

**MESTRADO**  
**DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

**ATIVIDADE OPERACIONAL DO BANCO ALIMENTAR DE  
LISBOA: ESTUDO ESTATÍSTICO E OTIMIZAÇÃO DE  
ROTAS NA CAMPANHA SACO**

**MAFALDA MENDES DA SILVA**

**OUTUBRO - 2015**

# **MESTRADO EM DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

## **TRABALHO FINAL DE MESTRADO RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

**ATIVIDADE OPERACIONAL DO BANCO ALIMENTAR DE  
LISBOA: ESTUDO ESTATÍSTICO E OTIMIZAÇÃO DE  
ROTAS NA CAMPANHA SACO**

**MAFALDA MENDES DA SILVA**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSORA DOUTORA MARGARIDA MARIA GONÇALVES**

**VAZ PATO**

**ENGENHEIRO MANUEL NORTON MATOS**

**OUTUBRO - 2015**

*“Education is the key to unlock the golden door of freedom”  
(George Washington Carver)*



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais por terem sempre acreditado em mim, dando-me a oportunidade de me dedicar inteiramente a esta etapa tão importante da minha vida. Sem eles nunca teria chegado tão longe. Por todo o carinho, apoio e confiança demonstrada, serei para sempre grata.

À minha irmã deixo também uma palavra de agradecimento por me desafiar constantemente a fazer sempre mais e melhor durante o meu percurso académico.

Aos meus amigos, aos quais dediquei menos tempo do que desejava nestes últimos meses mas, que ainda assim, se demonstraram sempre disponíveis para me ajudar. Em especial, à Rita, à Sofia, à Catarina e ao João e à Marta que nunca me deixaram desamimar nos momentos mais difíceis, muito obrigada.

À Prof<sup>a</sup> Doutora Margarida Pato, agradeço a preocupação sempre presente com o decorrer, não só do estágio, mas também do relatório. Pelo tempo a mim dedicado e pela disponibilidade de resolver alguns percalços enquanto eu estava na Alemanha, o meu mais sincero agradecimento.

Não posso deixar de agradecer ao Prof. Doutor José Pedro Gaivão, que apesar de não ter nenhum compromisso para comigo, nunca se negou a ajudar e a transmitir o seu conhecimento na utilização do *software* VBA.

Às coordenadoras do mestrado de Decisão Económica e Empresarial, por tornarem possível, não só a mim, mas também aos meus colegas, enriquecer a nossa formação com temáticas, que considero, tão relevantes e que serão, certamente, uma mais-valia no nosso futuro profissional.

Por fim, mas não menos importantes, a todas as pessoas que me acolheram da melhor maneira possível no Banco Alimentar de Lisboa. Ao Eng. Manuel Norton por ter aceite orientar-me e à Dr<sup>a</sup> Isabel Jonet agradeço por ter tornado possível a realização deste estágio. Uma palavra de gratidão em especial à Ana Vara que teve a amabilidade de me explicar como tudo funciona no BA Lisboa, que disponibilizou sempre um pouco do seu, muito preenchido, tempo quando eu precisava e que de forma tão genuína me ajudou.



## Glossário

### Instituição

BA – Banco Alimentar Contra a Fome

FEBA – Federação Europeia de Bancos Alimentares

FPBA – Federação Portuguesa dos Bancos Alimentares

IFAP – Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas

MARL – Mercado Abastecedor da Região de Lisboa

### Problema

CVRP – *Capacitated Vehicle Routing Problem*

DVRP – *Dynamic Vehicle Routing Problem*

HFVRP – *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem*

HFVRPTW – *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows*

MDVRP – *Multiple Depot Vehicle Routing Problem*

SVRP – *Stochastic Vehicle Routing Problem*

TSP – *Traveling Salesman Problem*

VRP – *Vehicle Routing Problem*

VRPSD – *Vehicle Routing Problem with Split Deliveries*

VRPTW – *Vehicle Routing Problem with Time Windows*

### Software

VBA – *Visual Basic for Applications*



## Resumo

O principal objetivo do estágio realizado no Banco Alimentar de Lisboa (BA Lisboa) foi o de atualizar, organizar e interpretar os dados que tinham vindo a ser recolhidos quase desde o início da sua atividade. Com o decorrer do estágio detetou-se também a necessidade de criar um programa que automatizasse o roteamento de veículos durante a Campanha Saco. Este relatório de estágio está, assim, dividido em duas partes: a primeira, onde é apresentada a história, funcionamento e os dados estatísticos sobre o BA; e a segunda parte, onde é tratada a elaboração de rotas.

Para o estudo estatístico utilizaram-se os dados disponíveis na base informática do BA Lisboa e nos relatórios de atividade existentes desde 1992 até 2014.

O problema de roteamento dos veículos foi identificado como sendo um *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows* com restrições adicionais. Foi modelizado um problema em programação linear inteira mista (modelo restrito) que contempla as condições que se consideraram mais importantes para obter um conjunto de rotas para os veículos de recolha de produtos nas lojas aderentes à Campanha Saco no BA Lisboa. Para resolver este problema restrito, construiu-se um programa utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) do *Excel*, com base no algoritmo de *savings* de Clarke e Wright. Uma vez que no problema restrito não são considerados todos os aspetos do referido problema, será necessário fazer alguns ajustes manuais após a solução encontrada pelo programa em VBA. Comparando as rotas encontradas pelo programa, com as rotas que foram atribuídas aos veículos na última Campanha Saco realizada, é possível obter uma poupança de 97 km por viagem, ou seja, por cada ida e volta entre as lojas e o BA Lisboa, no total dos veículos. Sendo um resultado positivo no que respeita à nova metodologia também revela a boa qualidade das rotas já praticadas na instituição. Este resultado torna-se mais significativo considerando que a maioria dos veículos efetua mais do que uma viagem, e que a utilização do programa em VBA permitirá reduzir o tempo utilizado para a elaboração das rotas, pela equipa técnica do BA Lisboa.

**Palavras-chave:** banco alimentar, dados estatísticos, roteamento de veículos, heurística de *savings*, VBA



## Abstract

This report presents the history, the way of operation and the data about *Banco Alimentar de Lisboa* (BA Lisboa) as well as the development of a new program, running on *Excel*, to improve the vehicle routing during a collecting campaign, *Campanha Saco*. The work was performed under an internship at the institution.

The available computer database and the activity reports of BA Lisboa from 1992 to 2014 were used for the statistical study.

The vehicle routing problem was identified with a Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and additional constraints. The problem restricted to the most important constraints was characterized by a mixed integer linear programming model, which could be applied to determine a set of routes for the vehicles that collect products at the participating shops of the campaign. To solve this restricted problem, a non-exact algorithm was developed based on the savings algorithm of Clarke and Wright. The algorithm was implemented using Visual Basic for Applications (VBA) from *Excel*. Since not all aspects of the vehicle routing problem for *Campanha Saco* were considered by the non-exact algorithm for the restricted problem, some adjustments are necessary after running the VBA program. Comparing the routes obtained from this methodology with the ones designed by the technicians of BA Lisboa for the previous campaign, one can observe a saving of 97 km per route, outward and come back trip to BA Lisboa, for all the vehicles. In spite of the good quality of the previous routes, the VBA program enabled to get better results, thus showing that it can be useful for the campaign's operational planning. In addition, automatic planning reduces the time spent by the BA technicians to prepare the routing process.

**Key-words:** food bank, statistical data, vehicle routing, savings heuristic, VBA



## Índice

Agradecimentos.....	i
Glossário .....	ii
Resumo .....	iii
Abstract .....	iv
Índice .....	v
Índice de figuras .....	vii
Índice de tabelas.....	ix
Introdução .....	1
Parte I: Banco Alimentar Contra a Fome.....	3
1. História.....	3
2. Funcionamento do Banco Alimentar Contra a Fome.....	4
2.1. Abastecimento do BA.....	4
2.2. Distribuição .....	6
2.3. Voluntariado.....	6
2.4. Funcionamento .....	6
3. Outros projetos.....	7
3.1. Projeto Educar para a Cidadania .....	7
3.2. Campanha Papel por Alimentos.....	7
4. Estudo estatístico .....	7
4.1. Abastecimento do BA Lisboa e da FPBA .....	8
4.2. Instituições apoiadas pelo BA Lisboa e pela FPBA .....	10
4.3. Campanhas de recolha de alimentos .....	12
4.4. Doações monetárias.....	15
4.5. FPBA versus FEBA .....	16



Parte II: Otimização de Rotas na Campanha Saco.....	18
1. Enquadramento teórico .....	18
1.1. Principais variantes do VRP .....	19
1.2. Resolução do CVRP.....	20
1.3. Heurística de <i>savings</i> para o HFVRP.....	21
1.4. Resolução do VRPTW .....	24
2. Apresentação do problema de roteamento no BA Lisboa .....	25
3. Modelização do problema de roteamento restrito .....	28
4. Método de resolução .....	31
4.1. Aplicação em VBA.....	31
4.2. Resultados .....	35
4.3. Comparação com as rotas definidas na campanha de maio de 2015 .....	36
Conclusão.....	37
Referências Bibliográficas.....	39
Anexos .....	41



## Índice de figuras

Figura 1 – BA em Portugal .....	3
Figura 2 – Evolução do número de BA em Portugal.....	4
Figura 3 – Evolução da entrada de produtos totais no BA Lisboa e na FPBA.....	8
Figura 4 – Percentagem das entradas de produtos por BA em 2014 .....	9
Figura 5 – Percentagem de entradas por tipo de produtos no BA Lisboa em 2014 .....	9
Figura 6 – Percentagem por origem de entrada de produtos no BA Lisboa em 2014...	10
Figura 7 – Evolução do número de pessoas assistidas pelo BA Lisboa e pela FPBA .....	11
Figura 8 – Evolução do número de instituições apoiadas pelo BA Lisboa e pela FPBA .	11
Figura 9 – Evolução da recolha de alimentos em campanha no BA Lisboa .....	12
Figura 10 – Evolução da recolha de alimentos em campanha na FPBA.....	12
Figura 11 – Share de campanhas no BA Lisboa em 2014.....	13
Figura 12 – Share de campanhas da FPBA em 2014 .....	13
Figura 13 – Recolha Campanha Saco por concelho do BA Lisboa em maio de 2015.....	14
Figura 14 – Recolha Campanha Saco por cadeia no BA Lisboa em maio de 2015 .....	14
Figura 15 – Conversão do dinheiro obtido na campanha em alimentos .....	15
Figura 16 – Evolução do papel recolhido na FPBA .....	15
Figura 17 – Total de papel recolhido por BA em 2014.....	16
Figura 18 – Doações monetárias de particulares e empresas ao BA Lisboa .....	16
Figura 19 – Comparação entre a origem dos produtos na FPBA e na FEBA .....	17
Figura 20 – Entrada por tipo de produto na FEBA em 2014 .....	17
Figura 21 – Rotas individuais do depósito 0 aos clientes <i>i</i> .....	23
Figura 22 – Junção dos clientes 1 e 2 na mesma rota.....	23
Figura 23 – Evolução da entrada de produtos pc e do número de pessoas assistidas..	41
Figura 24 – Entradas por família de produtos nos armazéns do BA Lisboa, em 2014...	41
Figura 25 – Evolução da entrada de fruta fresca e legumes frescos no BA Lisboa .....	42



Figura 26 – Entrada de fruta fresca no BA Lisboa no 1ºT de 2015.....	42
Figura 27 – Evolução da entrada de fruta fresca no BA Lisboa por origem .....	43
Figura 28 – Origem da entrada de fruta fresca no BA Lisboa no 1º T de 2015 .....	43
Figura 29 – Entrada de legumes frescos no BA Lisboa no 1ºT de 2015 .....	43
Figura 30 – Evolução da entrada de legumes frescos no BA Lisboa por origem.....	44
Figura 31 – Origem da entrada de legumes frescos no BA Lisboa no 1º T de 2015 .....	44
Figura 32 – Previsão da entrada de produtos frescos no BA Lisboa .....	45
Figura 33 – Previsão da entrada de produtos secos no BA Lisboa.....	46
Figura 34 – Previsão da entrada de produtos totais no BA Lisboa .....	46
Figura 35 – Número de instituições apoiadas por BA em 2014 .....	47
Figura 36 – Número de pessoas assistidas por BA em 2014 .....	47
Figura 37 – Número de instituições apoiadas por tipo de acordo .....	48
Figura 38 – Serviços prestados pelas instituições e pessoas apoiadas por tipo de instituição em 2014 .....	48
Figura 39 – Número de cabazes distribuídos e refeições servidas pelas instituições....	49
Figura 40 – Número de lojas aderentes à Campanha Saco do BA Lisboa .....	49
Figura 41 – Número de lojas aderentes à Campanha Saco na FPBA.....	49
Figura 42 – Fluxograma de identificação de lojas em auto-gestão ou com camião TIR atribuído .....	50
Figura 43 – Fluxograma de definição de rotas .....	51
Figura 44 – Fluxograma de atribuição de veículos a lojas individuais.....	52
Figura 45 – Matriz de savings entre as lojas.....	52
Figura 46 – Lista incompleta de savings ordenados e rotas de veículos.....	52



## Índice de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre a FEBA e a FPBA .....	17
Tabela 2 – Resultados obtidos através do programa em VBA .....	35
Tabela 3 – Resultados calculados para lojas que não tinham veículo atribuído.....	36
Tabela 4 – Resultados na campanha de maio de 2015 .....	36
Tabela 5 – Rotas dos veículos determinadas com o programa em VBA.....	55
Tabela 6 – Rotas dos veículos determinadas manualmente.....	55
Tabela 7 – Rotas realizadas na última Campanha Saco, do BA Lisboa.....	58



## Introdução

A crise económica que se tem vivido nos últimos anos no nosso país reflete-se, cada vez mais, na população portuguesa. Com o aumento da população carenciada, aumentam também os pedidos de apoio junto das instituições de solidariedade social, que têm vindo a sentir uma crescente dificuldade em satisfazer todas as solicitações. Neste contexto, torna-se vital a existência de uma instituição como o Banco Alimentar Contra a Fome (BA), que tem como mote reduzir o desperdício alimentar gerado diariamente no mercado. Assim, através da doação de particulares e empresas, bem como de recolhas diárias no MARL e de fruta proveniente de retiradas do IFAP, o BA de Lisboa (BA Lisboa) consegue fornecer-se de quantidade suficiente de alimentos para distribuir por cerca de 400 instituições, do distrito de Lisboa, que apoiam, aproximadamente, 89 000 pessoas.

