem colmatar as falhas dos modelos de recolha cega. Johansson (2006) introduziu o conceito de horários e rotas dinâmicas para a recolha de resíduos com recurso a informações em tempo real, provenientes de sensores colocados dentro dos contentores.

Segundo Johansson (2006), foi testado em Malmo, Suécia, um sistema com 3300 contentores de reciclagem equipados com sensores LED infravermelho. Os sensores disparam um alarme quando 3 dos 4 sensores estão obstruídos, comunicando com um equipamento *wireless* que avisa um computador central. Conforme o número de contentores cheios, o computador calcula a rota mais eficiente. Este sistema permitiu reduzir os custos operacionais de todo o processo de recolha de resíduos, diminuir o tempo de recolha, redução do horário de trabalho, comparativamente com o método tradicional de rotas fixas. Contudo, os sensores

apresentavam alguns problemas de cálculo quando testados em determinadas condições atmosféricas.

De forma a planear as rotas e redes de recolha de resíduos, algumas empresas recorrem a programas informáticos que contêm informações geográficas acerca da região a servir. Os programas informáticos recorrem a estratégias de planeamento baseadas em soluções matemáticas tendo em conta a localização dos contentores e a previsão do seu enchimento. Hannan et al. (2011) estudaram e desenharam um sistema baseado em *Geographic Information System* (GIS). O GIS é um sistema de informação que integra *hardware* e *software* para guardar, recolher, gerir, analisar e mapear a informação disponível num computador. Possibilita a deteção de padrões, tendências e relações na informação recolhida. Com a ajuda deste serviço poder-se-ia otimizar o sistema de gestão de resíduos através da monitorização e controlo contínuo de todo o processo de recolha, manuseamento e transporte de resíduos.

Segundo Ghose (2006), foi aprovado na Índia um sistema GIS para determinar o custo/distância mínimo mais eficiente para o transporte de resíduos para um aterro. Tavares (2009) afirma ainda que foi implementado um sistema de GIS em Cabo Verde com o objetivo de otimizar o nível de combustível consumido em áreas caracterizadas por estradas com uma inclinação significativa.

Para Hannan et al. (2011), a gestão de resíduos deveria optar por um modelo que recorresse a câmaras, RFID, GPS, GPRS e GIS, para a gestão, monitorização e tratamento de toda a informação obtida. O sistema RFID seria responsável por guardar as informações acerca do ID dos contentores, ID do veículo de recolha e data da última recolha de resíduos e enviar sempre que requisitado ao sistema central através de GPRS. As câmaras seriam colocadas nos veículos de recolha e utilizadas como meio de captura de imagens antes e depois da recolha. Assim, seria possível ao GIS calcular com base nas informações do transmissor RFID e imagens a próxima data de recolha. O sistema de GPS seria necessário para saber a distância e localização atual dos veículos de recolha e dos contentores alvo.

Contudo, Faccio (2011) propôs um sistema mais eficaz para recolha de resíduos. Segundo Faccio (2011), seria necessário recorrer a sensores volumétricos, colocados nos contentores, RFID, GPRS e GPS, para calcular o nível de enchimentos dos ecopontos e assim calcular a rota ótima para recolha de resíduos. Este sistema teria a vantagem de acompanhar, em tempo real, o nível de enchimento dos contentores antes de estes serem visitados pelo respetivo

veículo de recolha. A ideia básica deste novo modelo consiste em conhecer em tempo real a posição e o nível de enchimento de cada veículo de recolha, assim como de cada contentor, possibilitando a decisão de quais os contentores a serem visitados e quais os contentores a serem evitados em tempo real. Esta nova proposta sublinha a importância da otimização de rotas consoante a necessidade de visita a determinado contentor.

Faccio (2011) destaca ainda algumas das vantagens desta nova proposta:

- Redução da frota de veículos de recolha;
- Redução dos custos operacionais (combustível, manutenção, número de trabalhadores);
- Eliminação de paragens desnecessárias, o que significa a redução das emissões de gases poluentes;
- Redução da poluição sonora;

Com base nos dados recolhidos são desenhadas as rotas mais eficientes, recorrendo a algoritmos heurísticos para determinar a menor distância a percorrer e o maior número de contentores recolhidos.

McLeod e Cherett (2008) e Zamorano (2009) afirmam que uma das formas de otimizar as rotas a partir dos modelos apresentados é através do reajustamento da localização dos contentores numa determinada rede. Este reajustamento não só simplificaria o processo de recolha de resíduos como aumentaria a sua eficiência possibilitando também uma redução dos custos operacionais.

## 5. Modelo de definição de rotas para o TOP

### 5.1. Considerações gerais

O problema em estudo é o problema da definição de rotas para recolha de resíduos através da seleção dos ecopontos considerados aptos para recolha. O problema é modelado como um Team Orienteering Problem, em que a cada ecoponto com mais de 75% de volume ocupado será atribuída uma pontuação. A pontuação será maior conforme o nível de enchimento do contentor, variando entre 1, 2 e 3 consoante o seu nível de enchimento esteja nos intervalos [75% - 80%], [80% - 87%] e [ $> 87\%$ ], respetivamente.

Assim, a solução em questão procura, a partir de um conjunto de dados de entrada, definir uma rota ou um conjunto de rotas para recolha de resíduos seguindo um modelo TOP e visitando apenas os ecopontos que se encontram aptos para a recolha. É considerado um horizonte temporal  $T$ , em que os ecopontos que não estão aptos para a recolha no dia  $D \in T$  não são considerados a entrar na rota do dia  $D$ . Para a construção das rotas será utilizada a heurística de poupanças de Clarke e Wright (1964). Os dados de entrada são provenientes de um conjunto de sensores ultrassom colocados dentro dos contentores, que fazem a medição do volume ocupado pelos resíduos e comunicam a uma central os dados recolhidos.

Para o cálculo das poupanças é realizada uma estimativa das distâncias reais entre ecopontos através de uma adaptação da distância Euclidiana entre dois pontos. Tendo em conta o perímetro da Terra no paralelo nº 38, onde Portugal se situa, deve-se multiplicar a distância Euclidiana por 92 km para obter uma aproximação da distância entre dois pontos à realidade. Contudo, de acordo com Simchi-Levy *et al* (2008) a distância real entre dois pontos é aproximadamente 1,3 vezes a distância euclidiana. Assim, tendo em conta o perímetro da Terra e os cálculos de Simchi-Levy *et al* (2008) a fórmula de cálculo da distância entre dois pontos fica:

$$D_{ab} \text{ km} = \sqrt{(long_a - long_b)^2 + (lat_a - lat_b)^2} * 92 \text{ km} * 1,3 \quad (I)$$

Dado que a taxa de deposição de resíduos varia consoante o tipo de resíduo e o local geográfico, é certo que as rotas determinadas pelo algoritmo serão dinâmicas. Desta forma, ao contrário da atual situação de recolha, a periodicidade das rotas não está definida, variando consoante a necessidade de recolha.

## 5.2. Objetivos e Restrições

A construção de rotas de recolha de resíduos comporta três restrições fundamentais para o progresso de otimização: número de veículos disponíveis, taxa de utilização do veículo e número de quilómetros percorridos.

Tal como foi referido, o problema é modelado como um TOP, no qual um conjunto de participantes, que se juntam em equipa, procuram obter a pontuação máxima visitando um determinado número de *checkpoints* dentro de um tempo limite. Para isso terão de seleccionar os *checkpoints* que maximizam a sua pontuação de equipa. No modelo proposto, os *checkpoints* são os ecopontos cheios, a equipa é a frota de veículos, a pontuação é a prioridade de recolha, que varia consoante o nível de enchimento do ecoponto, e o tempo limite traduz-se no número de quilómetros percorridos e no tempo de turno do condutor do veículo.

Dado que só existe uma base de veículos, localizada no Centro de Tratamento de Resíduos do Oeste (CTRO), todas as rotas começam e terminam no mesmo local.

## 5.3. Algoritmo para a definição de rotas TOP

Como foi referido acima, a definição das rotas de recolha de resíduos propriamente dita irá basear-se na heurística das poupanças de Clarke e Wright (1964). A heurística é aplicada na construção de todas as rotas, independentemente do tipo de resíduo que irá recolher. Apesar de ser uma heurística aplicada maioritariamente a problemas de tipologia VRP por considerar o número de veículos uma variável de decisão, esta apresenta uma génese de resolução facilmente adaptável à tipologia TOP, bastando apenas considerar o número veículos como uma restrição.

O objetivo desta heurística é a de minimizar os custos inerentes ao caminho percorrido por um veículo combinando dois clientes numa mesma rota em oposição a envios diretos, a partir da origem, a cada um deles. A heurística de Clarke and Wright (1964), como ficou conhecida, demonstra uma grande utilidade para frotas homogéneas, uma vez que admite a minimização da frota e da distância percorrida.

A poupança obtida pela combinação de dois clientes na mesma rota antes de regressar à origem é calculada através da equação seguinte:

$$2(D_{oi} + D_{oj}) - (D_{oi} + D_{ij} + D_{oj}) = D_{oi} + D_{oj} - D_{ij} \quad (\text{II})$$

Em que  $D_{oi} = D_{io}$  é a distância da origem  $o$  ao cliente  $i$ ;  $D_{oj} = D_{jo}$  é a distância da origem  $o$  ao cliente  $j$ ;  $D_{ij} = D_{ji}$  é a distância entre o cliente  $i$  e o cliente  $j$ . O algoritmo Clarke e Wright funciona da seguinte forma:

Passo 1: Calcular a matriz de poupanças entre todos os pares de clientes;

Passo 2: Ordenar as poupanças por ordem decrescente;

Passo 3: Selecionar a maior poupança e incluir na rota os clientes (ainda não visitados) sem que as restrições sejam violadas;

Passo 4: Repetir o passo 3 até todos os clientes estarem incluídos numa rota;

Neste método podem ser impostas algumas restrições, como por exemplo, a capacidade do veículo. Neste caso, seriam escolhidos para uma rota os primeiros  $n$  clientes cuja carga total no veículo fosse inferior à carga suportada. Os clientes que não foram visitados na primeira rota serão incluídos numa futura rota, recomeçando o algoritmo.

A heurística de Clarke e Wright apresenta um defeito significativo durante a construção da rota ótima. Durante a execução do passo 3, a inclusão da melhor ligação pode impedir que uma nova ligação gere maiores poupanças. Assim, se uma dada ligação for aceite pelo algoritmo, esta pode comprometer a seleção de outras ligações que garantem melhores poupanças futuras.

Dado um dia  $D$  pertencente ao horizonte temporal  $T$ , o algoritmo para a definição de rotas TOP começa com uma filtragem, em que, a partir da informação enviada pelos sensores colocados nos ecopontos, o algoritmo procura aqueles que estão cheios e sinaliza-os para recolha. A cada sinalização é calculado o nível de enchimento do ecoponto e dada a prioridade respetiva (1,2 ou 3). Após a sinalização, o algoritmo verifica se o conteúdo total dos ecopontos sinalizados é suficiente para encher, pelo menos, 85% de um veículo. Se esta condição for verificada, o algoritmo inicia a aplicação da heurística de Clarke e Wright (1964). No primeiro passo da heurística, é calculada a matriz poupança entre todos os pares de ecopontos sinalizados. De seguida, essa matriz é ordenada por ordem decrescente de poupança. Após a primeira ordenação, o algoritmo verifica se existem ecopontos com prioridades diferentes e ordena a matriz obtida no passo anterior por ordem decrescente de prioridade. Desta forma, a matriz obtida colocará em primeiro lugar o par de ecopontos que tem maior prioridade de recolha, isto é, a sua capacidade encontra-se muito próxima do limite do ecoponto (perto de sobrelotar), e cuja poupança é a mais elevada.

Após as duas ordenações, o algoritmo executará o passo 3 da heurística de Clarke e Wright (1964) selecionando, não o par com maior poupança, mas o primeiro par da matriz reordenada.

Na execução do passo 4, se dois pares não forem compatíveis por apresentarem diferentes ecopontos na sua composição, então esse par será ignorado e o algoritmo analisa o próximo par. Dois pares são compatíveis caso exista uma sequência contínua entre eles. A Figura 22 ilustra um exemplo de compatibilidade e não compatibilidade entre ecopontos na rota.

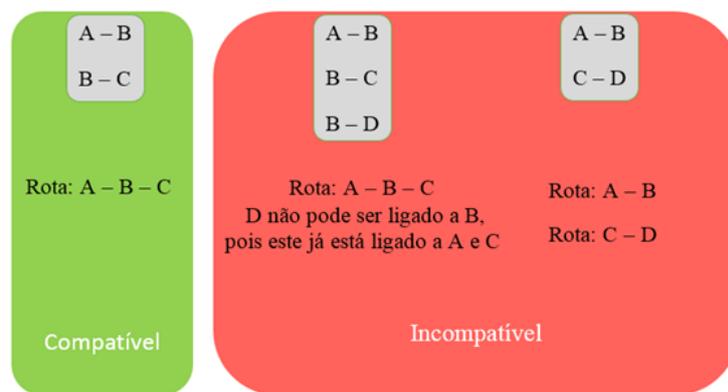


Figura 22: Exemplo de compatibilidade e não compatibilidade entre pares na rota

Após aceitar um par e o colocar na rota, o algoritmo voltará ao início da listagem ordenada de pares à procura de pares compatíveis e verificará qual poderá entrar na rota. Sempre que um par é inserido na rota, todos os pares cujos ecopontos já possuam um ecoponto de começo e um de destino, estes são eliminados da lista.

Durante a fase de avaliação do par a ser incluído na rota, é verificado em cada iteração, não só se este é compatível com a rota mas também se a carga a recolher nos ecopontos e distância total respeitam as restrições impostas de capacidade do veículo e distância total percorrida.

Quando uma rota fica concluída, o algoritmo começa a construir uma nova rota, respeitando as restrições, com os pares de ecopontos ainda presentes na matriz. Caso se obtenha sucesso na criação, é adicionada uma nova rota para o dia em questão ( $D$ ). Em caso de insucesso, os pares de ecopontos são sinalizados como não visitados e a sua prioridade poderá aumentar, estando dependente da taxa de deposição do dia seguinte ( $D+1$ ).