Dada a crescente relevância do BA na vida social portuguesa e do elevado nível de transações efetuadas diariamente, é importante o conhecimento da sua realidade estatística e operacional, para que se possa continuar a ajudar quem mais precisa deste contributo. Foi com este propósito que surgiu a oportunidade de realizar um estágio no BA Lisboa, onde se efetuou a atualização e estudo em termos numéricos da atividade do banco, a nível da entrada e saída de produtos, das instituições e pessoas apoiadas e dos resultados referentes às campanhas. Torna-se assim possível quer comparar alguns indicadores do BA Lisboa com os da Federação Portuguesa de Bancos Alimentares (FPBA), quer os desta com a Federação Europeia de Bancos Alimentares (FEBA). Esta análise era imprescindível para melhor se compreender a evolução da atividade que tem vindo a ser desenvolvida.

No decorrer do estágio, e com o aproximar da campanha semestral de recolha de alimentos nos supermercados, identificou-se, também, a necessidade de propor uma metodologia de otimização e automatização de rotas para os veículos que transportam os produtos entre as lojas e o BA Lisboa, nos 13 concelhos da região de Lisboa nos quais existem lojas aderentes à campanha. Pretende-se, com o presente trabalho, automatizar este processo, que consome bastante tempo às pessoas que nele trabalham, fora das horas de serviço. O estudo das rotas foi estruturado com base no

algoritmo de *savings*, publicado por Clarke e Wright, na revista *Operations Research*, em 1964, e foi escrito um programa computacional para a determinação das mesmas, recorrendo à aplicação *Visual Basic for Applications* do *Excel* (2013) [10].

Assim, este Trabalho Final de Mestrado está dividido em duas partes, posteriormente subdivididas em diferentes secções.

Na primeira parte, encontra-se a informação geral referente ao BA. Na primeira secção é resumidamente apresentada a sua história, desde o surgimento do primeiro BA no mundo, à sua conseqüente expansão a outros países, incluindo a criação do primeiro BA em Portugal, em 1992. Na segunda secção é explicado o funcionamento do BA Lisboa, a nível de como é abastecido, de como é feita a distribuição dos produtos, do voluntariado e da sua organização. Numa terceira secção são mencionados dois projetos paralelos mas complementares da atividade do BA. Por fim, na quarta secção, são apresentados os dados estatísticos referentes ao abastecimento do BA Lisboa e da FPBA, à distribuição dos produtos pelas instituições de solidariedade social apoiadas, na região de Lisboa e a nível nacional, às três diferentes campanhas de recolha de alimentos no BA Lisboa e na FPBA, e às doações monetárias que o BA recebe. Por fim, são comparados alguns indicadores relativos à FPBA e à FEBA.

Na segunda parte deste trabalho é abordada a problemática da elaboração de rotas para os veículos afetos à recolha de produtos na Campanha Saco. Na primeira secção é feito um enquadramento teórico referindo a origem do problema de otimização de rotas, as suas principais variantes e diferentes métodos de resolução. Entre estes, destacam-se os trabalhos de Dantzig e Ramser [5] e de Clarke e Wright [4]. É apresentado o algoritmo de *savings* desenvolvido por Clarke e Wright, uma vez que é com base neste que se desenvolveu o algoritmo para o problema que aqui se pretende resolver. Na segunda secção é exposto o problema específico de otimização de rotas para o BA Lisboa, sendo a versão restrita deste problema modelizada na terceira secção. Na quarta secção é proposto um método de resolução não exata para o problema restrito, incluindo a explicação do programa elaborado em VBA, os respetivos resultados e comparações com as rotas realizadas na última Campanha Saco, decorrida em maio deste ano de 2015.

## Parte I: Banco Alimentar Contra a Fome

*“Lutar contra o desperdício, recuperando excedentes alimentares, para os levar a quem tem carências alimentares, mobilizando pessoas e empresas, que a título voluntário, se associam a esta causa” [15]*

Esta é a missão pela qual se regem todas as atividades realizadas pelo Banco Alimentar Contra a Fome a nível nacional.

### 1. História

A ideia de criar um BA surgiu em Phoenix, Arizona, por John Van Hengel, enquanto este trabalhava como voluntário numa instituição que servia refeições aos mais necessitados. Van Hengel criou em 1967, o St. Mary’s FoodBank, um espaço onde indivíduos ou empresas poderiam depositar os seus excessos alimentares e/ou monetários e onde a população carenciada os poderia levantar [16].

A ideia de BA foi crescendo e expandiu-se a outros países, chegando à Europa em 1984, quando foram criados os Bancos Alimentares de França e da Bélgica. Atualmente, pertencem à rede *The Global Food Banking Network* mais de 60 países, nos diversos continentes, dos quais 22 são na Europa (e que fazem parte da Federação Europeia de Bancos Alimentares, criada em 1986) [17].

Baseando-se nos valores da dádiva e da partilha, José Vaz Pinto assume, em 1990, a vontade de constituir o BA Lisboa, o qual seria o primeiro em Portugal, com início de atividade em 1992. Em Fevereiro de 1999 é constituída a Federação Portuguesa dos Bancos Alimentares com o objetivo de standardizar o funcionamento de todos os Bancos Alimentares nacionais, entretanto criados, bem como dar apoio à criação de novos BA nos mais diversos pontos do país [14]. Atualmente, a FPBA conta com 21 membros (por ordem cronológica, BA Lisboa, BA Porto, BA Évora, BA Coimbra, BA Aveiro, BA Abrantes, BA Setúbal, BA S. Miguel, BA Cova da Beira, BA



Figura 1 – BA em Portugal

Leiria-Fátima, BA Oeste, BA Algarve, BA Portalegre, BA Braga, BA Santarém, BA Viseu, BA Viana do Castelo, BA Terceira, BA Beja, BA Madeira e BA Castelo Branco), distribuídos como é apresentado na figura 1.

Na figura 2 é possível visualizar a evolução do número de BA, em Portugal, até ao presente ano.

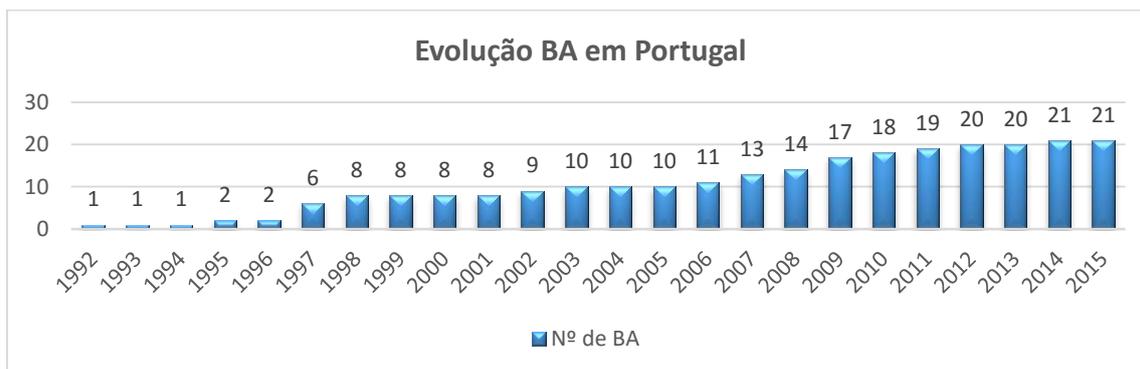


Figura 2 – Evolução do número de BA em Portugal

## 2. Funcionamento do Banco Alimentar Contra a Fome

As atividades dos BA são estabelecidas de acordo com os valores da dádiva, da partilha, do voluntariado e do mecenato. Estas atividades assentam em quatro eixos fundamentais: o abastecimento, a distribuição, o voluntariado e o funcionamento [14].

### 2.1. Abastecimento do BA

O abastecimento resulta da recolha de produtos que, apesar de estarem em perfeitas condições de consumo, seriam destruídos por resultarem de excessos de produção ou por não cumprirem certos requisitos comerciais. Assim, sob o lema de “Ir buscar onde sobra e distribuir onde falta” cada BA tem parceiros de combate à fome em Portugal:

- empresas do ramo alimentar que doam excedentes da produção agroalimentar, alimentos com rotulagem deficiente e/ou com embalagens deterioradas que, por isso, não podem seguir para as superfícies comerciais e géneros com prazos de validade em vias de expiração;
- cooperativas agrícolas que dispensam os seus excedentes, os excedentes da grande distribuição e, também, fruta e legumes não calibrados às normas de venda ao público;



- mercado abastecedor da região de cada BA com o aproveitamento diário de produtos frescos;
- retiradas de fruta do IFAP;
- excedentes da União Europeia;
- campanhas de recolha de alimentos;
- outras origens, tais como campanhas em escolas e universidades para recolher produtos alimentares e doações de particulares.

As campanhas de recolha de alimentos assumem um papel fundamental no abastecimento dos BA, uma vez que delas provém grande parte da entrada de produtos não perecíveis que de outras formas não seriam doados. Estas campanhas são realizadas duas vezes por ano, em supermercados, onde se convida os clientes a contribuírem para a causa do BA. Existem três diferentes campanhas:

- a Campanha Saco, a mais antiga e popular, tem a duração de um fim-de-semana (tradicionalmente o último dos meses de maio e de novembro) e consiste na entrega de um saco a cada cliente que entra na loja. Pede-se que este o “encha”, de acordo com as suas possibilidades, com produtos à sua escolha, dando preferência a alimentos não perecíveis;
- a Campanha Ajuda Vale decorre em simultâneo com a anterior e prolonga-se durante a semana seguinte. Existem vales correspondentes a vários tipos de produtos e os clientes das lojas podem adquirir um vale que será convertido no respetivo alimento;
- a Campanha Online, o mais recente método de recolha, é realizada no mesmo prazo da anterior, consiste em doações monetárias através do sítio na internet do BA. Estas doações, tal como no caso anterior, são convertidas em compra de alimentos básicos não perecíveis.

Cada BA tem a sua própria Comissão de Abastecimento, estruturada e orientada de acordo com os princípios comuns e transversais a todos os bancos.



## 2.2. Distribuição

A distribuição é feita a instituições de apoio social e não diretamente às pessoas carenciadas. Esta transação deve ser processada de forma inteiramente gratuita e com consciência, por parte das instituições, de que o BA vive de doações e, como tal, não dispõe de todo o tipo de produtos.

A entrega dos alimentos à população depende da modalidade praticada pelas instituições e pode traduzir-se em oferta de cabazes às famílias, em distribuição de refeições confeccionadas, ou ambos. Existem três diferentes tipos de acordo entre o BA e as instituições, dependendo do seu nível de carência. Deste modo, as instituições mais carenciadas são abrangidas pelo acordo tipo A e recebem todo o tipo de produtos (cabazes de produtos não perecíveis uma vez por mês e produtos frescos uma vez por semana); o acordo tipo B, para instituições que servem lanches, com o qual têm direito a levantar uma *box* mensal de produtos não perecíveis e produtos frescos uma vez por semana; e o acordo tipo C, destinado a instituições menos carenciadas que recebem produtos excedentários uma vez por semana.

## 2.3. Voluntariado

O carácter de instituição com fins não lucrativos, que reveste o BA, faz com que o voluntariado seja o seu método de trabalho mais utilizado. Apesar da necessidade de alguns membros efetivos assalariados, a mão-de-obra mais recorrente são voluntários, que dão, diariamente, o seu tempo a ajudar quem precisa.

## 2.4. Funcionamento

Os BA estão organizados em seis comissões responsáveis por diferentes áreas de tarefas: Comissão de Abastecimento (já referida em 2.1), Comissão de Voluntários, Comissão de Distribuição, Comissão Administrativa e Financeira, Comissão Técnica e Comissão de Imagem e Relações Públicas. Como se referiu anteriormente, o funcionamento dos BA é assegurado por donativos em serviços, materiais, equipamentos, monetários de particulares e empresas, bem como por alguns subsídios, e participação de instituições em diversas atividades.



### 3. Outros projetos

Paralelamente, existem dois projetos que visam reforçar a atividade do BA a nível social: o Projeto Educar para a Cidadania (PEC) e a campanha Papel por Alimentos.

#### 3.1. Projeto Educar para a Cidadania

Com início em 2004, o PEC tem como objetivo principal sensibilizar os jovens para questões de valores universais, como a liberdade, a verdade, a tolerância, a partilha, a defesa dos direitos humanos e o ambiente, através de jogos e atividades realizadas em escolas do ensino Básico e Secundário, orientadas por funcionários do BA.

#### 3.2. Campanha Papel por Alimentos

A campanha Papel por Alimentos alia a consciencialização ambiental do desperdício de papel à atividade social da redução da fome no nosso país. Em parceria com a QUIMA<sup>1</sup>, por cada tonelada de papel recolhido pela FPBA, a empresa faz uma doação de 100€. Esse dinheiro é depois usado, para fazer face às necessidades financeiras da FPBA e para comprar alguns alimentos básicos, como por exemplo, azeite, arroz, salsichas, etc.

### 4. Estudo estatístico

Para que seja possível prestar um serviço de qualidade às famílias que dependem da ajuda das instituições apoiadas, a direção do BA Lisboa e da FPBA, preocupou-se sempre com a recolha de dados e respetivo registo em suporte informático para apoiar as suas decisões [13]. Contudo, a recolha de dados, só por si, não é suficiente. É preciso “arrumá-los” para que a sua leitura seja facilitada. Foi este o objetivo principal da primeira parte do estágio realizado no BA Lisboa.

---

<sup>1</sup> Empresa de reciclagem de resíduos de papel, madeira e plástico [18].

#### 4.1. Abastecimento do BA Lisboa e da FPBA

Como já foi dito anteriormente, os alimentos que chegam ao BA Lisboa têm proveniências distintas, algumas mais frequentes e diárias, outras mais esporádicas. Na figura 3 estão representadas as entradas de produtos, em toneladas no BA Lisboa e na FPBA ao longo dos anos.

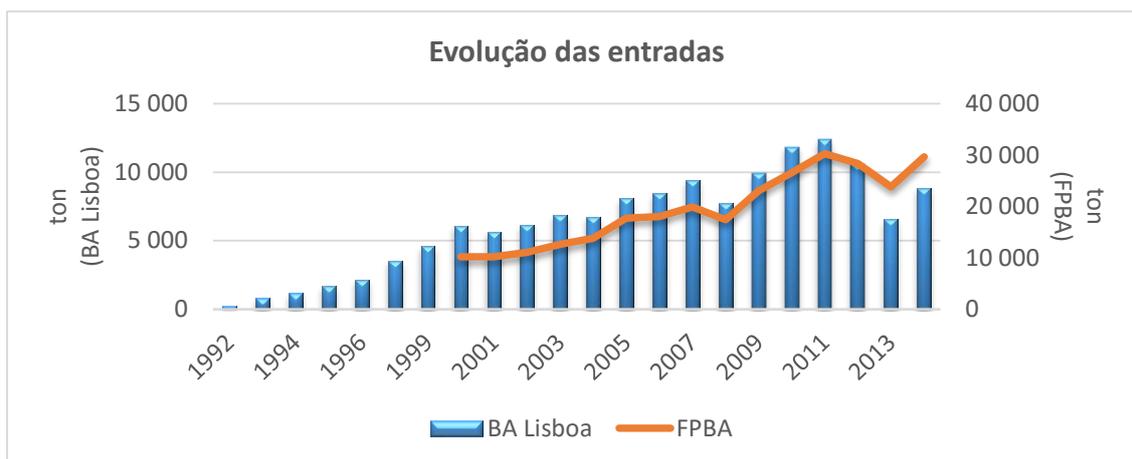


Figura 3 – Evolução da entrada de produtos totais no BA Lisboa e na FPBA

Ao longo dos anos é evidente um aumento na entrada dos produtos nos armazéns do BA Lisboa (eixo vertical da esquerda), apenas com quebras nos anos em que mais se sentiu o efeito da crise económica vivida no nosso país. A evolução na FPBA (eixo vertical da direita) apresenta as mesmas tendências. A maior quebra foi em 2013 com uma redução de 38% e de 16% face ao ano anterior para o BA Lisboa e para a FPBA, respetivamente, contudo, neste ano, deixou de haver entrada de produtos provenientes da União Europeia. Em 2014 registou-se um aumento, atingindo-se 29 630 toneladas de produtos em armazém, a nível nacional.

No anexo A é apresentada a entrada de produtos *per capita* com o objetivo de se estudar se a tendência destes acompanha a evolução do número de pessoas assistidas. Na figura 4, estão representadas as percentagens de entrada de produtos, no ano de 2014, por BA a nível nacional.

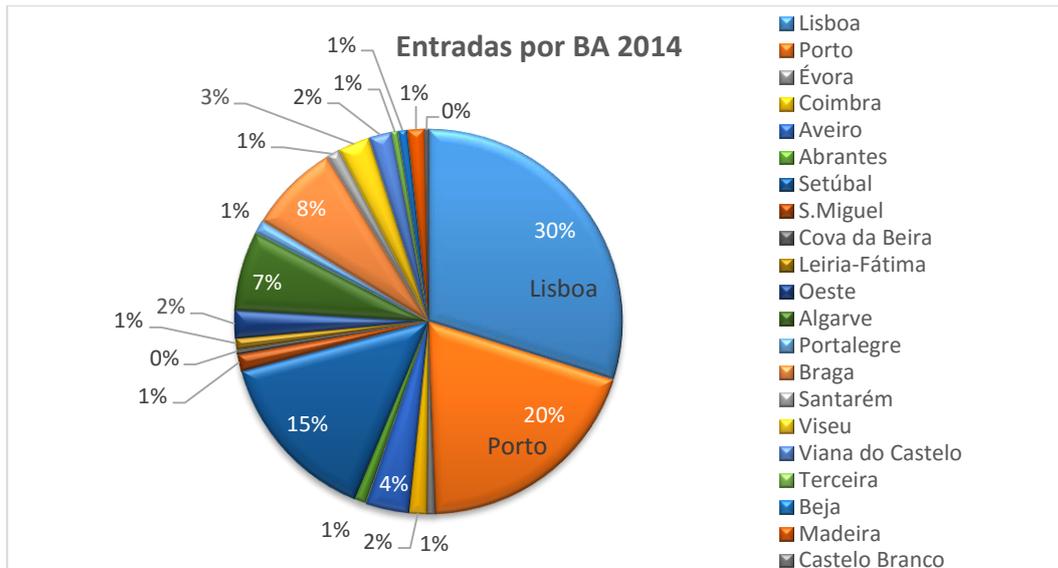


Figura 4 – Percentagem das entradas de produtos por BA em 2014

Os Bancos Alimentares que representam uma maior percentagem no total de entrada de produtos na Federação Portuguesa são o BA Lisboa, o BA Porto e o BA Setúbal. Essas maiores percentagens devem-se, também, ao facto de estes serem dos centros urbanos com mais população em Portugal.

A figura 5 ilustra as entradas por tipo de produto no BA Lisboa, no passado ano.

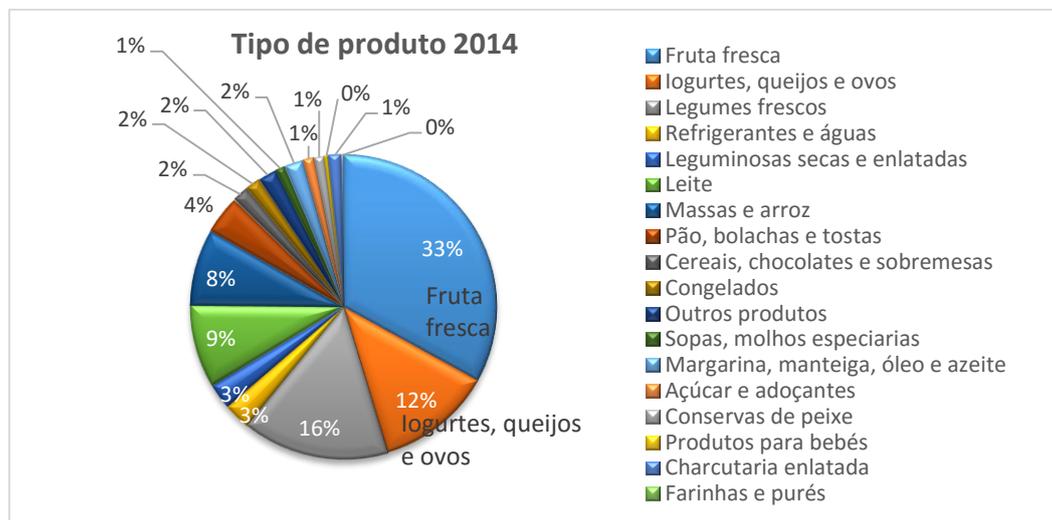


Figura 5 – Percentagem de entradas por tipo de produtos no BA Lisboa em 2014

A fruta e legumes frescos foram os produtos que mais deram entrada nos armazéns do BA Lisboa, devendo-se ao facto de esta recolha ser diária. As doações são feitas, na maioria pelo MARL e pelo IFAP, que juntos representaram cerca de 40% da entrada de produtos em 2014, como se pode ver na figura 6.

Pelo facto de os produtos frescos representarem a maior percentagem de entradas (anexo B) e por alguns serem, tradicionalmente, produtos sazonais, realizou-se uma recolha mais pormenorizada de dados relativos a esses produtos, desde 1996 até ao 1º trimestre de 2015 (anexo C, com maior detalhe nos anexos C1 e C2).

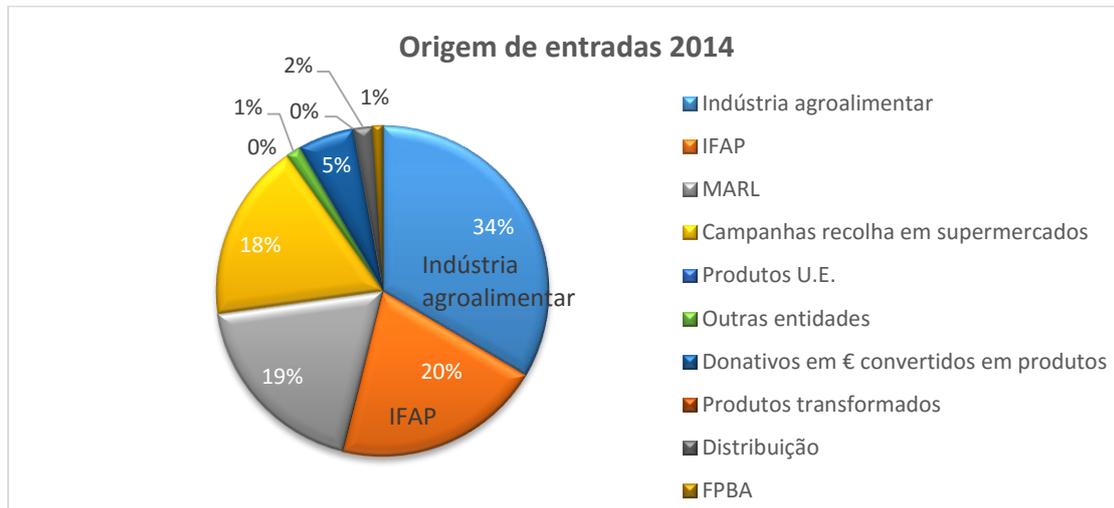


Figura 6 – Percentagem por origem de entrada de produtos no BA Lisboa em 2014

A indústria agroalimentar foi, também, em 2014, um importante parceiro do BA Lisboa, doando 34% dos produtos que entraram em armazém. As campanhas de recolha de alimentos representaram, por sua vez, 18% das entradas.