Contudo, é possível que a heurística de Clarke e Wright (1964) não apresente uma solução que respeite as restrições impostas, porque foi introduzido um par cuja poupança impediu a seleção de uma sequência de poupanças mais elevadas. Caso isto se verifique, o algoritmo

recomeçará a rota mas selecionando o segundo par da matriz. Se se obter uma rota que não respeite novamente as restrições, a construção da rota recomeça mas a partir do terceiro par, e assim por diante até esgotar os pares da matriz ou até obter uma rota.

O algoritmo é aplicado para cada tipo de material a recolher individualmente. A Figura 23 representa o fluxograma do algoritmo proposto. O pseudo-código do algoritmo encontra-se descrito no Anexo A.

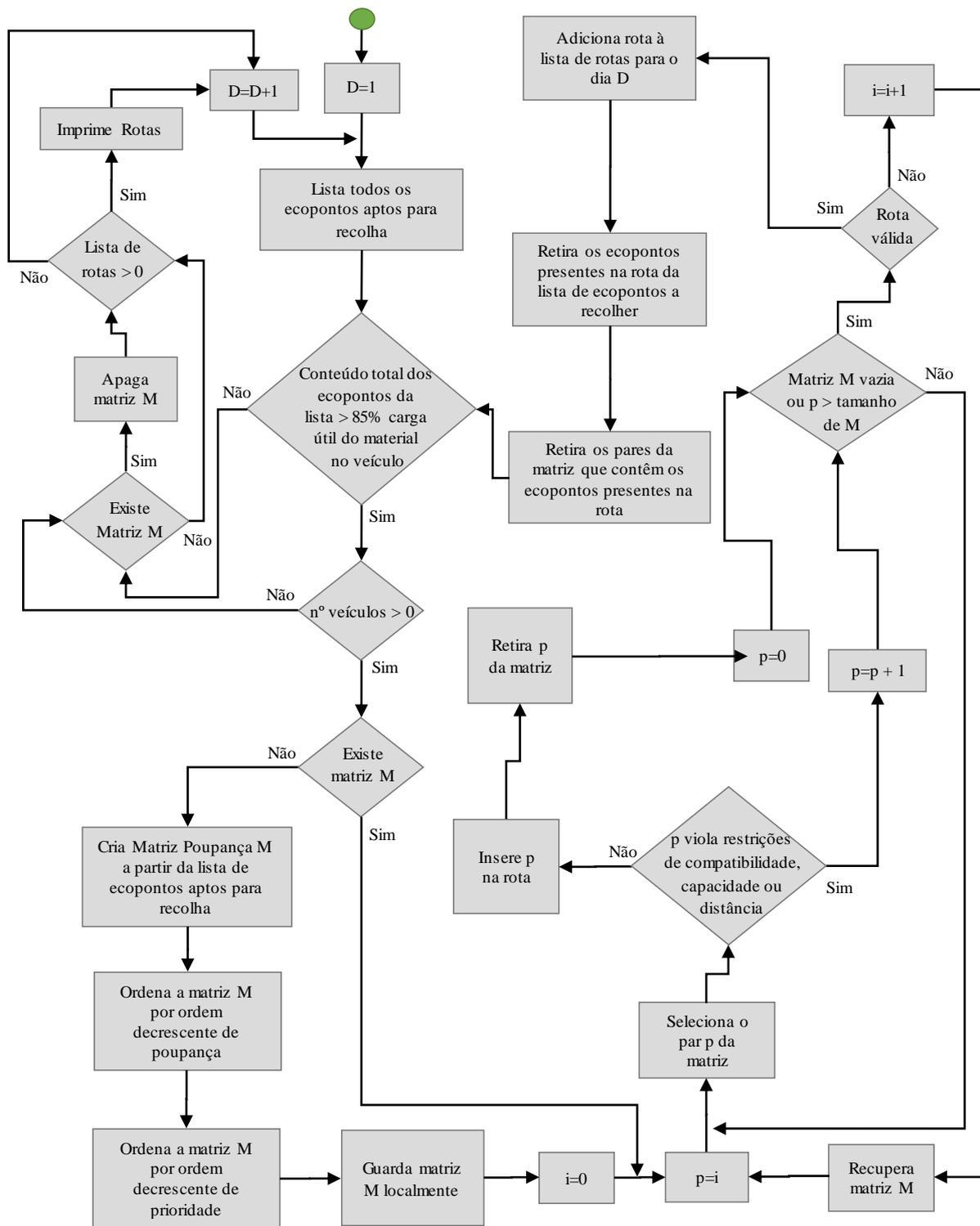


Figura 23: Fluxograma do algoritmo proposto

## 6. Caso de Estudo

### 6.1. Situação Atual de recolha de Resíduos da Valorsul

Como foi referido no Enquadramento desta dissertação, a recolha de resíduos efetuada pela Valorsul baseia-se na recolha estática, também designada por recolha cega. Neste tipo de recolha, as rotas de recolha são sempre as mesmas, tem uma periodicidade pré-definida e visitam sempre os mesmos ecopontos.

A área de intervenção da Valorsul conta com um total de 2544 ecopontos distribuídos por 14 concelhos. Em situações normais, um ecoponto é constituído por 1 contentor para embalagens de vidro, 1 contentor para embalagens de papel/cartão e 1 contentor para embalagens de plástico/metal. Contudo, em determinadas zonas, devido à maior deposição de um determinado tipo de resíduo de embalagens, podem existir mais do que 1 contentor para o mesmo. A cada tipo de contentor está associado uma cor, sendo a cor verde para o vidro, azul para o papel/cartão e amarelo para o plástico/metal como demonstra a Figura 24.



Figura 24: Exemplo de um Ecoponto

O sistema da Valorsul é assim composto por um total de 7807 contentores, divididos em 2887 para o vidro, 2542 para o papel/cartão e 2378 para o plástico/metal. A Valorsul possui contentores do tipo superfície, com capacidade para 2500 L, e do tipo subterrâneo, com capacidade de 3000L a 5000 L. No contexto desta dissertação, vamos apenas considerar o uso de ecopontos do tipo superfície que equivale a aproximadamente 85% do total de ecopontos. Na Figura 25, podemos ver a distribuição de contentores na área de intervenção da Valorsul.

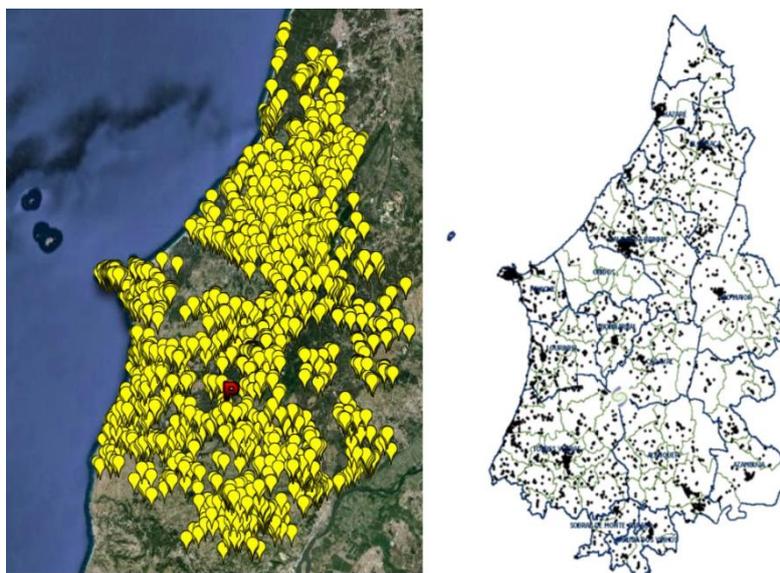


Figura 25: Dispersão de Ecopontos da Valorsul

Para efetuar a recolha dos ecopontos, a Valorsul tem à sua disposição uma frota de 14 veículos como se pode ver na Tabela 6: *Frota de Veículos da Valorsul*. Dos 14 veículos disponíveis, 12 são responsáveis pela recolha seletiva de resíduos (RS) e os restantes 2 veículos são responsáveis pela manutenção dos ecopontos (ME). Dos 12 veículos que compõe a frota de recolha seletiva, apenas 2, Volvo FM9 de 2009, efetuam a recolha dos contentores pela parte traseira do veículo, enquanto que os restantes efetuam a recolha pela parte superior do veículo.

Tabela 6: Frota de Veículos da Valorsul

Marca	Modelo	Arranque	Função	Tipologia	Volume (m <sup>3</sup> )	Carga Útil (Kg)
MAN	18.284 LKL2000	2001	RS	Caixa Aberta	20	9 000
MAN	18.284 LKL2000	2001	RS	Caixa Aberta	20	9 000
MAN	18.284 LKL2000	2001	RS	Caixa Aberta	20	9 000
Nissan	Atleon 140-80/3	2005	ME	Caixa Aberta		2 800
Volvo	FM9	2005	RS	Compactação	20	13 945
Volvo	FM9	2005	RS	Compactação	20	13 945
MAN	TGM 18.280	2007	RS	Compactação	20	5 580
MAN	TGM 18.280	2007	RS	Compactação	20	5 580
MAN	TGM 18.280	2007	RS	Compactação	20	5 580
Toyota	Dyna XZU425LD	2007	ME	Caixa Aberta		2 520
MAN	TGM 18.280	2008	RS	Compactação	20	5 580
MAN	TGM 18.280	2008	RS	Compactação	20	5 580
Volvo	FM9	2009	RS	Compactação	15	4 465
Volvo	FM9	2009	RS	Compactação	15	4 465

O volume para armazenagem de resíduos no veículo varia entre os 15m<sup>3</sup> e os 20m<sup>3</sup>. Para a recolha de embalagens do tipo vidro, o veículo responsável é o modelo 18.284 LK L2000 com

capacidade para 9000kg, com 20m<sup>3</sup> de volume e sem sistema de compactação. Para os resíduos do tipo papel/cartão e plástico/metálico, o veículo utilizado tem obrigatoriamente um sistema de compactação interno, a sua carga útil pode variar entre os 4465kg e os 13945kg, e o seu volume entre os 15m<sup>3</sup> e os 20m<sup>3</sup>. O sistema de compactação dos veículos faz aumentar a densidade dos resíduos até 5 vezes, fazendo assim aumentar a carga por unidade de volume, como demonstra a Tabela 7.

Tabela 7: Densidade dos materiais recolhidos e carga útil dos veículos de recolha

Tipo de Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade dentro do veículo (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Útil do Veículo (kg)	Carga Útil do Material no Veículo sem compactador (kg)	Carga Útil do Material no Veículo com compactador (kg)	Volume do Veículo (m <sup>3</sup> )
Vidro	300	650	9000	9000	9000	20
Papel/Cartão	60	250	5580	1200	5000	20
			4465	900	3750	15
Plástico/Metal	40	150	5580	800	3000	20
			4465	600	2250	15

Com os avanços tecnológicos foi possível à Valorsul investir em *software* de planeamento de rotas. Este *software* tem como objetivo cruzar as informações acerca do histórico do nível de enchimento dos ecopontos e estimar previamente o seu nível de enchimento. Assim, com a ajuda deste *software*, é possível determinar quais os ecopontos que se devem visitar numa determinada rota, podendo visitar-se todos ou somente aqueles que o *software* considerar necessário. De salientar que este tipo de recolha baseia-se em previsões, suscetíveis de erros, tendo em conta dados passados.

Neste sentido, irá analisar-se nas próximas subsecções, a atual situação de recolha de resíduos da Valorsul, entre Janeiro e Junho de 2013, para resíduos de vidro, papel/cartão e plástico/metálico em 4 rotas distintas. Dado o elevado número de ecopontos da rede da Valorsul, servem as rotas selecionadas para demonstrar, em modo de teste piloto, a situação atual de recolha, as quais foram escolhidas por abrangerem zonas de baixa densidade populacional. As rotas apresentadas abrangem os concelhos de Alcobaça, Alenquer, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha e Rio Maior, num total de 928 contentores, como demonstra a Tabela 8.

Tabela 8: Número de Contentores por Rota e por Tipo de Resíduo a considerar no teste piloto

ID Rota	Tipo de Material		
	Vidro	Plástico/Metal	Papel/Cartão
3	68	71	71
6	86	72	73
11	77	73	73
13	84	90	90
Total	315	306	307
	928		

Na Figura 26 encontra-se uma breve descrição figurativa da área de intervenção escolhida, estando os concelhos afetados representados a verde e a zona de intervenção dentro dos concelhos a vermelho.

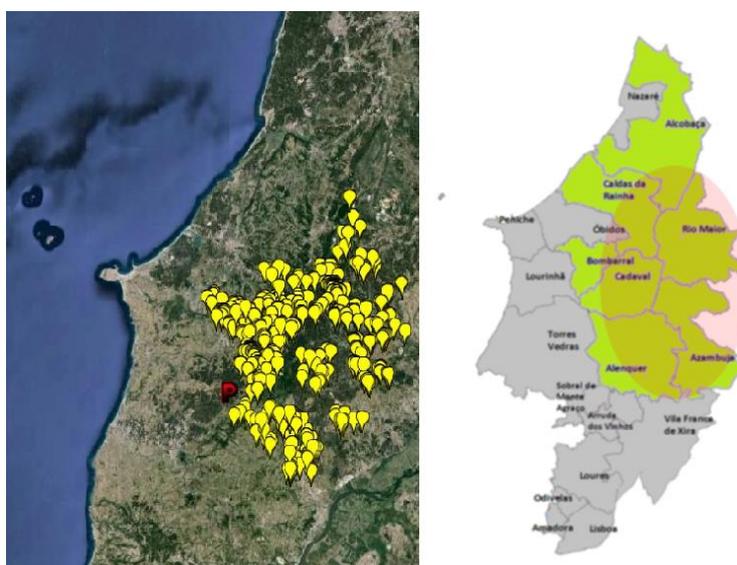


Figura 26: Área de Intervenção escolhida para teste piloto

Foi estipulado que a percentagem de ecopontos aptos para recolha (com taxa de enchimento igual ou superior a 75%) em cada rota devia ser no mínimo de 80% e que a taxa de ocupação do veículo por rota devia ser no mínimo de 85%.