No anexo D são apresentadas previsões para a entrada de produtos (total, frescos e secos), para os anos de 2015 a 2017, recorrendo ao método de alisamento exponencial duplo e ao método de Holt [3]. Estas previsões foram realizadas pelo facto de a entrada de produtos representar uma forte aleatoriedade na atividade diária de cada banco alimentar.

#### 4.2. Instituições apoiadas pelo BA Lisboa e pela FPBA

O Banco Alimentar foi criado com o objetivo de ajudar a população mais carenciada, através das instituições de solidariedade social. Ao longo dos anos essa ajuda tem abrangido cada vez mais pessoas, como se pode observar nas figuras 7 e 8.

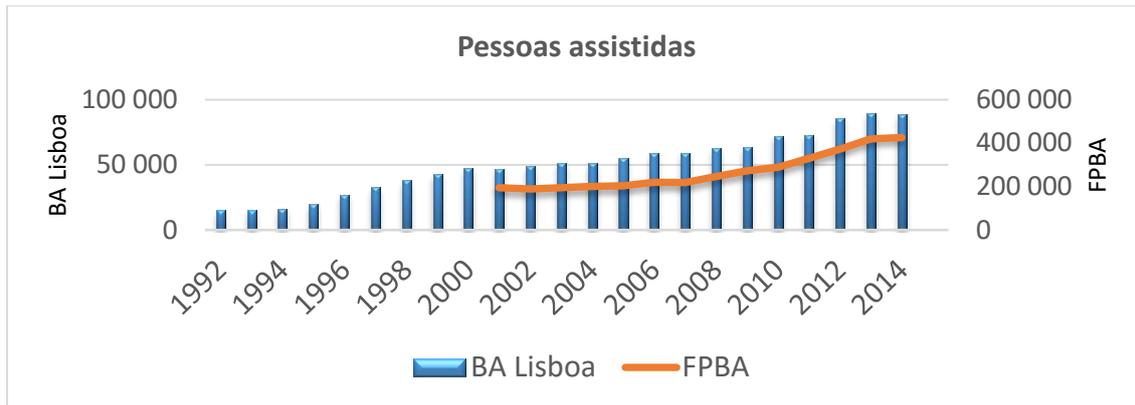


Figura 7 – Evolução do número de pessoas assistidas pelo BA Lisboa e pela FPBA

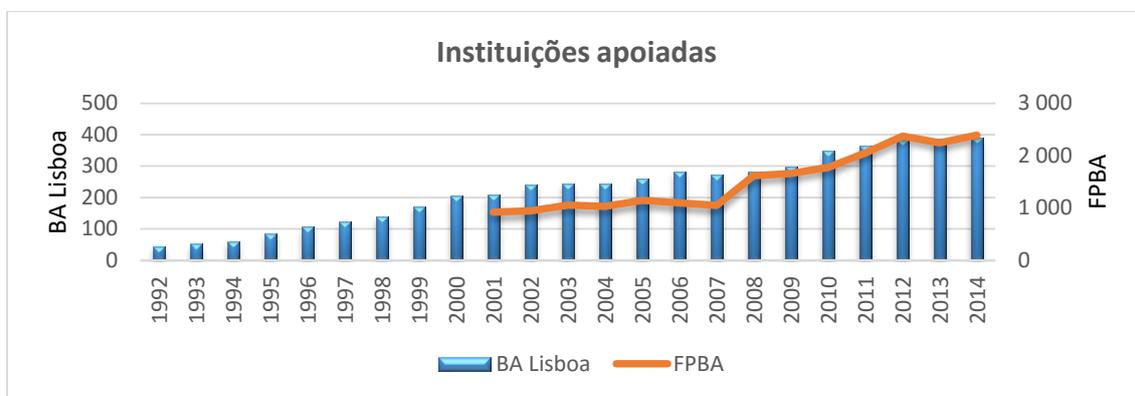


Figura 8 – Evolução do número de instituições apoiadas pelo BA Lisboa e pela FPBA

No primeiro ano de existência do BA em Portugal (apenas o BA Lisboa) foi possível ajudar 15 000 pessoas através de 45 instituições. Em 2014, a FPBA assistiu 425 251 pessoas através de 2 389 instituições, tendo o BA Lisboa ajudado 88 989 pessoas carenciadas em 389 instituições de solidariedade social.

Tal como acontece com a entrada de produtos (figura 4), também é nos centros urbanos com mais população que se registam os maiores valores para os indicadores de apoio. No anexo E estão representados os totais de pessoas e de instituições ajudadas, por cada BA, no ano de 2014.

Cada instituição tem de assinar um acordo com o BA para que possa ter direito a levantar os produtos alimentares do armazém. No anexo F está representada a evolução dos tipos de acordo assinados entre as instituições e o BA Lisboa. O tipo de acordo assinado por uma instituição está, além de outros fatores, relacionado com o tipo de serviço que esta presta aos seus utentes (anexo G).

### 4.3. Campanhas de recolha de alimentos

As campanhas de recolha de alimentos são momentos importantes para os Bancos Alimentares, pois é delas que provém grande parte dos produtos não perecíveis que o BA distribui ao longo do semestre.

Das três campanhas existentes, a Campanha Saco é a mais antiga e reconhecida junto do público, tendo, por isso, maior expressividade quando comparada com as restantes campanhas. Pode ver-se nas figuras 9 e 10 que as recolhas durante as campanhas, quer no BA Lisboa, quer na FPBA, aumentaram até 2012. Nos últimos três anos, houve uma quebra das doações que pode ser explicada com a redução de rendimento da população portuguesa.

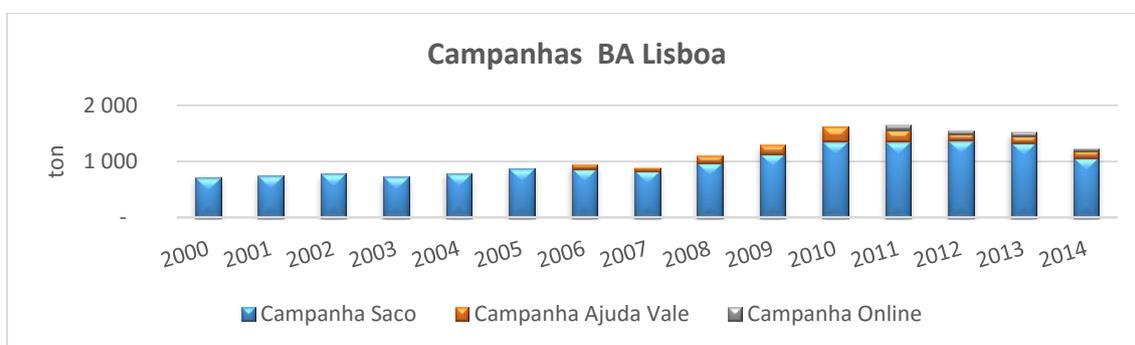


Figura 9 – Evolução da recolha de alimentos em campanha no BA Lisboa

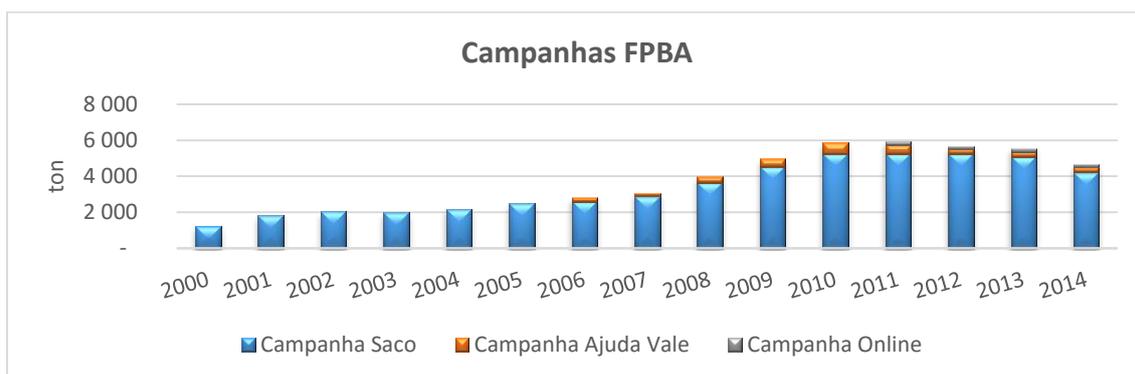


Figura 10 – Evolução da recolha de alimentos em campanha na FPBA

Nas figuras 11 e 12, estão representadas as percentagens das recolhas obtidas nas campanhas que decorreram no ano de 2014, para o BA Lisboa e para a FPBA, respetivamente.

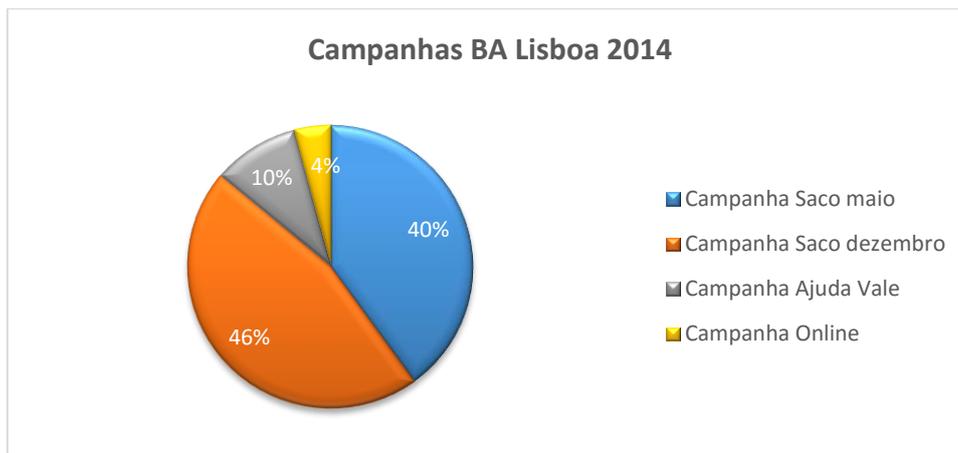


Figura 11 – Share de campanhas no BA Lisboa em 2014

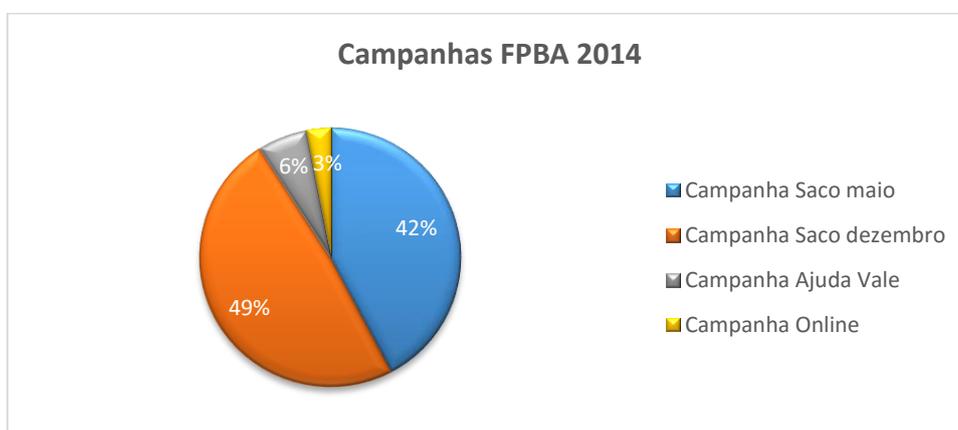


Figura 12 – Share de campanhas da FPBA em 2014

A Campanha Saco representou 86% do total das recolhas obtidas em campanha, para o BA Lisboa, sendo que na campanha de dezembro se registou um maior número de doações. No total, com a Campanha Saco foi possível recolher 1 063,26 toneladas de produtos, enquanto que com as Campanhas Ajuda Vale e Online se recolheu o equivalente a 120,3 e 51,15 toneladas, respetivamente.

Por sua vez, na FPBA a Campanha Saco representou 91% do total das recolhas obtidas em campanha. No total, com a Campanha Saco foram recolhidas 4 234,87 toneladas de produtos, com as Campanhas Ajuda Vale e Online recolheu-se o equivalente a 282,92 e 140,17 toneladas, respetivamente.

A figura 13 reflete os dados relativos à última campanha de recolha de alimentos, para o BA Lisboa, que decorreu no último fim de semana de maio deste ano.

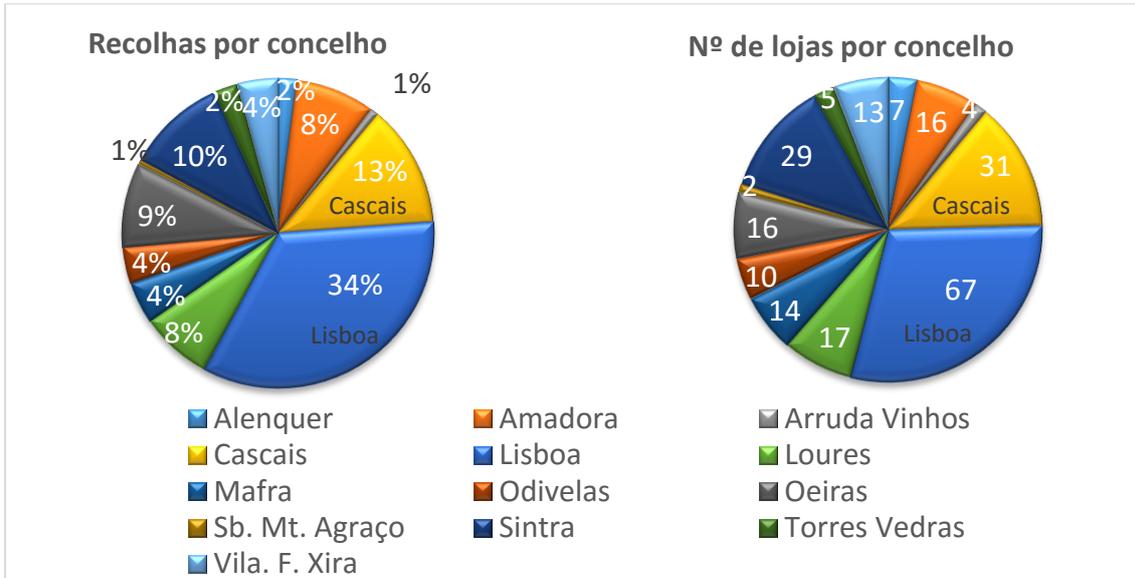


Figura 13 – Recolha Campanha Saco por concelho do BA Lisboa em maio de 2015

O concelho de Lisboa foi onde se registou uma maior percentagem de recolhas dos produtos totais (34%) e onde mais lojas aderiram à Campanha Saco (67). Estes resultados podem justificar-se devido a Lisboa ser o concelho com maior população.

Na figura 14 estão expressos os dados relativos às cadeias de supermercados que participaram na Campanha Saco de maio de 2015.

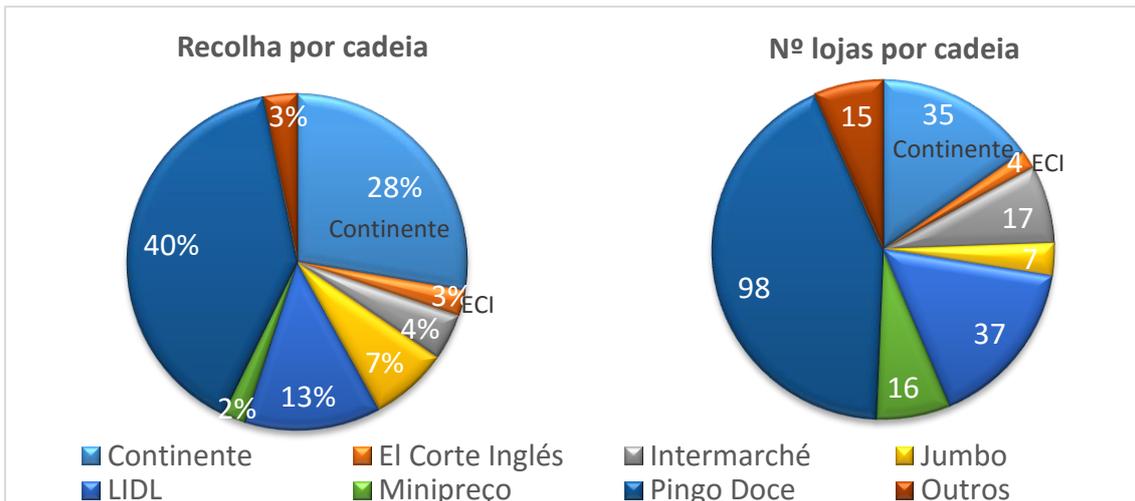


Figura 14 – Recolha Campanha Saco por cadeia no BA Lisboa em maio de 2015

O Pingo Doce foi a cadeia de supermercados onde mais produtos foram recolhidos (40%) e foi também a cadeia com um maior número de lojas participantes (98), devido à sua grande dispersão pelos concelhos abrangidos pelo BA Lisboa. Por sua vez, O LIDL foi a segunda maior cadeia em lojas participantes na campanha (37). No entanto, e



devido à maior dimensão das suas lojas, o Continente (que inclui as lojas Modelo) foi a segunda cadeia em termos de recolha de produtos (28%).

O número de lojas aderentes à Campanha Saco tem aumentado sucessivamente ao longo dos anos, quer na região do BA Lisboa, quer a nível nacional (anexo H).

#### 4.4. Doações monetárias

Como instituição de solidariedade sem fins lucrativos, o BA vive de doações para poder exercer a sua atividade. Nesta secção serão apresentados alguns dados relativos aos donativos monetários que recebe.

##### 4.4.1. Campanha Papel por Alimentos

A campanha Papel por Alimentos surgiu apenas em 2012 e teve alguma expressão no ano seguinte, com a conversão do dinheiro obtido em alimentos a representar 2,1% dos produtos que entraram em armazém do BA Lisboa, em 2013 (figura 15).



Figura 15 – Conversão do dinheiro obtido na campanha em alimentos

A nível nacional, em 2014, foram recolhidos 3 041 441 kg de papel para reciclar, como se pode verificar na figura 16, sendo o BA Lisboa e o BA Algarve os que mais contribuíram, com 645 150 kg e 484 700 kg de papel, respetivamente (figura 17).



Figura 16 – Evolução do papel recolhido na FPBA



Figura 17 – Total de papel recolhido por BA em 2014

#### 4.4.2. Doações monetárias de particulares e empresas

Sendo o BA uma instituição sem fins lucrativos depende de donativos monetários para fazer face às suas despesas financeiras, quer com remunerações de pessoal, quer com custos decorrentes da sua atividade operacional. Os donativos de particulares e de empresas são, assim, vitais para a sobrevivência do BA.



Figura 18 – Doações monetárias de particulares e empresas ao BA Lisboa

Apesar da crise económica sentida nos últimos anos, ao contrário do que aconteceu com as doações de produtos, nomeadamente, durante as campanhas de recolha, as doações monetárias provenientes de particulares têm aumentado, contrariando a tendência das doações das empresas, como se pode verificar na figura 18.

#### 4.5. FPBA versus FEBA

Os valores que regem o funcionamento dos BA são universais, no entanto existem diferenças de gestão e organização em cada país. Comparando a FPBA e a FEBA é possível ver na figura 19, por exemplo, diferenças na origem dos produtos que entram em armazém.



Figura 19 – Comparação entre a origem dos produtos na FPBA e na FEBA

Em 2014, os produtos provenientes da União Europeia representaram 55% das entradas na FEBA. Por sua vez, na FPBA os produtos vêm em maior quantidade da indústria portuguesa (35%).

Na figura 20 estão representados os tipos de produtos que deram entrada nos armazéns das Federações de Bancos Alimentares, num conjunto de países (Bulgária, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Lituânia, Países Baixos, Polónia, Portugal, Sérvia, Espanha e Ucrânia) pertencentes à FEBA, em 2014.

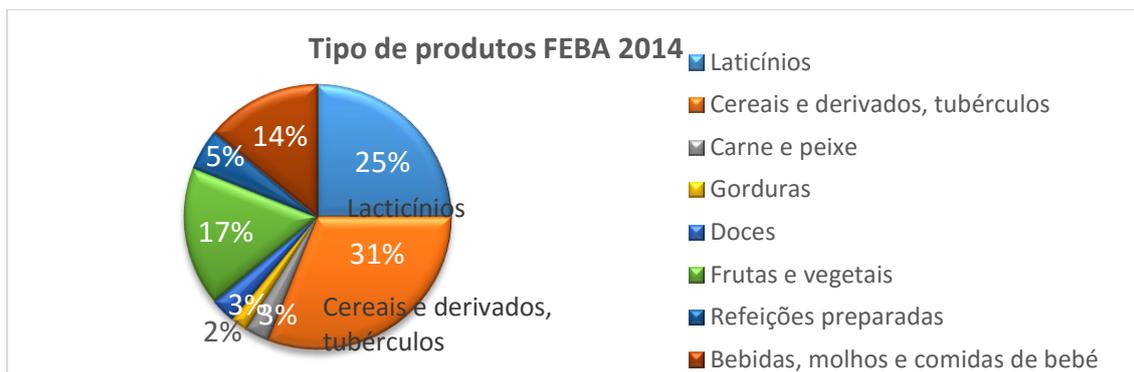


Figura 20 – Entrada por tipo de produto na FEBA em 2014

Os alimentos ricos em amido (cereais e derivados, tubérculos) e os lacticínios foram as famílias de produtos que mais entraram no referido conjunto de países da FEBA.

Na tabela 1 é apresentada uma comparação entre o número de instituições e pessoas ajudadas e as pessoas envolvidas no trabalho dos BA, em 2014, na FEBA e na FPBA.

	FEBA	FPBA	Share da FPBA
Nº de associações ajudadas	31 000	2 116	7%
Nº de pessoas assistidas	5 200 000	334 000	6%
Nº pessoas envolvidas	10 900 000	621 000	6%
Voluntários	90%	91%	
Empregados	8%	8%	
Contratos sociais	2%	1%	

Tabela 1 – Comparação entre a FEBA e a FPBA



## Parte II: Otimização de Rotas na Campanha Saco

A redução de custos, no processo de distribuição, é um dos grandes desafios que uma organização (empresa/instituição) enfrenta. Existem diversos custos (variáveis e fixos) a ter em conta, consoante o ramo de atividade em que a organização atua.

Os custos de transporte são, na maioria dos casos, dos que mais peso têm no custo logístico total – foi estimado que podem representar cerca de metade dos custos de logística e, em alguns casos, até 70% do valor acrescentado do produto pode advir destes custos [2] – o que se reflete no preço final do produto, junto do cliente. Esses custos podem traduzir-se em distância percorrida, duração do serviço de entrega/recolha, custos salariais dos motoristas, custos de combustível, etc.

Assim, a diminuição dos custos incorridos no processo distributivo torna-se um grande objetivo para os gestores. No caso da Campanha Saco do BA Lisboa existe interesse em minimizar os custos de transporte, uma vez que os veículos são cedidos, de forma voluntária, pelas instituições apoiadas.

### 1. Enquadramento teórico

A otimização dos custos de transporte é um tema amplamente estudado na literatura especializada de investigação operacional. Neste âmbito ficou conhecido o *Vehicle Routing Problem* (VRP) que consiste em elaborar rotas para veículos em que cada um apenas faz uma rota e existe um único depósito. O objetivo é conseguir rotas de custo ótimo, sendo cada cliente visitado uma única vez, cada rota é iniciada e finalizada no depósito e a carga de cada veículo tem de ser compatível com a sua capacidade. Têm surgido diversos estudos com variantes deste problema e diferentes métodos de resolução. As metodologias de resolução que foram sendo desenvolvidas para o VRP e suas variantes, têm como base o problema do caixeiro-viajante (*Traveling-Salesman Problem*, TSP). O TSP consiste em determinar qual a rota mais curta para um vendedor (ou veículo sem capacidade definida) que parte da sua cidade e tem de visitar um certo número de outras cidades, passando uma e uma só vez por cada uma, e regressando ao ponto de partida. Cedo se percebeu que a programação matemática poderia ser uma mais-valia para a resolução do TSP [1].

Nesta primeira secção serão apresentadas as principais variantes do VRP [7, 12] e métodos de resolução para algumas delas, nomeadamente para o *Capacitated Vehicle Routing Problem* e para o *Vehicle Routing Problem with Time Windows*.