A listagem com os detalhes das atuais rotas efetuadas para o vidro, papel/cartão e plástico/metal na zona piloto encontra-se no Anexo B.

### 6.1.1. Recolha de Vidro

Como se pode ver na Tabela 9, verificamos que para o resíduo do tipo vidro, o número de ecopontos existentes é de 315. Porém, durante a execução de uma rota, nem todos os

ecopontos são visitados, dado que anteriormente ao dia da recolha, a Valorsul executa através do *software* informático, um planeamento da rota, de modo a saber previamente quais os ecopontos a visitar (com base nas taxas de enchimento dos mesmos previstas pelo software). Assim, apresenta-se na Tabela 9 uma análise referente ao número de ecopontos visitados durante o período referido, assim como a média e o número total de quilómetros percorridos para visitar estes.

Tabela 9: Dados da Recolha de vidro entre Janeiro e Junho de 2013

ID Rota	Número de Rotas Realizadas	Ecopontos Recolhidos	Número de Ecopontos Aptos para Recolha	% Ecopontos Aptos para Recolha	Carga Recolhida (kg)	Distância Percorrida (km)	Tempo Total Despendido
3	5	309	26	8%	52020	708	35h06
6	4	288	11	4%	37740	708	28h05
11	5	278	25	9%	48080	786	34h13
13	6	429	23	5%	49560	916	39h10
<b>Total</b>	20	1304	85	7%	187400	3118	136h34

Dado que a periodicidade da recolha do vidro varia entre 14 e 30 dias, foram realizadas, de acordo com a Tabela 9, apenas 20 rotas entre Janeiro e Junho de 2013. Durante as 20 rotas foram visitados e recolhidos 1304 ecopontos dos quais apenas 85 estavam aptos para recolha, o que equivale a aproximadamente 7% do total de ecopontos. No mesmo contexto, a frota de veículos percorreu um total de 3118 km e recolhendo 187.400 kg de resíduos de vidro, tendo gasto aproximadamente 136 horas e 34 minutos durante o período. Durante a realização das 20 rotas foram despendidos um total de 136 horas e 34 minutos, o que equivale a cerca de  $((136 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos} + 34 \text{ minutos}) / 20 \text{ rotas}) / 60 \text{ minutos} = 7 \text{ horas por rota}$ .

Considerando a distância total percorrida (3118 km), o número total de ecopontos recolhidos (1304) e o número total de ecopontos aptos para recolha (85), podemos afirmar que se percorre em média  $3118 \text{ km} / 1304 = 2,39 \text{ km}$  por ecoponto e  $3118 \text{ km} / 85 = 36,68 \text{ km}$  para encontrar um ecoponto apto para a recolha. Segundo os cálculos evidenciados, percorre-se 15,35 vezes a distância média entre ecopontos na rota (2,39 km) para encontrar um ecoponto de vidro apto para a recolha.

Tabela 10: Síntese dos valores médios para a distância percorrida por rota e por hora, carga e taxa de utilização do veículo para recolha de vidro

ID Rota	Distância Média Percorrida por rota (km)	Distância Percorrida por hora (km)	Carga Média Recolhida por rota (kg)	Taxa Média de Ocupação do Veículo por rota
3	142	20	10404	116%
6	177	25	9435	105%
11	157	23	9616	107%
13	153	23	8260	92%
Média	157	23	9429	105%

A partir dos valores presentes na Tabela 10, podemos constatar que a distância média percorrida por rota foi de 157 km, tendo sido recolhidos, em média, 9429 kg de vidro por rota. Considerando que a capacidade do veículo para a recolha do vidro, como foi referido acima, é de 9000 kg considerando a sua densidade, a taxa de ocupação média do veículo por rota foi de 105%.

Cruzando os dados das duas tabelas podemos, assim, afirmar que apesar de se percorrer em média 36,68 km para encontrar um contentor de vidro cheio, a taxa de ocupação do veículo é bastante aceitável, ultrapassando mesmo a capacidade do veículo. Contudo, continua a existir falta de eficiência no planeamento das rotas de recolha. Apesar da ocupação do veículo ser bastante aceitável, a recolha do vidro pecou pela ineficiência do combustível gasto e tempo despendido para a realização da rota.

### 6.1.2. Recolha de Papel/Cartão

Na Tabela 11 são apresentados os dados relativamente à recolha de papel/cartão durante os meses de Janeiro e Junho de 2013. A partir da Tabela 11 podemos verificar que foram percorridas 65 rotas, visitados 4148 ecopontos, recolhido 155560 kg de papel/cartão e percorrida uma distância de, aproximadamente, 9905 km. Durante a realização das 65 rotas foram despendidos um total de 448 horas e 14 minutos, o que equivale a cerca de  $((448 \times 60 + 14) / 65) / 60 = 7$  horas por rota.

Dos 4148 ecopontos visitados, apenas 1573 estavam aptos para recolha, o que equivale a 38%. Comparativamente ao vidro, a percentagem de ecopontos aptos para recolha aumentou. Contudo, 38% ainda é uma percentagem que evidencia a falta de eficiência do planeamento das rotas de recolha. Considerando a distância total percorrida (9905 km) e o número de ecopontos cheios (1573), podemos afirmar que se percorre em média  $9905 / 1573 = 2,39$  km

por ecoponto e  $9905/1573 = 6,29$  km para encontrar um ecoponto apto para recolha. Segundo os cálculos evidenciados, percorre-se 2,63 vezes a distância média entre ecopontos na rota (2,39km) para encontrar um ecoponto de papel/cartão cheio.

Tabela 11: Dados da Recolha de papel/cartão entre Janeiro e Junho de 2013

ID Rota	Número de Rotas Realizadas	Ecopontos Recolhidos	Número de Ecopontos aptos para recolha	% Ecopontos aptos para recolha	Carga Recolhida (kg)	Distância Percorrida (km)	Tempo Total Despendido
3	15	834	321	39%	32800	2059	100h13
6	13	843	219	26%	22200	2840	94h
11	14	823	354	43%	33680	2001	94h57
13	23	1648	679	41%	66880	3005	159h04
<b>Total</b>	65	4148	1573	38%	155560	9905	448h14

A partir dos valores presentes na Tabela 12, podemos constatar que a distância média percorrida por rota foi de 157 km, tendo sido recolhidos, em média, 2302 kg de papel/cartão por rota. Para a realização das rotas de recolha de papel/cartão foram utilizados em 88% das vezes veículos com uma caixa de 20m<sup>3</sup> de volume e em apenas 12% veículos com uma caixa de 15m<sup>3</sup> de volume. Dado o elevado distanciamento percentual, considera-se, para efeitos de cálculos apenas o uso de veículos com a capacidade para 5580kg, isto é, com 20m<sup>3</sup> de caixa. Assim, considerando a densidade do papel/cartão de 60kg/m<sup>3</sup>, a capacidade máxima de resíduos de papel/cartão no veículo será de 4800kg (pois o mesmo tem compactador, o que quadruplica a densidade do material), o que equivale a uma taxa de ocupação média do veículo por rota de 48%. Dado que a taxa de ocupação média do veículo é bastante reduzida, mais uma vez, e face à recolha do vidro, verificamos a existência de um mau planeamento das rotas de recolha de resíduos.

Tabela 12: Síntese dos valores médios para a distância percorrida por rota e por hora, carga e taxa de utilização do veículo para recolha de papel/cartão

ID Rota	Distância Média Percorrida por rota (km)	Distância Percorrida por hora (km)	Carga Média Recolhida por rota (kg)	Taxa Média de Utilização do Veículo por rota
3	137	21	2187	46%
6	218	30	1708	36%
11	143	21	2406	50%
13	131	19	2908	61%
<b>Média</b>	157	23	2302	48%

### 6.1.3. Recolha de Plástico/Metal

Entre Janeiro e Junho de 2013, a Valorsul realizou 72 rotas para recolha de plástico/metal, como se pode verificar pela Tabela 13. Durante o período definido foram visitados 4754 ecopontos, recolhidos 131240 kg de plástico/metal e percorrida uma distância de 11261 km. No total foram despendidos um total de 515 horas e 29 minutos, o que equivale a, aproximadamente,  $((515 \times 60 + 29) / 72) / 60 = 7$  horas por rota.

Tabela 13: Dados da Recolha de plástico/metal entre Janeiro e Junho de 2013

ID Rota	Número de Rotas Realizadas	Ecopontos Recolhidos	Número de Ecopontos aptos para recolha	% Ecopontos aptos para recolha	Carga Recolhida (kg)	Distância Percorrida (km)	Tempo Total Despendido
3	17	1034	579	56%	30140	2302	118h32
6	15	941	464	49%	23560	3174	113h25
11	16	1005	668	66%	33160	2362	112h
13	24	1774	840	47%	44380	3423	171h32
<b>Total</b>	72	4754	2551	54%	131240	11261	515h29

Dos 4754 ecopontos recolhidos, apenas 2551 se encontravam cheios, isto é, apenas 54% destes foram sinalizados como aptos para recolha. Tal como foi considerado acima, esta percentagem encontra-se ainda longe do ideal (80%). Considerando a distância total percorrida (11261 km) e o número de ecopontos aptos para recolha (2551), podemos afirmar que se percorre em média  $11261/4754 = 2,37$  km por ecoponto e  $11261/2551 = 4,41$  km para encontrar um ecoponto apto para recolha. Segundo os cálculos evidenciados, percorre-se 1,3 vezes a distância média entre ecopontos na rota (2,37 km) para encontrar um ecoponto de plástico/metal cheio.

Tabela 14: Síntese dos valores médios para a distância percorrida por rota e por hora, carga e taxa de utilização do veículo para recolha de plástico/metal

ID Rota	Distância Média Percorrida por rota (km)	Distância Percorrida por hora (km)	Carga Média Recolhida por rota (kg)	Taxa Média de Ocupação do Veículo por rota
3	135	19	1773	55%
6	212	28	1571	49%
11	148	21	2073	65%
13	143	20	1849	58%
<b>Média</b>	159	22	1816	57%

De acordo com a Tabela 14, em média, a distância percorrida por rota foi de 159 km, tendo sido recolhidos 1816 kg. Tal como sucedeu na recolha de papel/cartão, na recolha do

plástico/metal, 88% das rotas foram efetuadas por veículos com 20m<sup>3</sup> de caixa de armazenagem. Dada esta elevada diferença percentual, para efeitos de cálculo não existirá uma variação percentual para além de 1%. Assim, considerando a densidade do plástico/metal de 40kg/m<sup>3</sup> e um veículo de 20m<sup>3</sup> com capacidade para 5580 kg de resíduos, a capacidade máxima de recolha para resíduos de plástico/metal é de 3200 kg. Sendo assim, a taxa média de ocupação do veículo foi de 57%. Comparativamente ao valor indicado como aceitável (85% da capacidade do veículo), a taxa de ocupação média encontra-se ainda longe da mínima, prevalecendo uma vez mais a falta de eficiência da gestão de resíduos.

Como se pôde verificar, em todos os tipos de resíduos, vidro, papel/cartão e plástico/metal, existe um evidente e considerada falta de eficiência no planeamento e recolha de resíduos. Este procedimento deve ser rapidamente revisto e melhorado, pois a empresa encontra-se a perder recursos durante as suas ações de recolha. Neste sentido será introduzida, na próxima secção, um sistema tecnológico recente e promete corrigir as lacunas criadas pela existência de rotas estáticas e fixas.

## **6.2.Situação Proposta para recolha de Resíduos**

### **6.2.1. Tecnologia para monitorização de Resíduos**

Tendo em conta as lacunas da recolha cega de resíduos efetuada pela Valorsul e caracterizada a atual situação do sistema de recolha, propõe-se a implementação de um sistema de tecnologias de informação e comunicação que permita medir com exatidão o nível de deposição de resíduos nos ecopontos e assim obter uma melhor perspetiva do nível de enchimento real destes.

O sistema proposto baseia-se em tecnologia de medição ultrassom. Através deste sistema é possível monitorizar em tempo real a taxa de deposição de resíduos num determinado ecoponto ou num conjunto de ecopontos. O recurso a um sistema de monitorização com sensor ultrassom permite uma poupança de custos, sendo assim possível poupar no tempo despendido na realização da rota, na distância percorrida e promover uma eficiente utilização dos recursos, tais como a frota de veículos e motoristas. A Figura 27 exemplifica a recolha de resíduos sem e com sensor de monitorização ultrassom.



Figura 27: Circuito sem e com Sistema sensor ultrassom

No contexto da situação proposta foram considerados dois sistemas. No primeiro caso, o sistema de monitorização ultrassom parte de uma solução da empresa ENEVO. O ENEVO ONE Collect é um sistema para monitorização do conteúdo de um conjunto de contentores. Através desta solução, é possível medir em tempo real o nível de enchimento dos contentores da área coberta, através de sensores de ultrassom de baixo custo. A Figura 28 ilustra um sensor Enevo.



Figura 28: Sensor Enevo

Os sensores captam, através de ondas ultrassom, o nível de enchimento do contentor e envia via rede GSM/GPRS as suas leituras para um servidor ENEVO ONE server para futura análise, tratamento e apresentação de informação. O servidor disponibiliza a informação 24/7, e com recurso a ferramentas de estatística calcula a próxima data de recolha. O sensor está equipado com um cartão SIM para ligação à rede GSM e contacto com o servidor, possui uma bateria de baixo consumo com a duração de 10 anos e é resistente à humidade, temperatura e a outras condições adversas. Para além das vantagens referidas, o sensor tem uma grande portabilidade, podendo ser instalado em qualquer tipo de contentor, tal como ilustra a Figura 29.



Figura 29: Exemplos de contentores aptos para sensor Enevo

O sistema ENEVO ONE collect não tem qualquer custo de investimento, nem custo de *hardware*. O cliente apenas paga uma mensalidade por cada sensor colocado, podendo esta variar consoante o número de sensores requeridos e o tempo de contrato. A Enevo é proprietária do sensor, ficando responsável pela sua manutenção, apenas cobrando a informação disponibilizada ao cliente.