### 1.1. Principais variantes do VRP

Ao longo dos anos, vários estudos foram surgindo, com variantes ao VRP, procurando tornar o clássico problema do TSP mais ajustável à realidade vivida nas organizações. Assim, as principais variantes<sup>2</sup>, tendo sempre como objetivo principal a minimização da distância percorrida, são problemas que apresentam restrições a nível:

- da capacidade dos veículos (*Capacitated Vehicle Routing Problem – CVRP*). Esta é a variante que consiste em considerar que os veículos têm capacidades iguais as quais devem ser tidas em consideração aquando da formação de rotas;
- da heterogeneidade da frota de veículos (*Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem – HFVRP*). Esta variante é uma generalização direta da anterior e tem em conta que, por vezes, a frota de veículos disponíveis nem sempre é igual, podendo diferir em capacidade, custos e tipo de produtos que pode transportar. Pode, por exemplo, ser composta por veículos frigoríficos e veículos com carga “normal”;
- do número de depósitos (*Multiple Depot Vehicle Routing Problem – MDVRP*). Esta variante caracteriza-se pela existência de diversos depósitos que servem um conjunto de clientes. As rotas são criadas de modo a que cada cliente seja servido por um único depósito;
- de limites temporais para as entregas ou recolhas (*Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW*). A particularidade desta variante prende-se com o facto de, por vezes, as entregas ou recolhas terem de respeitar um certo horário, por norma, imposto pelo cliente. Ou seja, existe uma janela temporal durante a qual a entrega deve ser feita. Aqui, é frequente haver um duplo objetivo: minimizar a distância percorrida e minimizar o tempo de trabalho;

---

<sup>2</sup> Com exceção da variante MDVRP, em todas as outras aqui apresentadas, considera-se que existe um único depósito de onde partem todos os veículos e onde todas as rotas terminam.



- da quantidade de produto a ser entregue ao cliente (*Vehicle Routing Problem with Split Deliveries – VRPSD*). Ao contrário do que sucede nos casos anteriores, aqui é possível que um cliente seja visitado mais do que uma vez, por um ou mais veículos, se tal resultar numa redução global de custos. As heurísticas desenvolvidas, com base na de Dror e Trudeau [6], propõem que se divida a entrega, a um cliente, por diferentes veículos que podem ter uma rota diferente cada vez que saem do depósito. O objetivo do VRPSD consiste em minimizar não só o número de veículos utilizados como o tempo total para satisfazer a procura de todos os clientes;
- do conhecimento parcial dos parâmetros envolvidos (*Stochastic Vehicle Routing Problem – SVRP*). Nem sempre é possível conhecer todos os parâmetros necessários à resolução clássica de um VRP. Nesses casos, a aleatoriedade associada a clientes, a procuras ou ao tempo de viagem, leva a que seja necessário tomar decisões que tenham em consideração essas características do problema. No SVRP a solução encontrada para cada rota, é a que se espera ser a melhor para a minimização de custos;
- da dinâmica do problema (*Dynamic Vehicle Routing Problem – DVRP*). Alguns imprevistos podem acontecer após a determinação das rotas de entrega: alteração da quantidade a entregar, mudança das janelas temporais já estabelecidas, avaria de um veículo, etc. Desta forma, é necessário fazer um novo planeamento no decorrer da operação, com vista a solucionar esses percalços.

Seguidamente serão apresentados métodos de resolução para os problemas CVRP, HFVRP e VRPTW. Estas duas últimas variantes do VRP merecem um especial destaque pois o problema de roteamento para o BA Lisboa durante a Campanha Saco define-se como uma combinação destas, como será explicado mais à frente, na secção.

## 1.2. Resolução do CVRP

Dantzig e Ramser [5] propuseram um algoritmo de resolução não exato para o CVRP, que tinha como objetivo determinar não só as rotas de menor comprimento total, ligando um único depósito com um determinado número de pontos de entrega ( $n$ ), mas também satisfazer a procura de todos os clientes. Trata-se, portanto, de uma



generalização do TSP ao qual se acrescentam algumas particularidades, nomeadamente a quantidade a ser entregue a cada cliente ( $q_i$ ), a frota com mais de um veículo e a capacidade dos veículos que se assume igual para todos ( $C$ ).

No problema apresentado em [5], a relação entre  $C$  e as quantidades a entregar verifica  $C < \sum_i^n q_i$ , ou seja, a capacidade  $C$  de cada um dos veículos, que vai fazer o transporte do produto do armazém aos clientes, é inferior à quantidade total a entregar aos  $n$  clientes. No caso do TSP, o veículo tem capacidade para fazer todas as entregas ( $C \geq \sum_i^n q_i$ ).

O método apresentado consiste na agregação de clientes por fases de acordo com a procura dos clientes e com base em sub-otimizações. As procuras são inicialmente ordenadas por quantidade de forma crescente e define-se um valor  $t$ , de modo a que  $C \geq \sum_{i=1}^t q_i$  e  $C < \sum_{i=1}^{t+1} q_i$ . Assim,  $t$  representa o número máximo de clientes que podem ser visitados por um veículo de capacidade  $C$ . Depois, é calculado um valor  $N = \log_2 t$ , que representa o número máximo de fases de agregação permitido. Na primeira fase de agregação, apenas são permitidas junções de clientes que respeitem a condição  $\frac{C}{2^{N-1}} \geq \sum_{i=1}^t q_i$ . As possíveis junções de clientes vão sendo realizadas por ordem crescente de distância entre si. Na fase final, os pares de clientes a juntar são determinados de modo a que a distância percorrida seja mínima.

### 1.3. Heurística de *savings* para o HFVRP

Com base na heurística apresentada na secção anterior, Clarke e Wright [4] desenvolveram um novo método, para veículos com capacidades diferentes, que visava resolver algumas das limitações iniciais, nomeadamente, o elevado tempo que pode vir a ser consumido na resolução de um problema, mesmo apresentando um pequeno número de clientes. Essa limitação deve-se ao facto de serem permitidas quaisquer agregações em que a procura servida não exceda  $\frac{C}{2^{N-1}}$ . Assim, podem ser ligados dois pontos que estejam geograficamente em extremidades opostas do eixo virtual que liga o depósito e os diversos clientes. O resultado mostra que o método proposto por Dantzig e Ramser dá maior ênfase a carregar os veículos até ao seu limite do que a minimizar a distância percorrida.



Desde modo, Clarke e Wright alteraram o método de resolução propondo que seja possível, em cada fase de agregação, juntar dois pontos quaisquer que não excedam a capacidade  $C$  do veículo que fará a rota agregada. Isso é possível se, para a  $r$ -ésima fase, forem permitidas apenas agregações que não excedam  $\frac{C}{2^{N-r}}$ . Este método apresentou melhores resultados do que os apresentados por Dantzig e Ramser, contudo essas melhorias dependem da variabilidade das procuras. Isto levou Clarke e Wright a procurarem um outro método de resolução para o problema. Em seguida, é abreviadamente explicado o novo método heurístico desenvolvido por Clarke e Wright.

### 1.3.1. Parâmetros do problema

Para que seja possível formalizar esta heurística, é necessário definir os parâmetros do problema HFVRP, com  $m$  veículos e  $n$  clientes.

Assim:

$C_k$  - capacidade do veículo  $k$  ( $k = 1, \dots, m$ );

$q_i$  - quantidade de produto a ser entregue ao cliente  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ );

$d_{ij}$  - distância entre os clientes  $i$  e  $j$  e entre os clientes e o depósito 0 ( $i = 0, \dots, n$ ;  $j = 0, \dots, n$ ;  $i \neq j$ ).

Por conveniência, assume-se que as capacidades  $C_k$  são, inicialmente, ordenadas de forma crescente ( $C_{k-1} < C_k$ ,  $k = 2, \dots, m$ ) e  $C_1 < \sum_{i=1}^n q_i$ . Note-se que quando  $C_m \geq \sum_{i=1}^m q_i$  se está perante o caso do TSP.

### 1.3.2. Ilustração da heurística de savings

A heurística desenvolvida por Clarke e Wright ficou conhecida como heurística de *savings*. Inicialmente, criam-se rotas individuais entre o depósito e cada um dos clientes. Depois analisa-se o ganho, em unidades de distância, que se obtém juntando dois clientes.

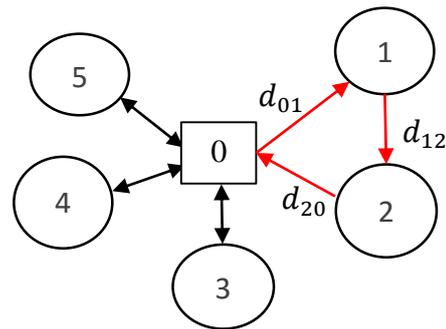
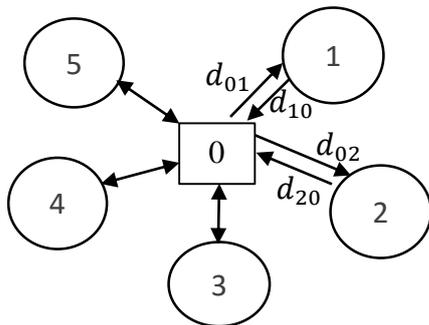


Figura 21 – Rotas individuais do depósito 0 aos clientes  $i$       Figura 22 – Junção dos clientes 1 e 2 na mesma rota

Segundo o exemplo apresentado na figura 21, se os clientes 1 e 2 forem servidos por diferentes rotas, os veículos (cada veículo uma rota) irão percorrer uma distância total entre o depósito e o cliente 1 e de volta ao depósito, mais a distância entre o depósito e o cliente 2 e de volta ao ponto de partida. Ou seja, as rotas dos veículos terão um comprimento de  $d_{01} + d_{10} + d_{02} + d_{20}$ .

Na figura 22, representa-se uma rota que visita os clientes 1 e 2. Aqui, a distância total percorrida pelo veículo será de  $d_{01} + d_{12} + d_{20}$ . Com o suprimir das viagens de volta ao depósito após a visita a 1 e de ida do depósito a 2, consegue-se uma “poupança” igual à diferença entre a distância inicialmente percorrida e a distância efetuada na rota única. Generalizando, seja  $s_{ij}$  a poupança (*saving*) conseguida com a junção dos dois clientes  $i$  e  $j$  na mesma rota:  $s_{ij} = (d_{0i} + d_{i0} + d_{0j} + d_{j0}) - (d_{0i} + d_{ij} + d_{j0}) \Leftrightarrow s_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ .

Após o cálculo dos *savings* para todos os pares de clientes, estes são ordenados por ordem decrescente. O maior *saving* representa o maior ganho, na junção de dois pontos de entrega. Começando com o primeiro par de clientes, da lista ordenada dos *savings*, averigua-se se é possível juntá-los, numa mesma rota, tendo em conta a capacidade do veículo que realizará essa rota e assim, sucessivamente, até que não se possa alargar nenhuma das rotas já construídas. Apenas podem ser juntos dois clientes  $i$  e  $j$  que pertençam a rotas diferentes e estejam diretamente ligados ao depósito.



#### 1.4. Resolução do VRPTW

No caso dos problemas com janelas temporais, a entrega ou recolha de produtos tem de ser feita, não só na quantidade desejada, pelo cliente, mas também, num horário pré-estabelecido [2]. O não cumprimento desse horário poderá originar perdas para a empresa distribuidora. Solomon [11] apresentou diversos métodos de resolução para este problema, que se define com os seguintes parâmetros e variáveis, para além dos apresentados, anteriormente, para o HFVRP:

$e_i$  – o momento mais cedo (*earliest time*) acordado para a entrega ao cliente  $i$ ;

$l_i$  – o momento mais tarde (*latest time*) acordado para a entrega ao cliente  $i$ ;

$s_i$  – o tempo que demora a entrega ao cliente  $i$ ;

$t_{ij}$  – o tempo de viagem do cliente  $i$  para o cliente  $j$ ;

$b_i$  – o momento efetivo de entrega no cliente  $i$ .

Se os clientes  $i$  e  $j$  estiverem na mesma rota e se  $j$  for visitado imediatamente a seguir a  $i$ , então é possível calcular  $b_j = \max [e_j, b_i + s_i + t_{ij}]$ , o momento efetivo da entrega, ao cliente  $j$ . Pode acontecer que o veículo chegue demasiado cedo ao segundo cliente e, nesse caso, existirá um tempo de espera, ao qual pode estar associado um custo. Solomon assume que existe um custo direto, de viajar de  $i$  para  $j$ , dado por  $c_{ij} = \rho_1 d_{ij} + \rho_2 (b_j - b_i)$ , calculado com os pesos  $\rho_1 \geq 0$ ,  $\rho_2 \geq 0$ . Se  $\rho_1 = 0$  e  $\rho_2 = 1$ , está-se perante um caso em que, o objetivo é minimizar a duração da rota.

Entre as propostas apresentadas por Solomon para resolver este problema, encontra-se uma adaptação da heurística de *savings*, formalizada por Clarke e Wright. Nesta adaptação considera-se uma rede  $G$  orientada em resultado das janelas temporais. Para identificar uma possível junção há que verificar se duas rotas, com clientes finais  $i$  e  $j$ , respetivamente, têm orientações compatíveis para a sua junção. Essa compatibilidade dá-se se  $i$  é o último e  $j$  é o primeiro cliente das respetivas rotas, isto é, se a ligação é admissível do último cliente de uma rota, para o primeiro de outra. É necessário verificar, em cada passo, para além da capacidade dos veículos, as restrições temporais.