No segundo caso, foi considerado um sistema de sensores ultrassom, muito semelhante aos sensores Enevo mas desenhados, construídos e geridos pela própria empresa. Este sistema seria da responsabilidade da empresa de recolha, no caso desta dissertação, da Valorsul, que teria a responsabilidade de investir no *hardware* a utilizar, tal como sensores ultrassom, servidores, entre outros e de gerir toda a sua atividade.

Segundo Davide (2012), um sistema *low-cost*, eficiente e preciso, baseado em sensores de ultrassom, seria composto por 4 sensores ultrassom, uma plataforma *open-source* Arduino, uma antena para aumentar a força dos sinais emitidos e recebidos, um *modem* GSM, e uma bateria para alimentação do circuito, tal como ilustra a Figura 30.

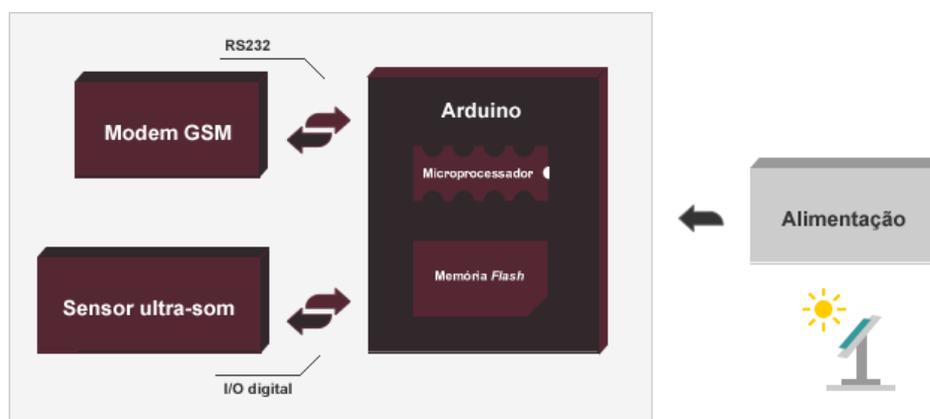


Figura 30: Interações entre os diferentes elementos do sistema (Davide, 2012)

Este sistema funcionaria exatamente como o sistema Enevo. A informação captada pelos 4 sensores de cada contentor é armazenada na memória *flash* e posteriormente enviada através da rede GSM/GPRS para a central. Na central, os dados são recebidos, processados e tratados para posterior planeamento de rotas.

A diferença entre o sistema *low-cost* de Davide (2012) e o sistema Enevo está no preço do equipamento e na gestão e tratamento da informação, que no caso de Davide (2012) seria da responsabilidade da Valorsul. Esta teria, para além de investir no sistema de cada contentor e de os programar, de investir ainda na criação de um pequeno centro de operações para gestão da informação.

Ambos os sistemas são bastante eficientes e demonstram ser capazes de atuar no contexto do problema em questão. Porém, o custo de investimento dos dois projetos é bastante diferente, como se irá verificar na secção de Análise da Viabilidade Económica.

### **6.2.2. Aplicação do Algoritmo para resolução do problema**

Com o intuito de ultrapassar as lacunas criadas pela realização de rotas estáticas para recolha de resíduos, foi desenvolvido um algoritmo, descrito na secção 5, que a partir dos dados de *input* dos sensores dos ecopontos fará o planeamento das rotas para recolha de resíduos. Os dados de *input* (quantidade de resíduos nos ecopontos) servem apenas para validar o sistema proposto servindo de modelo de comparação com o sistema atual. Apenas o sistema de planeamento logístico das recolhas é alterado, mantendo-se o ambiente de resíduos depositados.

Tendo por base os dados fornecidos pela Valorsul relativamente às taxas de enchimento dos ecopontos e densidades dos resíduos recolhidos foram definidos as taxas de deposição de cada ecoponto, dentro das 4 rotas utilizadas para teste piloto.

Os dados fornecidos diziam respeito às recolhas efetuadas entre Janeiro e Junho de 2013, o que equivale a um período de 181 dias. Como foi referido no enquadramento desta dissertação, o nível de enchimento de cada ecoponto é determinado “a olho” pela equipa de recolha. Quando o responsável efetua a medição, este olha para dentro do contentor e verifica o volume, que pode variar entre 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Assim, durante esse período foi somada a percentagem total de enchimento dos ecopontos, a fim de se calcular qual a deposição volúmica por dia. Sabendo que cada contentor que compõe um ecoponto tem a capacidade para 2500L, isto é,  $2,5\text{m}^3$ , bastou multiplicar a percentagem total somada pela capacidade volúmica do contentor, dividindo em seguida por 181 dias para determinar a deposição volúmica diária média. De seguida, multiplica-se pela densidade do tipo de resíduo a recolher e determina-se a taxa média de deposição diária em kg. Em seguida segue um pequeno exemplo para os resíduos do papel:

$$\begin{aligned} \text{Taxa deposição diária (kg/dia)} &= \frac{(\% \text{ enchimento no período}) * (\text{capacidade do contentor})}{\text{dias do período}} * \text{densidade do resíduo} = \\ &= \frac{(2,75) * (2,5)}{181} * 40 = 1,52 \text{ kg/dia} \end{aligned}$$

Após a definição das taxas de deposição diárias para os três tipos de resíduos, procedeu-se ao cálculo da rota ótima a partir dos dados de *input*. O algoritmo de planeamento da rota foi escrito em linguagem Java, compilado através do compilador de Java SE Development Kit 7u55 com recurso a um processador Intel(R) Core(TM) i7-4700MQ CPU @ 2.40GHz.

### 6.2.2.1. Recolha de Vidro

Para a recolha de resíduos de vidro, a Valorsul tem à sua disposição apenas 3 veículos de recolha, com caixa aberta, volume de caixa de 20m<sup>3</sup> e capacidade para 9000kg. A partir desta informação e com base dos dados de *input* para a deposição diária de vidro, obtiveram-se os dados presentes na Tabela 15 e Tabela 16.

Tabela 15: Resultados obtidos para a recolha do vidro utilizando o algoritmo proposto

Número de Rotas Realizadas	Número Máximo de Rotas realizadas por dia	Ecopontos Recolhidos	Carga Recolhida (kg)	Distância Percorrida (km)	Distância média Percorrida por hora (km)	Tempo Total Despendido
15	1	205	127563	1623	23	70h33

Comparativamente aos dados recolhidos da situação atual de recolha de resíduos de vidro, o número total de rotas diminui de 20 para 15, tendo-se efetuado no máximo 1 rota por dia dada a dimensão da frota de veículos de recolha do vidro (3 veículos).

A carga recolhida foi, inevitavelmente, inferior à carga recolhida pelas rotas estáticas (185 toneladas *versus* 128 toneladas). Esta razão prende-se com a diminuição dos ecopontos visitados, 205 face aos 1304. No entanto, a carga média recolhida por ecoponto é agora de 622 kg/ecoponto, em comparação com 143 kg/ecoponto na situação atual. A distância percorrida para a recolha dos 205 ecopontos foi, tal como esperado, inferior tendo-se apenas visitado os ecopontos aptos para recolha, passando de 3118km para 1986km. Houve uma diminuição da distância percorrida de 48%. Considerando que a distância percorrida por hora é aproximadamente igual à obtida pela recolha de resíduos atual, isto é, 23km/hora, com a diminuição da distância percorrida, diminui também o tempo total despendido.

Como consequência dos dados apresentados na Tabela 15, resultou a Tabela 16. A partir da informação presente, verifica-se que a distância média percorrida por rota passou de 157km para apenas 108km, a carga média recolhida por rota, por imposição da capacidade do veículo

(9000kg) passou de 9429kg para 8504kg, cumprindo assim a capacidade do veículo. Face à carga média recolhida por rota, obteve-se uma taxa média de ocupação do veículo de 95%. Embora esta taxa seja inferior à da recolha atual de vidro (105%) esta, mais uma vez, deve-se ao cumprimento da capacidade máxima dos veículos utilizados.

Tabela 16: Dados médios de distância, carga e taxa de utilização do veículo por rota para o vidro

Distância Média Percorrida por rota (km)	Carga Média Recolhida por rota (kg)	Taxa Média de Utilização do Veículo por rota
108	8504	95%

A Figura 31 ilustra a otimização conseguida pela implementação do modelo proposto. A primeira imagem representa as rotas atuais no qual estão representados os 4 circuitos pré-definidos (a amarelo, azul, vermelho e verde), que foram realizados 20 vezes no período em análise. Com a aplicação do algoritmo proposto, as rotas a realizar são sempre diferentes, dependem do nível de enchimento dos ecopontos. Assim, na segunda imagem da Figura 31, estão representados 4 circuitos a realizar em 4 dias diferentes, para recolher apenas os ecopontos que nesses dias estão aptos para recolha.

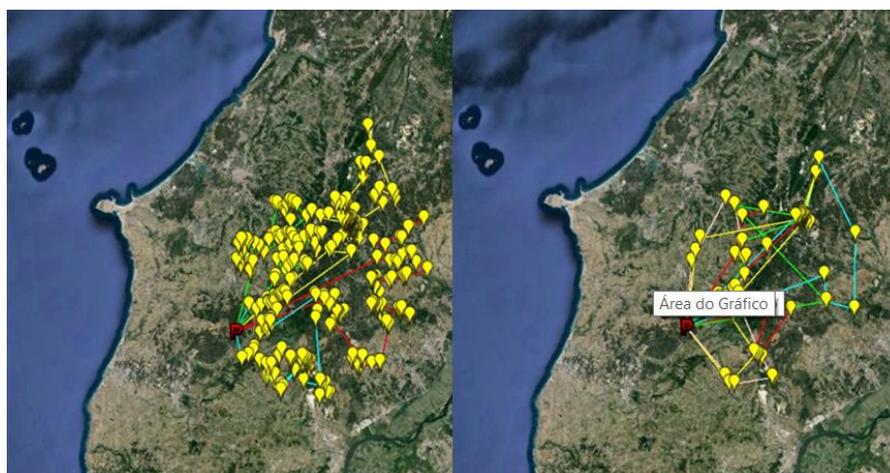


Figura 31: Rotas Atuais na zona considerada vs Exemplos de rotas obtidas pelo modelo proposto na zona considerada

### 6.2.2.2. Recolha de Papel/Cartão

A recolha de resíduos de papel/cartão é efetuada por 9 veículos, sendo que 7 têm um volume de caixa de 20m<sup>3</sup> e 2 um volume de caixa de 15m<sup>3</sup>. Dos 7 veículos, 5 deles tem uma capacidade para 5580kg, 2 para 4465kg e 2 para 13945kg de resíduos. Sabendo que a densidade do papel/cartão é de 60kg/m<sup>3</sup> e recorrendo aos dados da Tabela 7, a capacidade máxima para veículos com 20m<sup>3</sup> é de 5000kg e para veículos com 15m<sup>3</sup> é de 3750kg. Dadas as atuais taxas de deposição de resíduos de papel/cartão na área considerada, a utilização de

veículos com 15m<sup>3</sup> ultrapassaria rapidamente a carga máxima, dado o volume de caixa de armazenamento, o que impediria recolher mais ecopontos na mesma rota. Assim, considerou-se apenas o uso de veículos com 20m<sup>3</sup> de caixa, pois quanto maior for a caixa, mais resíduos se consegue colocar e mais ecopontos se consegue visitar na mesma rota.

Após aplicação do algoritmo proposto para planeamento de rotas de recolha para o papel/cartão, obteve-se os resultados presentes na Tabela 17 e Tabela 18, onde se observa otimizações significativas em diversos campos. Assim, comparativamente aos dados apresentados para a situação atual de recolha, o número de rotas de papel/cartão passou de 65 para 56, tendo-se efetuado no máximo 2 rotas num dia dada a restrição de veículos.

Tabela 17: Resultados obtidos para a recolha do papel/cartão utilizando o algoritmo proposto

<b>Número de Rotas Realizadas</b>	<b>Número Máximo de Rotas realizadas por dia</b>	<b>Ecopontos Recolhidos</b>	<b>Carga Recolhida (kg)</b>	<b>Distância Percorrida (km)</b>	<b>Distância média Percorrida por hora (km)</b>	<b>Tempo Total Despendido</b>
56	2	1647	257258	7167	23	31h39

Com a aplicação do algoritmo proposto, a Valorsul, durante o período em análise (6 meses, 181 dias), teria recolhido 1647 ecopontos de papel/cartão em vez dos 4148. A carga recolhida durante o período aumentou de 155560kg para 257258kg, devido ao aumento da carga média de resíduos recolhidos por rota. Tal como acontece no caso do vidro, considerou-se que a distância média percorrida por hora foi de 23km/hora. Como a distância total percorrida diminuiu de 9905km para 7167km (uma redução de 28%), o tempo despendido também diminuiu.

Tal como se pode verificar pela análise da Tabela 18, em 56 rotas realizadas, a distância média percorrida foi menor que a distância média percorrida na situação atual, tendo diminuído de 157km para 128km. Porém, como seria de esperar face às restrições do algoritmo proposto para a recolha de papel/cartão, a carga média no veículo subiu de 2302kg para 4594kg, aumentando assim, aproximadamente, para 92% a taxa de ocupação média do veículo.

Tabela 18: Dados médios de distância, carga e taxa de utilização do veículo por rota para o papel/cartão

<b>Distância Média Percorrida por rota (km)</b>	<b>Carga Média Recolhida por rota (kg)</b>	<b>Taxa Média de Utilização do Veículo por rota</b>
128	4594	92%

### 6.2.2.3. Recolha de Plástico/Metal

Tal como sucede na recolha do papel/cartão, a recolha de plástico/metal é efetuada por uma frota de 9 veículos, sendo que 7 possuem 20m<sup>3</sup> de caixa de armazenagem e os restantes 2 veículos uma caixa de 15m<sup>3</sup>. Contudo, dado os atuais índices de deposição de resíduos de plástico/metal, a utilização de veículos com 15m<sup>3</sup> de caixa seria contraproducente, na medida em que as caixas destes veículos seriam rapidamente ultrapassadas. Assim, considerou-se apenas o uso de veículos com 20m<sup>3</sup> de caixa, pois quanto maior for a caixa, mais resíduos se consegue colocar e mais ecopontos se consegue visitar na mesma rota.

Pela análise da Tabela 19 e Tabela 20, verificamos que o número de rotas face à recolha atual diminuiu de 72 rotas para 65 rotas, tendo-se realizado no máximo 2 rotas por dia. Comparativamente à recolha atual, o número de ecopontos recolhidos diminuiu de 4754 para 1731, o que equivale a uma diminuição de 64%. Relativamente à distância total percorrida esta sofreu uma redução, passando de 11261km para 8169km, com implementação da tecnologia e algoritmo. Considerando a carga média recolhida por rota, 2744kg, e o número de rotas realizadas, a carga total foi de 178375kg, sofrendo um aumento de 36% face aos 131240kg da recolha atual.

Tal como nas recolhas de vidro e papel/cartão, considerou-se para a recolha de plástico/metal que a distância média percorrida por hora era aproximadamente igual à das recolhas atuais. Assim, o tempo total despendido, dado o número de ecopontos visitados, diminuiu 28%.

Tabela 19: Resultados obtidos para a recolha do plástico/metal utilizando o algoritmo proposto

Número de Rotas Realizadas	Número Máximo de Rotas realizadas por dia	Ecopontos Recolhidos	Carga Recolhida (kg)	Distância Percorrida (km)	Distância média Percorrida por hora (km)	Tempo Total Despendido
65	2	1731	178375	8169	22	371h19

Perante os dados da Tabela 20, podemos afirmar que a distância média percorrida por rota diminuiu face à recolha atual, tendo passado de uma média de 159km por rota para 125km. Dadas as restrições impostas pelo algoritmo proposto, a carga média recolhida por rota aumentou de 1816kg para 2744kg, o que conduziu a uma taxa média de ocupação do veículo de 92% por rota.

Tabela 20: Dados médios de distância, carga e taxa de utilização do veículo por rota para o plástico/metal

Distância Média Percorrida por rota (km)	Carga Média Recolhida por rota (kg)	Taxa Média de Utilização do Veículo por rota
125	2744	92%

### 6.2.3. Benefícios colhidos

De acordo com os dados exibidos na secção anterior, o algoritmo proposto revelou ter um impacto bastante significativo na otimização da recolha. A Tabela 21 apresenta os principais resultados verificados durante o processo de implementação do algoritmo proposto.

Tabela 21: Principais resultados face à situação atual

Tipo de Resíduo	Número de Rotas Realizadas	Ecopontos Recolhidos	Carga Recolhida	Distância Percorrida	Taxa Média de Ocupação do veículo	Tempo Total Despendido
Vidro	-25%	-84%	-32%	-48%	-10%	-48%
Papel/Cartão	-14%	-60%	+65%	-28%	+92%	-30%
Plástico/Metal	-10%	-64%	+36%	-27%	+61%	-28%

Como se pode verificar na Tabela 21, o número de rotas realizadas diminuiu 25% para o vidro, 14% para o papel/cartão e 10% plástico/metal. Em relação aos ecopontos recolhidos, a recolha do vidro foi aquela onde existiu uma maior redução, onde o número de ecopontos recolhidos no mesmo período (6 meses) reduziu cerca de 84%. Para a recolha do papel/cartão e plástico/metal a redução do número de visitas foi de 60% e 64%, respetivamente.

Em relação à carga recolhida, apenas o vidro viu a carga de resíduos ser reduzida em 32%. O papel/cartão viu a sua carga recolhida aumentar 64% e o plástico/metal 36%. Estes aumentos devem-se, conforme foi referido na secção anterior, ao facto de a carga média recolhida por rota ter aumentado, isto é, os veículos passaram a ter uma taxa de ocupação bastante superior à da situação atual. Já a diminuição da carga no vidro deve-se à redução do número de ecopontos recolhidos bem como a diminuição da taxa de ocupação do veículo (passou de 105% para 95%).

A distância percorrida foi também reduzida, tendo sido reduzida 48% para o vidro, 28% para o papel/cartão e 27% para o plástico/metal. Por consequência desta diminuição, o tempo total despendido por rota foi também diminuído. O tempo despendido na recolha do vidro foi reduzido 48%, 30% na recolha do papel/cartão e 28% na recolha do plástico/metal.

Em suma, a implementação da tecnologia de monitorização de ecopontos e respetivo algoritmo de planeamento de rotas constitui uma mais-valia, na medida em que otimizou as rotas de recolha, diminuindo número de rotas de recolha, o número de ecopontos recolhidos, a distância percorrida por rota e, conseqüentemente, o tempo gasto em viagens, e aumentou a carga recolhida.

### 6.2.4. Análise da Viabilidade Económica do Investimento

Após apresentação das tecnologias para monitorização da taxa de enchimento dos ecopontos e dos benefícios obtidos, deverá proceder-se a uma análise da viabilidade económica deste projeto. Tal foi referido acima, poderá optar-se por um sistema atualmente disponibilizado pela empresa Enevo ou construir um sistema de raiz e que seria gerido na íntegra pela Valorsul.

De acordo com informações disponibilizadas pela Valorsul, o custo atual por quilómetro percorrido foi estimado em 1€/km e inclui combustível, manutenção do veículo, pneus e remuneração dos condutores. Face aos dados apresentados ao longo desta seção, a poupança de quilómetros obtida pela implementação do modelo proposto é apresentada na Tabela 22.

Tabela 22: Otimização da distância (km) percorrida pela implementação do modelo proposto

Tipo de Material	Situação Atual (km)	Situação Proposta (km)	Poupança Adquirida (km)
<b>Vidro</b>	3118	1623	1495
<b>Papel/Cartão</b>	9905	7167	2738
<b>Plástico/Metal</b>	11261	8169	3092
<b>Total</b>	24284	16959	7325

Sabendo que o custo por quilómetro percorrido tem um custo de 1€, a poupança adquirida dentro de um período de 6 meses é de 1.495€ na recolha do vidro, 2.738€ na recolha do papel/cartão e 3.092€ na recolha do plástico/metálico, perfazendo um total de 7.325€ no conjunto. Assim, num ano de atividade, e apenas considerando a área do teste piloto, o modelo proposto permite à Valorsul poupar  $7.325€ \times 2 = 14.650€$ .

Em relação ao sistema Enevo, o cliente paga uma mensalidade por cada sensor colocado, sendo o custo dependente dos anos de contrato, bem como no número de ecopontos a sinalizar. O contrato máximo possível é de 10 anos. De acordo com as informações disponibilizadas pela empresa Enevo, para um contrato de 3, 5 e 7 anos, o custo, para um teste piloto na área considerada nesta dissertação com 928 contentores, sendo 315 de vidro, 307 de papel/cartão e 306 de plástico/metálico, seria de 17€, 15€ e 13€ mensais, respetivamente, por sensor colocado. A Tabela 23 demonstra a viabilidade do projeto nos anos considerados.

Tabela 23: Análise de Investimento no sistema Enevo ONe Collect

Anos de contrato	Custo anual do sistema	Poupança anual	Retorno anual	Situação
3	189312€	14650€	-174662€	Prejuízo
5	167040€	14650€	-152390€	Prejuízo
7	144768€	14650€	-130118€	Prejuízo

Como se pode verificar, dada a poupança anual adquirida pela Valorsul, o custo de um sistema Enevo nos anos considerados é prejudicial, pois não existe retorno dentro do tempo de contrato. Para haver retorno, seria necessário obter uma poupança anual superior ao custo anual do sistema, o que nunca se verifica.

Dado que os ecopontos da rede considerada se encontram em zonas de baixa densidade populacional e por isso a periodicidade de recolha é menor que em zonas com elevada densidade populacional, a poupança adquirida será tanto menor quanto menor for o distanciamento temporal entre recolhas.

Se se considerar a implementação de um sistema *low-cost* para monitorização de ecopontos, construído de raiz e gerido pela própria Valorsul, os seus custos serão bastante reduzidos pois a responsabilidade passa para a empresa.

Assim, considerando o sistema proposto por Davide (2012), este seria composto por um conjunto de 4 sensores ultrassom (Sensor HC-SR04), uma placa Arduino (Arduino Uno Rev3), um modem GSM (Cellular Shield with SM5100B), uma antena (Quad-band Cellular Duck Antenna SMA) e uma bateria de lítio recarregável por alimentação fotovoltaica, por contentor. Na Tabela 24 segue o custo médio total do equipamento, segundo informações da empresa Sparkfun, Ebay e Deal Extreme.

Tabela 24: Custo equipamento do sistema de Davide (2012)

	Sensores ultrassom	Placa Arduino	Modem GSM	Antena	Bateria	Total
<b>Custo</b>	2€×4	17,3€	58€	4,5€	3,6€	91,4€

Como a rede de ecopontos perfaz um total de 928 contentores então o custo total seria de  $91,4€ \times 928 = 84819,2 €$ .

Contudo, é necessário também investir num pequeno equipamento servidor para gestão e tratamento da informação disponibilizada pelos sensores. De acordo com a ASA Computers Inc., um servidor ASA1136-A1D-S2-S 1U Short Depth Mini Server terá a capacidade suficiente para assumir esta responsabilidade. Este servidor tem a vantagem de ocupar um

espaço bastante reduzido (83 mm × 44 mm × 450 mm) e de ser facilmente integrado na rede da Valorsul. O custo do servidor seria de 600€ e do *software* de 200€.

Tendo em conta os custos totais associados ao projeto (91,4€ × 928 ecopontos + 800€ servidor + *software* = 85619,2€) procedeu-se a uma análise de investimento. Para a análise foram criados dois cenários de projeto de investimento. O primeiro baseia-se num projeto com a duração de 10 anos em que de 3 em 3 anos se reinveste um pequeno valor tendo em conta a necessidade de *upgrades* no servidor e a recompra de 5% dos sensores devido a danos. O segundo cenário baseia-se na situação ótima na qual não é necessário investir, adicionalmente, qualquer valor. Ambos os cenários representam projetos com 10 anos de duração.

A equipa responsável por gerir todo o sistema é a mesma responsável por gerir o atual sistema de previsões e planeamento de rotas de recolha de resíduos da Valorsul, não sendo necessária a contratação de recursos humanos adicionais. Para cálculo do VAL e do *Payback Period* foi considerado uma taxa de atualização de 5%. O Anexo C apresenta detalhadamente a tabela de *cash-flows*.

Relativamente ao primeiro cenário este apresenta um VAL = 5.072,49€, o que indica que se deve aceitar o projeto pois este permite recuperar o investimento realizado e ainda gerar um excedente de 5.072,49€. A taxa interna de rendibilidade é de 6%, superior a taxa de atualização, o que reforça a aceitação do projeto. De acordo com os *cash-flows* gerados ao longo da vida útil do projeto é possível recuperar o investimento realizado em 9 anos e 3 meses (*Payback Period*).

O segundo cenário, no qual não se realiza qualquer reinvestimento ao longo dos 10 anos de duração do projeto, apresenta um VAL = 15.308,57€, o que indica que se deve aceitar o projeto pois este permite recuperar o investimento realizado e ainda gerar um excedente de 15.308,57€ no fim dos 10 anos. De acordo com os *cash-flows* gerados, a taxa de atualização para a qual o VAL = 0 é de 9%. Como TIR = 9% > 5%, então o projeto deve ser aceite. O *Payback Period* do projeto é de 7 anos e 9 meses.

Assim, como se demonstra pelas tabelas apresentadas no Anexo C, ambos os cenários de investimento apresentam indícios de viabilidade. O cenário mais realista é o primeiro cenário visto que os equipamentos informáticos e eletrónicos apresentam sempre algum desgaste e baixa *performance* com o passar dos anos, sendo por isso necessário a sua reparação ou substituição. Contudo, numa situação ótima é possível que estes não venham a apresentar

qualquer dano ou indícios de baixa *performance* durante a vida útil do projeto, tendo sido, por isso, considerado este cenário.

O investimento por contentor no sistema Davide (2012) é de 91,4€, custo que seria rapidamente ultrapassado em poucos meses no sistema Enevo. Para a mensalidade de 17€/mês por ecoponto seriam necessários apenas  $91,4/17 = 6$  meses para que o sistema Enevo ultrapassasse o custo unitário de sensores por ecoponto do sistema de Davide (2012). Para as mensalidades de 15€/mês e 13€/mês por ecoponto seriam necessários  $91,4/15 = 7$  meses e  $91,4/13 = 8$  meses, respetivamente.

Desta forma, podemos concluir que, dada a atual poupança gerada, a recolha de resíduos em zonas de baixa densidade populacional deverá ser monitorizada recorrendo a um sistema *low-cost* que, de acordo com Davide (2012), demonstra ser capaz de cumprir os requisitos propostos.

## **7. Conclusões e Investigação Futura**

### **7.1. Síntese e conclusões**

Nesta dissertação foi estudada a implementação de um sistema tecnológico para monitorização do nível de enchimento de uma rede de ecopontos. O sistema proposto consiste num conjunto de sensores ultrassom, responsáveis pela medição em tempo real da taxa de deposição nos ecopontos da rede. Após cada medição, os sensores comunicam via rede GSM/GPRS com a central de operações, que fará o registo das medições.

Foi ainda desenvolvido um modelo que visa a definição de rotas para recolha de resíduos. O modelo desenvolvido analisa os dados enviados pelos ecopontos relativamente ao seu nível de enchimento e averigua se é possível construir uma rota para recolher os ecopontos com mais de 75% de taxa de enchimento. O modelo construído baseia-se no problema TOP e visa recolher, numa rede de ecopontos, apenas os ecopontos considerados aptos para recolha, tendo em conta um conjunto de restrições. De acordo com o algoritmo desenvolvido, uma rota só é válida caso a distância total percorrida seja adequada ao número de horas do turno de cada condutor, existam veículos disponíveis para realizar a rota nesse dia e a taxa de ocupação do veículo seja superior a 85%. É considerado um horizonte temporal  $T$ , em que os ecopontos que não estão aptos para a recolha no dia  $D$  não são considerados a entrar na rota do dia  $D$ . No entanto, considerando que diariamente é depositada alguma quantidade de resíduos nos ecopontos, no dia  $D+n$  pertencente a  $T$  irão ficar aptos para a recolha e aí serão incluídos numa rota.