Apesar de o método de *savings* juntar clientes geograficamente perto, estes podem não ser temporalmente próximos, ou seja, a diferença entre o momento efetivo de chegada a  $j$  ( $b_j$ ) e o momento mais cedo previamente acordado ( $e_j$ ) pode ser muito grande. Este caso leva a que o veículo tenha um tempo de espera elevado, tempo esse que poderia ser aproveitado para visitar outro cliente. Solomon propõe então que se crie uma restrição que limite o tempo de espera do veículo em cada cliente. Seja  $w_j$  o tempo de espera em  $j$ , se  $i$  e  $j$  forem visitados em sequência, e  $W$  um parâmetro que define o tempo máximo, que cada veículo pode esperar, para fazer a entrega ao cliente. Se  $w_j > W$ , então  $i$  e  $j$  não devem estar seguidos numa rota.

## 2. Apresentação do problema de roteamento no BA Lisboa

Durante a Campanha Saco do Banco Alimentar de Lisboa, é necessário garantir que os produtos recolhidos, nas lojas da região, são levados até ao armazém do BA Lisboa. Segue-se uma descrição resumida do procedimento realizado pela Comissão de Transportes da campanha.

Para que este transporte seja possível, a Comissão de Transportes solicita a todas as instituições apoiadas, que disponibilizem os seus veículos e motoristas. Consoante vão chegando as respostas da disponibilidade dos veículos, a Comissão de Transportes vai, manualmente, atribuindo a cada veículo, uma loja ou conjunto de lojas, de acordo com a dimensão, não só do veículo, mas também da loja em questão.

Existem algumas lojas que se encontram em auto-gestão. Isto significa que a equipa de voluntários presente na loja é responsável, não só pela recolha de alimentos, mas também pelo seu transporte até ao BA Lisboa. Desta forma, a Comissão de Transportes não precisa de atribuir nenhum veículo a estas lojas. Podem também existir veículos que em todas as campanhas se disponibilizem para fazer a recolha de determinadas lojas e, desta forma, a Comissão de Transportes não tem de atribuir nenhum veículo às mesmas.

Existem ainda alguns camiões TIR, disponíveis durante a campanha, que são atribuídos, previamente, às superfícies comerciais de maior dimensão.

O problema de otimização de rotas na Campanha Saco do BA Lisboa envolve o processo de atribuição dos veículos às lojas e a elaboração das respetivas rotas, de recolha e entrega de produtos doados pela população no BA Lisboa, considerando os seguintes aspetos:

- a) a campanha decorre durante dois dias consecutivos (sábado e domingo);
- b) existem sempre mais lojas participantes do que veículos disponíveis ( $n < m$ );
- c) a cada loja é atribuído apenas um veículo por dia, para facilitar as recolhas;
- d) a disponibilidade dos motoristas (se estão disponíveis nos dois dias de campanha ou apenas num dia), sendo que cada veículo tem antecipadamente atribuído o seu motorista;
- e) as preferências geográficas dos motoristas pelo concelho da respetiva instituição;
- f) a capacidade de carga máxima de cada veículo;
- g) a dimensão das lojas tem de ser compatível com a capacidade do veículo, por exemplo, não atribuir a um carro de grandes dimensões uma loja com pouca recolha;
- h) o horário de fecho das lojas, para garantir que é possível recolher os produtos em todas depois do fecho e sem que os voluntários nas lojas tenham de esperar muito tempo pelos veículos;
- i) a necessidade de mais do que uma recolha por dia em algumas lojas;
- j) a matriz de distâncias entre os pares de lojas e entre as lojas e o BA Lisboa é conhecida e não simétrica ( $d_{ij} \neq d_{ji}$ ).

Considerando todos estes aspetos, conclui-se que o problema aqui apresentado é, nos seus aspetos essenciais, um *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows* (HFVRPTW) pois, a frota disponível inclui veículos com diferentes capacidades, existindo janelas temporais, para a recolha dos produtos, dependentes dos horários de funcionamento das lojas. Note-se que o problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa tem algumas particularidades adicionais não contempladas na definição do HFVRPTW, nomeadamente, a duração da campanha (a);



as preferências dos motoristas por rotas em determinadas zonas (e); e a possibilidade de mais de uma visita a cada loja por dia (i).

Quase todas as lojas abrem no mesmo horário, não constituindo este um problema, pois, o veículo pode fazer a recolha numa loja algum tempo após esta abrir e em seguida ir a outra. Havendo contacto permanente com as equipas de voluntários presentes nas lojas a que o veículo está destinado, na primeira visita do dia é apenas necessário assegurar que já há produtos para recolher mas sem acumular uma grande quantidade em cada loja. O maior problema para planeamento de rotas prende-se com os horários de fecho das superfícies comerciais que, muitas vezes, também coincidem, fazendo com que os voluntários tenham de esperar algum tempo pelo veículo. Pretende-se, então, reduzir esse tempo de espera.

Este não é um caso de *split deliveries*, pois a cada loja só é atribuído um veículo e, parte-se do princípio de que, não é necessário alterar a rota habitual de um veículo para servir a outra loja. Contudo, podem acontecer duas situações distintas que levam à alteração de rotas: não ser necessário, numa das viagens, o escoamento de uma das lojas e, assim, por exemplo, o veículo apenas percorrer duas lojas em vez das três que lhe estão destinadas; ou, por exemplo, no primeiro dia da campanha (sábado) o veículo só ter atribuídas duas lojas, mas no domingo ser necessário que cubra mais uma, devido à redução do número de veículos disponíveis. No entanto, nenhum dos casos descritos corresponde à definição dos problemas definidos como *split deliveries* [6], apesar de na realidade as recolhas nas lojas serem feitas de forma fracionada, uma vez que cada veículo poderá ir à(s) sua(s) loja(s) mais do que uma vez, em cada dia.

Para a resolução do problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa foram feitas algumas decomposições e simplificações, nomeadamente, a setorização por concelho e a consideração apenas da última recolha do primeiro dia de campanha, sábado, eventualmente a única do dia em algumas lojas. Uma formalização para este problema, denominado de roteamento restrito, é apresentada no ponto seguinte, definindo como objetivo a minimização da distância percorrida pelos veículos e a minimização do tempo do último momento de visita às lojas. Com este segundo objetivo pretende-se reduzir o tempo de espera dos voluntários pelo veículo no final



do dia. Para o problema restrito consideraram-se as seguintes condições do problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa: o facto de existirem mais lojas que veículos (b), a limitação de um veículo atribuído a cada loja (c), a disponibilidade e preferências do motorista (d, e), o respeito pela capacidade do veículo (f), a compatibilidade de dimensão entre lojas e veículos (g) e as janelas temporais dos voluntários nas lojas (h) e a não simetria da matriz de distâncias (j). Para determinar uma solução para o problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa as restantes rotas de sábado são consideradas idênticas à resultante da solução do modelo restrito e para domingo deverão ser atribuídos às lojas os mesmos veículos, se ainda estiverem disponíveis nesse dia, e as lojas que restarem devem ser incluídas em outras rotas cujos veículos apresentem capacidade excedentária ou atribuídas aos veículos com disponibilidade para o segundo dia de campanha. O estudo das rotas para domingo bem como de uma heurística para determinar soluções para o problema (completo) de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa é um tema a ser estudado num trabalho futuro.

### 3. Modelização do problema de roteamento restrito

Nesta secção será apresentado um modelo de programação linear inteira mista para o problema de elaboração de rotas na Campanha Saco do BA Lisboa, restringido por concelho, de acordo com as simplificações apresentadas na secção anterior e não considerando nem as lojas em auto-gestão, nem as lojas com camião TIR atribuído.

Seja o grafo  $G = (V, A)$  orientado, formado pelo conjunto de vértices  $V = \{v_0, \dots, v_n\}$ , ligados por arcos do conjunto  $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ . O vértice  $v_0$  representa o armazém (BA Lisboa) onde se encontram os  $m$  veículos disponibilizados pelas instituições para o dia de sábado, com capacidades  $\{C_1, \dots, C_m\}$ .

A cada vértice  $v_i$  de  $V \setminus \{v_0\}$  corresponde uma loja do concelho, loja  $i$ , a visitar com uma quantidade de produto a recolher dada por  $q_i$ . Ao conjunto  $A$  está associada uma matriz de distâncias  $d_{ij}$ , em quilómetros [12], não simétrica ( $d_{ij} \neq d_{ji}$ ). A assimetria deve-se a restrições de trânsito na rede rodoviária que, por vezes, fazem com que a



distância entre os pares de lojas e entre as lojas e o BA Lisboa não sejam iguais em ambos os sentidos.

Cada rota tem início e fim no armazém do BA Lisboa e cada loja é abrangida por uma única rota. Considera-se que o início da rota é nas instalações do BA Lisboa (representado por 0 e associado ao vértice  $v_0$ ) uma vez que, sendo o problema definido apenas para a última recolha, o veículo partirá de lá após ter descarregado a recolha anterior (que não é contemplada neste problema restrito).

Apresentam-se de seguida os índices, os parâmetros e a definição das variáveis de decisão, componentes necessários à formulação em programação matemática do problema de roteamento restrito para a Campanha Saco do BA Lisboa.

- Índices e parâmetros:

$i, j$  – locais [loja do concelho a visitar ou BA Lisboa] ( $i, j = 0, \dots, n$ );

$k$  – veículo disponível para sábado ( $k = 1, \dots, m$ );

$d_{ij}$  – distância entre os locais  $i$  e  $j$  ( $i, j = 0, \dots, n; i \neq j$ );

$q_i$  – quantidade de produtos a ser recolhida na loja  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ );

$C_k$  – capacidade do veículo  $k$  ( $k = 1, \dots, m$ );

$t_{ij}$  – tempo de viagem entre os locais  $i$  e  $j$  ( $i, j = 0, \dots, n; i \neq j$ );

$e_i$  – momento de possível início da última recolha da loja  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ );

$l_i$  – momento mais tarde para a última recolha da loja  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ );

$s_i$  – tempo de recolha dos produtos na loja  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ );

$\rho_1, \rho_2$  – valores reais para equilíbrio dos dois objetivos ( $\rho_1, \rho_2 \geq 0$ );

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo } k \text{ está disponível no sábado } (k = 1, \dots, m) \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

- Variáveis:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo } k \text{ visita a loja } j \text{ depois de visitar a loja } i (k = 1, \dots, m) \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

$b_{ik}$  – momento de chegada do veículo  $k$  à loja  $i$  ( $i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m$ );

$\delta$  – momento da última chegada dos veículos às lojas.

Com base em estudos anteriormente feitos para problemas com janelas temporais [8, 9] apresenta-se de seguida o modelo para este problema de roteamento restrito, incluindo a respetiva função objetivo e restrições.

- Função objetivo:

$$\text{Min } Z = \rho_1 \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n d_{ij} x_{ijk} + \rho_2 \delta \quad (1)$$

- Restrições:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=0, j \neq i}^n x_{ijk} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1, \quad k = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1, \quad k = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=0, j \neq i}^n x_{ijk} - \sum_{j=0, j \neq i}^n x_{jik} = 0, \quad i = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n q_i x_{ijk} \leq C_k y_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$b_{jk} \geq (b_{ik} + s_i + t_{ij}) - M(1 - x_{ijk}), \quad k = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 0, \dots, n \quad (7)$$

$$b_{jk} \geq t_{0j} - M(1 - x_{0jk}), \quad k = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (7')$$

$$e_i \sum_{j=0, j \neq i}^n x_{ijk} \leq b_{ik} \leq l_i \sum_{j=0, i \neq j}^n x_{ijk}, \quad k = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^m b_{ik} \leq \delta, \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad k = 1, \dots, m; \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 0, \dots, n; \quad i \neq j \quad (10)$$

$$b_{ik} \geq 0, \quad k = 1, \dots, m; \quad i = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$\delta \geq 0 \quad (12)$$

onde  $M$  representa um número real positivo muito grande.

A função objetivo (1) traduz a intenção de minimizar a distância total percorrida e o momento de início da última recolha de sábado. Através dos parâmetros  $\rho_1, \rho_2$  atribui-se o peso desejado a cada objetivo. As restrições (2) garantem que a cada loja  $i$  é atribuído um e um só veículo. Nas restrições (3) e (4) está imposta a saída e entrada de cada veículo  $k$  no armazém do BA Lisboa. As equações (5) garantem o fluxo de cada rota, ou seja, asseguram que se o veículo  $k$  entra na loja  $i$  então, também, sai da loja  $i$ .