Como se verificou durante o estudo, o planeamento das rotas de recolha atuais da Valorsul mostrou ser bastante ineficiente. A situação atual de recolha recorria a rotas estáticas para a recolha de resíduos. Apesar de não visitar todos os ecopontos das rotas por sugestão do *software* de previsão, que integra a gestão de rotas da empresa, o número de ecopontos com níveis de enchimento abaixo de 75% demonstrou ser bastante elevado. Neste âmbito, foi sugerido um sistema tecnológico para gestão e planeamento das rotas. O sistema, depois de descrito, foi simulado tendo em conta os dados de deposição diária dos ecopontos para os três tipos de resíduos. Os resultados foram bastante significativos, tendo-se otimizado o número de rotas de recolha totais efetuadas, a distância total percorrida, o número de ecopontos visitados, a carga recolhida e as horas despendidas.

O sistema demonstrou ser um peça importante a investir no futuro e por isso procurou-se fazer uma análise de investimento tendo em conta dois sistemas presentes no mercado:

sistema Enevo e sistema *low-cost* proposto por Davide (2012). O sistema Enevo, apesar de ser bastante acolhedor e conhecido no mercado das tecnologias de informação para logística inversa, revelou, face às otimizações adquiridas pelo modelo desenvolvido, não ser atrativo economicamente para a Valorsul. Dado que o número de recolhas atuais para o modelo estático já estava maximizado para recolhas em zonas de baixa densidade populacional, a única forma de conseguir cumprir com os custos dos sensores Enevo seria em zonas onde a periodicidade de recolha fosse maior - zonas de elevada densidade populacional. Assim, as poupanças estimadas não conseguem fazer frente aos custos inerentes ao sistema da Enevo.

Por outro lado, o sistema *low-cost* construído por Davide (2012) mostrou ser uma mais-valia para a Valorsul. Face às poupanças conseguidas, entre 7 e 10 anos o investimento neste sistema era recuperável. A diferença entre o sistema Enevo e o sistema proposto por Davide (2012) residia na gestão da informação. O sistema Enevo alugava os sensores através de um contrato temporal, vendendo apenas a informação disponibilizada. O sistema de Davide (2012) passava a responsabilidade da gestão das informações dos sensores para a própria Valorsul.

Contudo, apesar do investimento no sistema de Davide (2012) ser recuperável, este pode ser considerado um mau negócio. O mundo das tecnologias está em constante mudança, surgindo todos os anos tecnologias novas ou mais eficientes que as atuais, e por isso o investimento no sistema em questão seria sempre um risco. Apesar disso, é de notar que o preço dos combustíveis tem vindo, nos últimos anos, a atingir patamares históricos devido às elevadas flutuações do preço do barril de petróleo. Assim, será de esperar que dentro de 8 anos o preço do combustível atinja níveis tão elevados que façam diminuir o número de anos para o retorno do investimento. Por conseguinte o risco de obsolescência é facilmente ultrapassado.

Em suma, após um exaustivo estudo de tecnologias de informação e comunicação com aplicações à gestão de resíduos e definição de modelos de planeamento de rotas de recolha de resíduos, a proposta de solução para o problema em estudo foi validada. Porém a solução apresentada não é perfeita e por isso é suscetível a pequenos melhoramentos que podem elevar ainda mais as percentagens de otimização.

## **7.2. Investigação Futura**

Dado o atual avanço tecnológico, a grande maioria das empresas já possui um computador com capacidade de processamento suficiente para processar as soluções do modelo proposto. Apesar disto, qualquer modelo de otimização de rotas não é perfeito e por isso está sujeito a

melhorias. O modelo proposto segue o mesmo caminho. Este foi desenhado para ler as informações transmitidas pelos sensores dos ecopontos e com base nessa informação planear uma rota ou um conjunto de rotas de recolha para um determinado dia. Apesar de ser bastante rápido e facilmente adaptável a uma rede de milhares de ecopontos, este está sujeito à velocidade de processamento dos computadores onde é utilizado. Uma das oportunidades de melhoria está na forma como o algoritmo deverá tratar um conjunto de ecopontos considerados aptos para recolha e que respeitam a ordem de peso mínimo. No modelo proposto, quando o algoritmo não consegue desenhar uma rota de recolha a partir de um ecoponto sinalizado, este procura na lista o ecoponto seguinte e tenta desenhar uma rota a partir dele. Caso a lista englobe milhares de ecopontos, o algoritmo demora muito tempo a apresentar uma solução de rota. A aplicação de uma otimização neste conjunto de instruções traria grandes proveitos ao modelo.

Tendo em conta que o teste piloto foi aplicado nos municípios de Alcobaça, Alenquer, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha e Rio Maior, abrangendo zonas de baixa densidade populacional com rotas atuais de periodicidade elevada, será relevante fazer um caso de estudo que englobe todos os municípios da região da Valorsul e verificar as poupanças obtidas com a aplicação do sistema proposto.

Contudo, apesar do sistema ter demonstrado ser bastante otimizador, os custos de investimento neste são ainda bastante elevados, dado que se propõe inserir sensores em todos os ecopontos da área de intervenção. No sentido de minimizar os custos de investimento, um tema que se propõe é de investigar em que circunstâncias valeria a pena colocar sensores em todos os ecopontos. Para isso, devem ser definidos os critérios de colocação fazendo um pequeno estudo sobre a periodicidade das rotas e as flutuações das taxas atuais de enchimento. Desta forma conseguir-se-ia conjugar o atual sistema de medição do nível de enchimento com o sistema de tempo real.

Para a construção de rotas foi ainda utilizado o algoritmo de Clarke e Wright (1964) devido à sua confiança e simplicidade de aplicação. Apesar de este algoritmo apresentar algumas desvantagens durante a construção da rota, o modelo proposto conseguiu colmatar algumas delas pela introdução de pequenos melhoramentos. Contudo, a incorporação de outro algoritmo mais sofisticado poderia melhorar ainda mais as soluções encontradas e, assim, otimizar as rotas de recolha, reduzindo a distância total percorrida.

Como foi referido no início desta dissertação, os custos atuais da atividade de logística inversa são extremamente elevados e por isso esta área tem sido alvo de constantes mudanças ao longo dos anos. Ao contrário de outros países, o povo português tem demonstrado ser pouco acolhedor da separação de resíduos. Enquanto que em Portugal existem apenas 3 tipos de resíduos de embalagens separados, na Alemanha, por exemplo, chega-se a separar mais de 7 tipos de resíduos. Seria, então, do interesse nacional estudar a aplicação de um sistema de educação social conhecido como Pay As You Throw (PAYT), no qual os cidadãos são incentivados a decidir o destino dos seus resíduos através de uma pequena tarifa a pagar a entidade gestora da recolha. Cada utilizador escolhe o tamanho do contentor requerido, a frequência de recolha, quantidade de sacos que irá utilizar. Os seus comportamentos cívicos refletem-se na tarifa a pagar.

## 8. Bibliografia

- Amaral, J. P. L. 2008. *Desenvolvimento de um compactador de lixo doméstico*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica.
- APA. 2011. *Plano nacional de gestão de resíduos 2011-2020*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. 2012. *REA 2012 Portugal – relatório de estado do ambiente*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Arduino. *Arduino uno rev3*. 2014. Disponível em: [http://store.arduino.cc/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=195](http://store.arduino.cc/index.php?main_page=product_info&products_id=195) (último acesso a 20 Março de 2014).
- Arebey, M., Hannan, M. A., Basri, H., Begum, R. A. & Abdullah, H. 2010. *Solid waste monitoring system integration based on RFID, GPS and camera*. Published at Intelligent and Advanced Systems International Conference during June 2010.
- Arebey, M., Hannan, M. A., Basri, H., Begum, R. A. & Abdullah, H. 2011. Integrated technologies for solid waste bin monitoring system. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177: 399-408.
- Beliën, J., Boeck, L. & Ackere, J. V. 2014. Municipal solid waste collection problems: A Literature Review, *Transportation Science*, 48(1): 78-102.
- Beltrami, E. J. & Bodin, L. D. 1974. Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks*, 4(1): 65-94.
- Bertsimas, D. J., Jaillet, P. & Odoni, A. R. 1990. A priori optimization, *Operations Research*, 38(6): 1019-1033.
- Bertsimas, D. J. 1991. A vehicle routing problem with stochastic demand. *Operations Research*, 40: 574-585.
- Big Belly. *City of Philadelphia. 2010*. Disponível em: [http://www.philadelphiacontroller.org/publications/other%20reports/BigBellyReport\\_7-12-10.pdf](http://www.philadelphiacontroller.org/publications/other%20reports/BigBellyReport_7-12-10.pdf) (último acesso a 10 Janeiro de 2014).
- Big Belly Solar. *Solar-powered waste & recycling stations*. 2014. Disponível em: [https://www.gsaadvantage.gov/ref\\_text/GS07F0177V/0KQCU7.2HIDQ7\\_GS-07F-0177V\\_BBSCATALOG2012JUN.PDF](https://www.gsaadvantage.gov/ref_text/GS07F0177V/0KQCU7.2HIDQ7_GS-07F-0177V_BBSCATALOG2012JUN.PDF) (último acesso a 10 Janeiro de 2014).
- Bouly, H., Dang, D. C. & Moukrim, A. 2010. A genetic algorithm for the team orienteering problem. *40R: A Quarterly Journal of Operations Research*, 8: 49-70.
- Brandao, J. 2009. A deterministic tabu search algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 195: 716-728.
- Buhrkal, K., Larsen, A. & Ropke, S. 2012. The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 39: 241-254.
- Campbell A. M. & Gendreau, M. 2011. The orienteering problem with stochastic traveled and service times. *Annals of Operations Research*, 186: 61-81.

- Carvalho, J. 2011. *Custos de sistemas de gestão de resíduos urbanos*. Projeto de Investigação no. PTDC/AUR/64086/2006, Universidade de Aveiro.
- Carvalho, J. C., Guedes, A., Arantes, A., Ferreira, L., Carvalho, M., Ramos, T., Martins, A., Luis, C., Azevedo, S., Oliveira, R., Povia, A., Dias, E. B., Dias, J. & Menezes, J. 2010. Gestão dos Transportes na Gestão da Cadeira de Abastecimento, *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*: 193-225. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Chalkias, C., & Lasaridi, K. 2009. A GIS based model for the optimisation of municipal solid waste collection: the case study of Nikea, Athens, Greece”. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 10: 640-650.
- Chao, I. M., Golden, B. L. & Wasil, E. A. 1996. The team orienteering problem. *European Journal of Operational Research*, 88: 464-474.
- Christofides, N. & Eilon, S. 1969. Expected distances in distribution problems. *Operational Research Quarterly*, 20(4): 437-443.
- Clarke, G. & Wright, J.W. 1964. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, 12: 568-581.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M. & Laporte, G. 1997. A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, 30: 105-119.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y. & Semet, F. 2002. A guide to vehicle routing heuristics. *The Journal of Operational Research Society*, 53: 512-522.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Savelsbergh, M. & Vigo, D. 2007. Vehicle routing. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 14: 367-428.
- Davide, P. M. M. 2012. *Sistema de gestão para a recolha de material reciclável*. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.
- DealExtreme. *HC-SR04 ultrasonic sensor*. Disponível em: <http://www.dx.com/pt/p/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-measuring-module-133696#.Uz9EcVeaRSo> (último acesso a 20 Março de 2014).
- Dror, M. 2005. Vehicle routing with stochastic demands: Models & computational methods. *Modeling Uncertainty: International Series in Operations Research & Management Science*, 46: 625-649.
- Ebay. *Solar USB AC power portable charger*. 2014. Disponível em: <http://www.ebay.com/itm/Solar-USB-AC-Power-Portable-Charger-for-Cell-Phone-PDA-/281315014489> (último acesso a 20 Março de 2014).
- EGF. *Plano de prevenção de resíduos urbanos*. 2010. Disponível em: <http://www.egf.pt/files/400.pdf> (último acesso 22 Dezembro de 2013).
- ENVAC. Disponível em: <http://www.envacgroup.com/> (ultimo acesso em 20 Dezembro de 2013).
- ENVAC. *Brasil deve ter lixo subterrâneo em 2012*. 2011. Disponível em: <http://www.aemflo-cdlsj.org.br/noticias/detalhe/2163> (último acesso a 10 Janeiro de 2014).

- UE. *Being wise with waste: the EU's approach to waste management*. 2010. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE%20BROCHURE.pdf> (último acesso a 20 Dezembro de 2013).
- UE. *Resíduos – uma via para criação de emprego e redução de custos*. 2012. Disponível em: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-12-18\\_pt.htm?locale=FR](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-18_pt.htm?locale=FR) (último acesso a 10 Novembro de 2013).
- Erdogan, G. & Laporte, G. 2013. The orienteering problem with variable profit. *Networks*, 61 (2): 104-116.
- Faccio, M., Persona, A. & Zanin, G. Waste collection multi objective with real time traceability data. *Waste Collection*, 31: 2391-2405.
- Francis, P., Smilowitz, K. & Tzur, M. 2006. The period vehicle routing problem with service choice. *Transportation Science*, 40: 439-454.
- Gendreau, M., Laporte G. & Séguin, R. 1996. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers. *Operations Research*, 44(3): 469–477.
- Golden, B., Raghavan, S. & Wasil, E. 2008. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer Science + Business Media, LLC.
- Gomes, M. R. V. 2008. *Contribuição para a gestão sustentável de resíduos sólidos na região centro*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente.
- Hannan, M. A., Arebey, M., Begum, R. A. & Basri, H. 2011. Radio frequency identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck monitoring system. *Waste Management*, 31 (12): 2406-2413.
- Hannan, M. A., Arebey, M., Begum, R. A. & Basri, H. 2012. An automated solid waste bin level detection system using a gray level auro matrix. *Waste Management*, 32: 2229-2238
- Hu, Q. & Lim, A. 2014. An iterative three-component heuristic for the team orienteering problem with time windows. *European Journal of Operational Research*. 232: 276-286.
- Huang, Y. T., Pan, T. C. & Kao, J. J. 2011. Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. *Journal of Environmental Management*, 92: 1277-1283.
- Islam, S., Arebey, M., Hannan, M. A. & Basri, H. 2012. *Overview for solid waste bin monitoring and collection system*. Paper presented at 2012 International Conference on Innovation, Management and Technology Research, Malacca, Malaysia: 21<sup>th</sup> - 22<sup>th</sup> May, 2012.
- Johansson, O. M. 2006. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. *Waste Management*, 26: 875-885.
- Kang, K.H., Lee, B.K., Lee, Y.H. & Lee, Y.H. 2008. A heuristic for the vehicle routing problem with due times. *Computers & Industrial Engineering*, 54: 421–431.
- Kim, B. I., Kim, S. & Sahoo, S. 2006. Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 33: 3624-3642.
- Kulcar, T. 1996. Optimizing solid waste collection in Brussels. *European Journal of Operational Research*, 90: 71-77.

- Laporte, G. 1992. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59: 345-358.
- Liu, S., Huang, W. & Ma, H. 2009. An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45: 434-445.
- Lopes, M. V. S. 2008. *Contribuição para um modelo de gestão sustentável de resíduos urbanos a nível municipal*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente.
- McLeod & F. Cherrett, T. 2008. Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies. *Waste Management*, 28: 2271-2278.
- Muyldermans, L. & Pang, G. 2010. On the benefits of co-collection: Experiments with a multi-compartment vehicle routing algorithm. *European Journal of Operational Research*, 206: 93-103.
- Nagy, G. & Salhi, S. 2005. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162: 126-141.
- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H., & Bräysy, O. 2006. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications*, 30 (2): 223-232.
- Oliveira, J. A., Mota, G., Ferreira, J., Figueiredo, M., Dias, L. & Pereira, G. 2013. *A decision support system for waste collection modeled as TOPTW variant*. Paper presented at Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, 2<sup>nd</sup> International Conference during September 11<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup>, 2013.
- Pavone, M., Bisnik, N., Frazzooli, E. & Isler, V. 2009. A stochastic and dynamic vehicle routing problem with time windows and customer impatience. *Mobile Networks and Applications*, 14: 350-364.
- Pichpibula, T. & Kawtummachaib, R. 2012. An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia*, 38: 307-318.
- Pires, A., Martinho, G. & Chang, N. B. 2011. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92: 1033-1050.
- Pisinger, D. & Ropke, S. 2007. A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34: 2403-2435.
- Psaraftis, H.N. 1995. Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61: 143-164.
- PWC. *IRC: Taxas de IRC*. 2014. Disponível em: <http://www.pwc.pt/pt/guia-fiscal/2014/irc/taxas-gerais.jhtml> (último acesso a 1 Abril de 2014)
- PWC. *IRC: Taxas de depreciação e de amortização fiscal*. 2014. Disponível em: <http://www.pwc.pt/pt/guia-fiscal/2014/irc/taxas-depreciacao-amortizacao-fiscais.jhtml> (último acesso a 1 Abril de 2014)

- Rada, E. C., Ragazzi, M. & Fedrizzi, P. 2013. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management* 33: 785-792.
- Ramos, T. & Oliveira, R. C. 2011. Delimitation of service areas in reverse logistics network with multiple depots. *Journal of the Operational Research Society*, 62: 1198-1210.
- Rovetta, A., Fan, X., Vicentini, F., Zhu, M., Giusti, A. & He, Q. 2009. Early detection and evaluation of waste through sensorized containers for a collection monitoring application. *Waste Management*, 29: 2939-2949.
- Salhi, S. & Sari, M. 1997. A multi-level composite heuristic for the multi-depot vehicle fleet mix problem. *European Journal of Operational Research*, 103: 95-112.
- Secomandi, N., Margot, F. 2009. Reoptimization approaches for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 57(1): 214-230.
- Simchi-Levy, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levy, E. 2008. *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies*. McGraw-Hill International Editions.
- Shamshiry, E., Nadi, B., Mokhtar, M. B., Komoo, I., Hashim, H. S. & Yahaya, N. 2011. Integrated models for solid waste management in tourism regions: Langkawi Island, Malaysia, *Journal of Environmental and Public Health*, 2011: 1-5.
- Sparkfun. *Arduino uno – r3*. 2014. <https://www.sparkfun.com/products/11021> (último acesso a 20 Março de 2014).
- Sparkfun. *Cellular shield with sm5100b*. 2014. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/products/9607> (último acesso a 20 Março de 2014).
- Sparkfun. *Qual-band cellular duck antenna sma*. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/products/675> (último acesso a 20 Março de 2014).
- SPV. Disponível em <http://www.pontoverde.pt> (último acesso a 30 Janeiro de 2014).
- SPV. 2012. *SMAUT – Caracterização dos sistemas municipais aderentes ao sistema ponto verde*. Sociedade Ponto Verde.
- Tillman, F. 1969. The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands. *Transportation Science*, 3:192–204.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. 1993. *Integrated solid waste management engineering principles and management issues*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V. & Carvalho, M. G. 2009. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29: 1176-1185.
- Teixeira, J., Antunes, A. & Sousa, J. 2004. Recyclable waste collection planning – a case study. *European Journal of Operational Research*, 158: 543-554.
- Thomas, V. 2009. A universal code for environmental management of products. *Resources, Conservation and Recycling*, 53 (7), 400-408.
- Tung, D. V. & Pinnoi, A. 2000. Vehicle routing-scheduling for waste collection in Hanoi. *European Journal of Operational Research*, 125: 449-468.
- Valorsul. Disponível em: <http://www.valorsul.pt/pt> (último acesso a 2 Março de 2014).

Valorsul. 2010. *Relatório de sustentabilidade 2010*. Valorsul, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos nas Regiões de Lisboa e Oeste, S. A.

Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Oudheusden, D. V. 2011. The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209: 1-10.

Vega, R. G., Sanz, J. M., Palero, M. R. & Fernandez, J. T. 2012. *Optimization of recyclable waste collection using real-time information*. Paper presented at 6<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management in Vigo, Spain, 18<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> July, 2012.

Vicentini, F., Giusti, A., Roveetta, A., Fan, X., He, Q., Zhu, M., & Liu, B. 2009. Sensorized waste collection container for content estimation and collection optimization. *Waste Collection*, 29:1467-1472.

Williams, E., Kahhat, R., Allenby, B., Kavazanjian, E., Kim, J., Xu, M. 2008. Environmental, social and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. *Environmental Science and Technology*, 42 (17), 6446-6454.

Zhang D. Q., Tan, S. K. & Gersberg, R. M. 2010. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. *Journal of Environmental Management*, 91: 1623-1633.

Zsigraiova, Z., Semiao, V. & Beijoco, F. 013. Operation cost and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. *Waste Management*, 33: 793-806.

## Anexo A

Neste anexo encontra-se o pseudo-código do algoritmo para a definição de rotas TOP proposto no capítulo 5.

Dados e Parâmetros
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Dia analisado, D</li><li>▪ Quantidade de resíduos a recolher, <math>Q_t</math></li><li>▪ Capacidade do veículo, <math>C_v</math></li><li>▪ Matriz Poupança Inicial, <math>MT_{p\text{inicial}}</math></li><li>▪ Matriz Poupança de teste, <math>MT_{p\text{deteste}}</math></li><li>▪ Veículos disponíveis, V</li><li>▪ Distância da rota, <math>D_r</math></li><li>▪ Carga transportada na rota, <math>C_r</math></li></ul>
Resultado
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Lista de rotas a efetuar no dia D. Cada rota possui a seguinte informação:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Sequência de visita dos ecopontos</li><li>○ Número de ecopontos</li><li>○ Quantidade de resíduos a recolher</li><li>○ Distância a percorrer</li><li>○ Tempo do percurso</li></ul></li></ul>
Algoritmo
<ol style="list-style-type: none"><li>1. <math>D=1</math></li><li>2. Determina o nível de enchimento dos ecopontos a partir das informações dos sensores e lista todos aqueles considerados aptos para recolha</li><li>3. Determina a quantidade de resíduos total da lista de ecopontos a recolher (<math>Q_t</math>)</li><li>4. Se <math>Q_t &gt; C_v * 85\%</math>, então:<ol style="list-style-type: none"><li>a. Calcula a matriz poupança (<math>MT_{p\text{inicial}}</math>)</li><li>b. Ordena matriz poupança por ordem decrescente de poupança</li><li>c. Ordena matriz poupança por prioridade de pares</li><li>d. Cria <math>MT_{p\text{deteste}} = MT_{p\text{inicial}}</math></li><li>e. Iteracao=0, <math>i=0</math></li><li>f. Se dimensão da <math>MT_{p\text{deteste}} \neq 0</math>, <math>MT_{p\text{deteste}}</math> foi alterada, <math>Q_t &gt; C_v * 85\%</math> e <math>V &gt; 0</math>, então:<ol style="list-style-type: none"><li>i. <math>i</math>=iteração</li><li>ii. Seleciona par <math>i</math> de <math>MT_{p\text{deteste}}</math></li><li>iii. Se par <math>i</math> for compatível com a rota, então:<ol style="list-style-type: none"><li>1. Inclui par <math>i</math> na rota provisoriamente</li><li>2. Se <math>D_r &lt; 150</math> e <math>C_r &lt; C_v</math>, então:<ol style="list-style-type: none"><li>a. Adiciona par <math>i</math> à rota final</li><li>b. Elimina par <math>i</math> de <math>MT_{p\text{deteste}}</math></li><li>c. Procura em <math>MT_{p\text{deteste}}</math> os pares cujos ecopontos já estão na rota e os pares que possuem um ecoponto na rota e o outro incompatível (ligações com outros ecopontos já completas). Elimina todos os pares encontrados nas condições acima</li><li>d. Recalcula <math>Q_t</math></li><li>e. <math>i=0</math> e executa passo 5-e</li></ol></li><li>3. Senão:</li></ol></li></ol></li></ol></li></ol>

- a. Elimina par  $i$  de  $MT_{pdeteste}$
  - b. Procura em  $MT_{pdeteste}$  os pares cujos ecopontos já estão na rota e os pares que possuem um ecoponto na rota e o outro incompatível (ligações com outros ecopontos já completas). Elimina todos os pares encontrados nas condições acima
  - c. Retira par  $i$  da rota
  - d. Executa passo 5-f
- iv. Senão:
- 1. Ignora par  $i$
  - 2. Incrementa  $i$  uma unidade,  $i=i+1$
  - 3. Executa passo 5-e
- g. Se  $Q_r > C_v * 85\%$  e  $D_r < 150$ , então:
- i. Adiciona rota a  $L_r$
  - ii.  $V=V-1$
  - iii. Recalcula  $Q_t$
  - iv. Executa passo 5-e com a última  $MT_{pdeteste}$
- h. Senão:
- i.  $MT_{pdeteste} = MT_{pinicial}$
  - ii.  $iteracao = iteracao+1$
  - iii. Executa passo 5-e
5. Senão:
- a. Passa ao dia seguinte,  $D=D+1$
  - b. Executa passo 2

## Anexo B

Listagem das operações de recolha entre Janeiro e Junho de 2013 na área de intervenção seleccionada.

Circuito e Tipo de Material	Data da Operação	Carga Recolhida	Distância Percorrida	Tempo Despendido
Circuito 03 - Embalagem	02/01/2013	2640	138	7h18m
Circuito 11 - Embalagem	03/01/2013	2240	156	6h40m
Circuito 13 - Papel	03/01/2013	2740	171	6h51m
Circuito 06 - Embalagem	04/01/2013	1940	193	7h17m
Circuito 06 - Vidro	07/01/2013	9620	149	6h52m
Circuito 13 - Embalagem	08/01/2013	1700	172	6h33m
Circuito 11 - Papel	09/01/2013	1820	141	6h42m
Circuito 03 - Papel	09/01/2013	2040	142	6h39m
Circuito 13 - Papel	10/01/2013	2480	133	6h35m
Circuito 06 - Papel	10/01/2013	1240	220	6h58m
Circuito 03 - Embalagem	11/01/2013	1080	119	7h38m
Circuito 11 - Embalagem	14/01/2013	1600	171	8h02m
Circuito 13 - Vidro	15/01/2013	9400	150	7h07m
Circuito 13 - Embalagem	15/01/2013	1740	193	8h56m
Circuito 06 - Embalagem	16/01/2013	1480	182	7h07m
Novo Circuito 13 - Papel	17/01/2013	2820	127	8h23m
Circuito 11 - Vidro	21/01/2013	9280	158	7h55m
Novo Circuito 11 - Papel	21/01/2013	2380	147	6h45m
Novo Circuito 03 - Papel	21/01/2013	2280	145	7h10m
Circuito 03 - Vidro	23/01/2013	7360	133	7h25m
Circuito 13 - Embalagem	23/01/2013	1300	182	6h39m
Circuito 03 - Embalagem	23/01/2013	1680	130	6h16m
Novo Circuito 06 - Papel	23/01/2013	1520	209	6h49m
Novo Circuito 13 - Papel	24/01/2013	2100	126	6h19m
Circuito 11 - Embalagem	28/01/2013	2200	171	6h55m
Circuito 06 - Embalagem	30/01/2013	1760	185	6h42m
Circuito 13 - Embalagem	31/01/2013	2080	178	7h37m
Novo Circuito 03 - Papel	31/01/2013	2480	134	7h01m
Novo Circuito 13 - Papel	01/02/2013	2700	128	6h59m
Novo Circuito 11 - Papel	01/02/2013	2520	148	6h25m
Circuito 03 - Embalagem	01/02/2013	1420	121	6h34m
Novo Circuito 06 - Papel	07/02/2013	1400	219	6h52m
Circuito 13 - Embalagem	08/02/2013	1560	176	7h14m
Circuito 11 - Embalagem	08/02/2013	1420	167	6h35m
Novo Circuito 13 - Papel	11/02/2013	3740	131	7h25m
Circuito 06 - Embalagem	11/02/2013	1180	182	6h44m
Circuito 03 - Embalagem	13/02/2013	1740	135	6h42m
Novo Circuito 03 - Papel	14/02/2013	2260	133	6h30m
Novo Circuito 11 - Papel	15/02/2013	2760	147	6h14m
Circuito 13 - Embalagem	18/02/2013	2280	178	8h02m
Circuito 06 - Vidro	19/02/2013	8600	190	6h47m

Novo Circuito 13 - Papel	19/02/2013	2620	131	6h47m
Circuito 13 - Vidro	20/02/2013	9640	115	5h43m
Novo Circuito 06 - Papel	20/02/2013	1740	219	7h22m
Circuito 11 - Embalagem	21/02/2013	2140	149	6h22m
Circuito 06 - Embalagem	25/02/2013	1840	200	7h39m
Circuito 03 - Embalagem	25/02/2013	2140	143	9h35m
Circuito 13 - Embalagem	26/02/2013	1440	183	7h19m
Novo Circuito 03 - Papel	26/02/2013	2100	144	6h22m
Novo Circuito 13 - Papel	27/02/2013	2580	145	6h58m
Novo Circuito 11 - Papel	28/02/2013	1720	129	6h20m
Circuito 11 - Vidro	01/03/2013	9840	175	6h55m
Circuito 03 - Vidro	04/03/2013	10180	114	6h47m
Novo Circuito 06 - Papel	05/03/2013	1480	218	6h18m
Novo Circuito 13 - Embalagens	06/03/2013	1980	132	7h11m
Novo Circuito 13 - Papel	07/03/2013	2460	124	6h37m
Novo Circuito 11 - Embalagens	07/03/2013	2000	140	6h46m
Novo Circuito 3 - Embalagens	07/03/2013	1480	141	6h56m
Novo Circuito 06 - Embalagens	11/03/2013	1920	222	8h00m
Novo Circuito 03 - Papel	11/03/2013	2220	136	6h15m
Novo Circuito 13 - Embalagens	13/03/2013	1700	125	7h10m
Novo Circuito 11 - Papel	13/03/2013	2440	140	6h19m
Novo Circuito 13 - Papel	14/03/2013	2740	108	5h11m
Novo Circuito 11 - Embalagens	19/03/2013	2400	146	7h22m
Novo Circuito 06 - Papel	19/03/2013	1560	215	6h40m
Novo Circuito 03 - Embalagens	19/03/2013	1940	132	6h17m
Novo Circuito 06 - Embalagens	20/03/2013	940	209	6h23m
Novo Circuito 13 - Embalagens	21/03/2013	2140	127	6h13m
Novo Circuito 03 - Papel	21/03/2013	1660	138	5h41m
Novo Circuito 13 - Papel	22/03/2013	3360	130	6h53m
Circuito 13 - Vidro	25/03/2013	6540	175	6h37m
Novo Circuito 11 - Papel	25/03/2013	2680	141	6h52m
Novo Circuito 13 - Embalagens	28/03/2013	2180	124	7h20m
Novo Circuito 03 - Embalagens	28/03/2013	1480	135	6h19m
Novo Circuito 13 - Papel	01/04/2013	3480	127	6h13m
Novo Circuito 11 - Embalagens	01/04/2013	2280	139	6h40m
Novo Circuito 06 - Papel	01/04/2013	2020	220	7h19m
Novo Circuito 03 - Papel	02/04/2013	2740	137	6h14m
Circuito 06 - Vidro	03/04/2013	9780	190	7h21m
Novo Circuito 06 - Embalagens	03/04/2013	2040	223	7h56m
Novo Circuito 13 - Embalagens	04/04/2013	1840	127	5h56m
Novo Circuito 11 - Papel	08/04/2013	2780	153	7h14m
Novo Circuito 03 - Embalagens	08/04/2013	1860	139	7h03m

Novo Circuito 13 - Papel	09/04/2013	3260	122	6h41m
Circuito 13 - Vidro	10/04/2013	6580	176	6h43m
Circuito 03 - Vidro	10/04/2013	8820	135	5h43m
Circuito 11 - Vidro	11/04/2013	10280	150	6h34m
Novo Circuito 13 - Embalagens	11/04/2013	2000	121	6h29m
Novo Circuito 03 - Papel	12/04/2013	1960	135	6h50m
Novo Circuito 11 - Embalagens	15/04/2013	2600	142	6h52m
Novo Circuito 06 - Papel	15/04/2013	1800	217	6h47m
Novo Circuito 06 - Embalagens	16/04/2013	1460	258	10h03m
Novo Circuito 13 - Papel	17/04/2013	1100	94	7h32m
Novo Circuito 13 - Papel	18/04/2013	2460	116	5h21m
Novo Circuito 03 - Embalagens	18/04/2013	1800	134	5h26m
Novo Circuito 13 - Embalagens	19/04/2013	1660	123	6h57m
Novo Circuito 11 - Papel	22/04/2013	2700	152	6h45m
Novo Circuito 03 - Papel	23/04/2013	1700	138	6h47m
Novo Circuito 13 - Papel	26/04/2013	3660	132	6h41m
Novo Circuito 11 - Embalagens	26/04/2013	2100	145	6h36m
Novo Circuito 13 - Embalagens	26/04/2013	2260	139	8h25m
Novo Circuito 06 - Papel	29/04/2013	2280	227	8h10m
Novo Circuito 03 - Embalagens	29/04/2013	1980	136	7h02m
Novo Circuito 06 - Embalagens	30/04/2013	2180	221	7h59m
Novo Circuito 13 - Embalagens	03/05/2013	2180	123	6h31m
Novo Circuito 13 - Papel	06/05/2013	4080	125	6h24m
Novo Circuito 11 - Papel	06/05/2013	2800	145	7h26m
Novo Circuito 03 - Papel	06/05/2013	2440	131	7h01m
Circuito 13 - Vidro	08/05/2013	8960	120	6h05m
Novo Circuito 11 - Embalagens	08/05/2013	2520	132	6h35m
Novo Circuito 03 - Embalagens	08/05/2013	2040	155	7h27m
Novo Circuito 13 - Embalagens	09/05/2013	1100	130	7h13m
Novo Circuito 06 - Papel	09/05/2013	1460	224	7h14m
Novo Circuito 06 - Embalagens	10/05/2013	1240	223	7h54m
Circuito 03 - Vidro	13/05/2013	12680	174	7h42m
Novo Circuito 13 - Papel	14/05/2013	3100	139	7h30m
Circuito 11 - Vidro	15/05/2013	9680	170	7h14m
Circuito 06 - Vidro	16/05/2013	9740	179	7h05m
Novo Circuito 13 - Embalagens	16/05/2013	2160	124	7h02m
Novo Circuito 03 - Papel	16/05/2013	1680	136	6h28m
Novo Circuito 03 - Embalagens	17/05/2013	1420	133	6h12m
Novo Circuito 11 - Embalagens	20/05/2013	2240	151	9h06m
Novo Circuito 11 - Papel	20/05/2013	2260	144	7h25m
Novo Circuito 13 - Papel	21/05/2013	2660	124	6h25m
Novo Circuito 06 - Embalagens	21/05/2013	1280	220	7h00m

<b>Novo Circuito 06 - Papel</b>	22/05/2013	1740	228	7h11m
<b>Novo Circuito 13 - Embalagens</b>	23/05/2013	1700	122	6h28m
<b>Novo Circuito 03 - Embalagens</b>	27/05/2013	1580	137	6h59m
<b>Novo Circuito 03 - Papel</b>	28/05/2013	2700	138	6h40m
<b>Novo Circuito 13 - Papel</b>	29/05/2013	2900	197	9h32m
<b>Novo Circuito 13 - Embalagens</b>	30/05/2013	1820	132	7h24m
<b>Novo Circuito 11 - Embalagens</b>	30/05/2013	2080	137	6h05m
<b>Novo Circuito 06 - Embalagens</b>	30/05/2013	1280	213	8h19m
<b>Circuito 13 - Vidro</b>	31/05/2013	8440	180	6h55m
<b>Novo Circuito 11 - Papel</b>	31/05/2013	1800	141	6h13m
<b>Novo Circuito 06 - Papel</b>	03/06/2013	1400	206	8h31m
<b>Novo Circuito 13 - Embalagens</b>	06/06/2013	2060	136	8h02m
<b>Novo Circuito 13 - Papel</b>	06/06/2013	3160	130	8h28m
<b>Novo Circuito 03 - Embalagens</b>	06/06/2013	1800	136	6h35m
<b>Novo Circuito 03 - Papel</b>	07/06/2013	1760	133	7h48m
<b>Novo Circuito 11 - Embalagens</b>	11/06/2013	2220	149	7h51m
<b>Novo Circuito 06 - Embalagens</b>	12/06/2013	1700	225	7h32m
<b>Novo Circuito 13 - Embalagens</b>	13/06/2013	1720	120	6h34m
<b>Novo Circuito 11 - Papel</b>	13/06/2013	2740	140	7h42m
<b>Novo Circuito 13 - Papel</b>	14/06/2013	2900	115	6h17m
<b>Novo Circuito 06 - Papel</b>	17/06/2013	2560	218	7h49m
<b>Circuito 11 - Vidro</b>	19/06/2013	9000	133	5h35m
<b>Circuito 03 - Vidro</b>	19/06/2013	12980	152	7h29m
<b>Novo Circuito 11 - Embalagens</b>	19/06/2013	1540	139	7h08m
<b>Novo Circuito 03 - Embalagens</b>	19/06/2013	2060	138	8h23m
<b>Novo Circuito 03 - Papel</b>	19/06/2013	2780	139	6h47m
<b>Novo Circuito 13 - Embalagens</b>	20/06/2013	1880	129	7h37m
<b>Novo Circuito 13 - Papel</b>	24/06/2013	3780	130	7h02m
<b>Novo Circuito 06 - Embalagens</b>	25/06/2013	1320	218	7h00m
<b>Novo Circuito 11 - Papel</b>	26/06/2013	2280	133	6h35m
<b>Novo Circuito 13 - Embalagens</b>	27/06/2013	1900	127	6h40m
<b>Novo Circuito 11 - Embalagens</b>	28/06/2013	1580	128	6h25m

## Anexo C

Nas Tabelas Tabela 25 e Tabela 26 são apresentados os cash-flows gerados nos dois cenários descritos. Na Tabela 25 são descritos os cash-flows num cenário de reinvestimento e na Tabela 26 são descritos os cash-flows num cenário sem reinvestimento. Ambos os cenários apresentam a duração de 10 anos de vida útil. Os custos operacionais foram considerados inexistentes tendo em conta que a equipa responsável pela gestão do projeto já existe, não havendo necessidade de custos extra. De acordo com dados da PWC (2014) a taxa de IRC é de 23% e a depreciação é efetuada a uma taxa anual de quotas constantes de 33,33%.

Tabela 25: *Cash-Flows* do projeto de investimento com reinvestimento

	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Custo Investimento</b>	-85619		-4296		-4296		-4296		-4296		
<b>Cash Flow Investimento (CFI)</b>	-85619		-4296		-4296		-4296		-4296		
<b>Proveitos</b>		14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650
<b>Custos Operacionais</b>											
<b>Depreciações</b>		28540	28540	28540	1432	1432	1432	1432	1432	1432	1432
<b>Resultado Operacional (EBIT)</b>		-13890	-13890	-13890	13218	13218	13218	13218	13218	13218	13218
<b>Imposto sobre lucro</b>		0	0	0	0	0	0	2577	3040	3040	3040
<b>EBIT(1-23%)</b>		-13890	-13890	-13890	13218	13218	13218	10178	10178	10178	10178
<b>Cash Flow Exploração (CFE)</b>		14650	14650	14650	14650	14650	14650	11610	11610	11610	11610
<b>Cash Flow = CFI + CFE</b>	-85619	14650	10354	14650	10354	14650	10354	11610	7314	11610	11610
<b>Cash Flow Descontado</b>	-85619	13952	9392	12655	8518	11479	7726	8251	4950	7484	7127
<b>Cash Flow Descontado Cumulativo</b>	-85619	-71667	-62275	-49620	-41102	-29623	-21896	-13646	-8695	-1211	5916
<b>Prejuízo</b>	-	-13890	-27779	-41669	-28451	-15233	-2015	0	0	0	0

VAL = 5.072,49€, TIR = 6%, *Payback Period* = 9,25 (9 anos e 3 meses)

Tabela 26: *Cash-Flows* do projeto de investimento sem reinvestimento

	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Custo Investimento</b>	-85619										
<b>Cash Flow Investimento (CFI)</b>	-85619										
<b>Proveitos</b>		14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650
<b>Custos Operacionais</b>											
<b>Depreciações</b>		28540	28540	28540	0	0	0	0	0	0	0
<b>Resultado Operacional EBIT</b>		-13890	-13890	-13890	14650	14650	14650	14650	14650	14650	14650
<b>Imposto sobre lucro</b>		0	0	0	0	0	525	3370	3370	3370	3370
<b>EBIT(1-23%)</b>		-13890	-13890	-13890	14650	14650	11281	11281	11281	11281	11281
<b>Cash Flow Exploração (CFE)</b>		14650	14650	14650	14650	14650	11281	11281	11281	11281	11281
<b>Cash Flow = CFI + CFE</b>	-85619	14650	14650	14650	14650	14650	11281	11281	11281	11281	11281
<b>Cash Flow Descontado</b>	-85619	13952	13288	12655	12053	11479	8418	8017	7635	7272	6925
<b>Cash Flow Descontado Cumulativo</b>	-85619	-71667	-58379	-45724	-33671	-22192	-13775	-5758	1877	9149	16074
<b>Prejuízo</b>	-	-13890	-27779	-41669	-27019	-12369	0	0	0	0	0

VAL = 15.308,57€, TIR = 9%, *Payback Period* = 7,75 (7 anos e 9 meses)