As restrições (6) garantem que a capacidade de carga do veículo  $k$  não é excedida. As restrições (7) definem o momento de chegada do veículo  $k$  à loja  $j$  que é antecedido pelo momento de chegada à loja  $i$  (ou pelo momento de partida do depósito, no caso das restrições (7')). Nas restrições (8) é garantido o cumprimento da janela temporal para cada loja  $i$ , pelo veículo  $k$ . As restrições (9) e a função objetivo calculam o momento da última chegada dos veículos às lojas, valor da variável  $\delta$ . Por fim, as restrições (10), (11) e (12) definem o domínio das variáveis utilizadas.

## 4. Método de resolução

Devido à elevada complexidade do problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa em estudo, problema de rotas com restrições variadas impostas por considerações de carácter humano e técnico, optou-se por simplificá-lo (problema de roteamento restrito, definido no final da secção 2 e modelizado na secção 3) e por desenvolver, para esse problema restrito, um algoritmo não exato baseado no algoritmo de *savings* proposto por Clarke e Wright [4]. O algoritmo foi programado utilizando a aplicação *Visual Basic for Applications* (VBA) do *Excel* [10].

Pretendeu-se dar resposta às restrições presentes no problema restrito (b, c, d, e, f, g, h, j) e aos seus objetivos, criando rotas com as lojas mais próximas, para que a distância total percorrida, pelos veículos, seja a menor possível, e para que o tempo de espera dos voluntários, na última recolha, não seja muito grande. A heurística desenvolvida é um método de *savings* usual que procura reduzir a distância, sendo o objetivo de tempo de espera dos voluntários, indiretamente, considerado através da limitação no número de lojas visitadas.

Naturalmente, o ficheiro de *Excel*, produzido para este efeito, inclui, para além da chamada do programa em VBA relativo ao algoritmo para a determinação das rotas para cada concelho, a preparação dos dados e escrita das rotas por concelho.

### 4.1. Aplicação em VBA

O primeiro passo para a utilização deste programa, consiste na introdução dos dados conhecidos e a partir dos quais é possível executar o programa em VBA.



#### 4.1.1. Dados

À partida, são conhecidas as lojas que irão participar na campanha de recolha de alimentos e as respetivas moradas. Com recurso à aplicação *Google Maps*, constrói-se uma matriz de distâncias entre as lojas de cada concelho e entre estas e o BA Lisboa. É criada uma matriz para cada concelho, em diferentes folhas do mesmo ficheiro *Excel*.

Através do registo histórico existente, no sistema informático do BA Lisboa, é possível consultar a quantidade de produtos recolhidos, em cada loja, nas últimas Campanhas Saco. Introduce-se essa informação, para que seja possível obter uma estimativa da quantidade de produtos que se pode esperar recolher em cada loja e também as lojas que se encontram em auto-gestão ou que já têm um veículo atribuído.

Conhecem-se também as associações que cedem os seus veículos, qual o tipo de transporte e a disponibilidade que o motorista terá. Introduce-se esses dados, em forma de lista, numa outra folha do ficheiro de *Excel* em que se escreve o programa, contendo a informação sobre o tipo de veículo, a sua capacidade de carga, a disponibilidade do motorista e o concelho ao qual pertence a respetiva instituição.

Por fim, introduzem-se as informações referentes às lojas que se encontram em auto-gestão e aos camiões TIR disponíveis. As lojas que têm um veículo pré-atribuído são tratadas como se se encontrassem em auto-gestão.

Com esta informação, é possível correr o programa que pretende identificar possíveis junções de lojas na mesma rota.

#### 4.1.2. Explicação do algoritmo aplicado em VBA

Começa-se por selecionar a página do ficheiro *Excel* correspondente ao concelho pretendido. O passo inicial do algoritmo programado consiste em ler os dados introduzidos manualmente e apresentados em 4.1.1. Seguidamente o algoritmo inclui dois comandos: no primeiro classifica as lojas por dimensão, calculando estimativas para as respetivas quantidades a recolher e por distância, posteriormente, calcula a matriz de *savings* para o concelho em questão; no segundo comando, o algoritmo calcula quais as melhores rotas para os veículos, de acordo com o problema de roteamento restrito definido anteriormente (por concelho).



Na sequência do primeiro comando, o primeiro passo do programa classifica as lojas por dimensão, de acordo com a média das últimas quatro recolhas: “pequena” (para uma média de recolha inferior ou igual a 4 toneladas de produtos nas últimas campanhas), “média” (quando, em média, foram recolhidas entre 4 e 10 toneladas) e “grande” (para o caso em que, em média, foram recolhidas mais de 10 toneladas). Este passo não é utilizado para a definição das rotas, sendo contudo importante para verificar se os veículos se ajustam às lojas atribuídas.

Para resolver a questão das recolhas fracionadas, ou seja, das visitas diárias múltiplas a uma mesma loja, no segundo passo do programa, dentro da execução do primeiro comando, é classificado o concelho como estando “longe”, “perto” ou “a distância intermédia” do BA Lisboa. A classificação é feita automaticamente de acordo com o comprimento médio do percurso entre todas as lojas deste concelho e o BA Lisboa (comprimento médio =  $\frac{\sum_{i=1}^{n'} d_{oi} + \sum_{i=1}^{n'} d_{io}}{n'}$ ). Quando o comprimento médio é superior a 40 km o concelho é considerado “longe” e as recolhas das lojas desse concelho são efetuadas de uma única vez. Um concelho com comprimento médio entre 25 e 40 km é considerado “a distância intermédia” tendo as recolhas das suas lojas sido divididas em três passagens. Por fim, para que um concelho seja considerado “perto” o comprimento médio entre as suas lojas e o BA Lisboa tem de ser inferior a 25 km e as lojas desse concelho têm a carga recolhida em quatro vezes. Com estas repartições das quantidades de produtos a recolher, um veículo de uma instituição de um concelho mais próximo do BA Lisboa, por exemplo da Amadora, terá, possivelmente, mais lojas atribuídas e fará mais vezes o percurso, quando comparado, por exemplo, com um veículo pertencente a uma instituição de Alenquer, que terá menos lojas, na sua rota, evitando percorrer uma distância maior ao vir ao centro de Lisboa (BA Lisboa) menos vezes. Este passo do algoritmo não está contemplado no problema restrito mas faz parte do problema de roteamento do BA Lisboa.

No terceiro passo, ainda incluído no primeiro comando, é calculada automaticamente uma matriz com os respetivos *savings*, através da matriz de distâncias, e criada uma lista ordenada de pares de lojas por ordem decrescente de poupanças.



O segundo comando diz respeito à determinação automática das rotas e, como tal, o programa apenas vai considerar os veículos disponíveis para o concelho, de acordo com a informação introduzida sobre a localização das instituições. Aqui, o primeiro passo consiste em preencher um vetor *lista* com as lojas que se encontram em auto-gestão ou que têm camião TIR atribuído (anexo I1). De seguida, o algoritmo toma o primeiro veículo do vetor do concelho em causa (ordenado de forma decrescente de capacidade de carga)<sup>3</sup> e começa por verificar se é possível juntar o par de lojas que está no topo do vetor de *savings* para esse concelho (se as lojas não se encontrarem no vetor *lista*), respeitando a sua carga máxima. Caso seja possível, o par de lojas entra no vetor *lista* e o vetor dos *savings* ordenado vai sendo percorrido até encontrar outra loja que possa ser incluída na rota já existente (adicionando a terceira loja ao vetor *lista*). Se não existir nenhuma junção possível, o algoritmo passa ao veículo seguinte do vetor desse concelho, repetindo o processo anterior.

As restrições a ter em conta para a junção de duas lojas numa rota são, para além da capacidade de carga do veículo, a disponibilidade do mesmo e o momento estipulado para a última recolha das lojas. Para evitar a situação de espera pelo veículo por parte dos voluntários, é restringido o número máximo de lojas por transporte. Assim, não são incluídas mais do que três lojas numa mesma rota, uma vez que a heurística não calcula explicitamente os momentos de entrega. Note-se que, os momentos de início não são relevantes para este problema de roteamento restrito (elaboração da última rota de sábado) pelo que não são considerados na heurística. O fluxograma para o algoritmo deste procedimento é apresentado no anexo I2. No caso de existirem lojas que não podem ser juntas nas rotas já construídas, devido à restrição das capacidades dos veículos disponíveis nesse concelho, é atribuído um veículo a cada uma dessas lojas (anexo I3).

Quando termina o tratamento de um concelho, o utilizador tem de acionar novamente os dois comandos do algoritmo para obter as rotas do concelho seguinte.

---

<sup>3</sup> Ao contrário de Clarke e Wright [4] aqui considera-se uma lista de veículos ordenada de forma decrescente da sua capacidade, pois, assim, existe maior possibilidade de um par inicial da lista de *savings* ficar na mesma rota, o que irá representar uma maior “poupança” de quilómetros.

No final, podem resultar algumas lojas sem veículo atribuído e veículos sem lojas. Estas situações podem ocorrer por três motivos: não existem veículos suficientes para o número de lojas aderentes à Campanha Saco nesse concelho; os carros disponíveis não têm capacidade de carga suficiente para satisfazer a recolha das lojas nesse concelho; ou as opções dadas pela heurística de *savings* conduziram a esta situação. Para resolver esta questão, é criada uma nova folha no ficheiro de *Excel* onde figuram todas as lojas e todos os veículos, de todos os concelhos, que ainda não têm atribuição. De seguida, manualmente, tenta atribuir-se um veículo por loja ou, caso seja possível, um veículo a um conjunto de lojas.

#### 4.2. Resultados

Nesta sub-secção serão apresentados os resultados obtidos com o programa construído em VBA. Tal como referido, as rotas dos veículos são calculadas para cada concelho individualmente, ou seja, é necessário correr o programa para cada um dos 13 concelhos com lojas participantes na campanha do BA Lisboa.

Para facilitar o tratamento dos dados, a cada loja foi atribuído um número pela Comissão de Transportes e cada veículo está identificado com o código atribuído à respetiva instituição.

Usando a aplicação em VBA construída no âmbito deste estágio, que inclui um algoritmo de *savings*, com todos os dados relativos à última Campanha Saco decorrida nos dias 30 e 31 de maio de 2015, chegou-se aos resultados apresentados na tabela 2. As rotas completas dos veículos são apresentadas no anexo J1.

Alenquer	427,9 km	Odivelas	120,6 km
Amadora	138,7 km	Oeiras	227,1 km
Arruda dos Vinhos	91,5 km	Sobral de Monte Agraço	189,6 km
Cascais	415,2 km	Sintra	572,6 km
Lisboa	468,5 km	Torres Vedras	118,3 km
Loures	323,6 km	Vila Franca de Xira	453 km
Mafra	437,6 km	<b>Total</b>	<b>3 984,2 km</b>

Tabela 2 – Resultados obtidos através do programa em VBA

Nesta aplicação do algoritmo, quase todas as lojas ficam com um veículo atribuído (para o dia de sábado). Contudo, existem ainda lojas às quais se terá de fazer a atribuição manual, com os veículos que ficaram por utilizar. Apenas 34 das 229 lojas se encontram nesta situação. Relativamente a essas 34 lojas os resultados para a solução encontrada, manualmente, são apresentados na tabela 3. As rotas completas dos veículos são apresentadas no anexo J2.

Amadora	78,1 km	Odivelas	49,5 km
Cascais	526,1 km	Oeiras	49,2 km
Lisboa	51,3 km	Sintra	86,3 km
Mafra	731,1 km	<b>Total</b>	<b>1 571,6 km</b>

Tabela 3 – Resultados calculados para lojas que não tinham veículo atribuído

Se esta metodologia de resolução tivesse sido aplicada ao problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa em maio de 2015, todos os veículos juntos teriam percorrido por cada rota BA Lisboa, cerca de, 5 555,8 km (3 984,2 + 1 571,6).

#### 4.3. Comparação com as rotas definidas na campanha de maio de 2015

Na Campanha Saco de maio deste ano (2015), a elaboração das rotas dos veículos foi feita manualmente pela Comissão de Transportes da campanha.

Na tabela 4 são apenas apresentados os resultados relativos aos percursos por concelho no dia de sábado, podendo as respetivas rotas ser vistas no anexo L.

Alenquer	427,9 km	Odivelas	231,9 km
Amadora	224,5 km	Oeiras	257,5 km
Arruda dos Vinhos	91,5 km	Sobral de Monte Agraço	189, 6 km
Cascais	720,9 km	Sintra	894,7 km
Lisboa	627,7 km	Torres Vedras	118,3 km
Loures	428,5 km	Vila Franca de Xira	612,5 km
Mafra	800,3 km	<b>Total</b>	<b>5 652,8 km</b>

Tabela 4 – Resultados na campanha de maio de 2015

No total, os veículos percorreram 5 652,8 km, cerca de 97 km a mais por viagem do que o resultado obtido por aplicação do programa em VBA.



## Conclusão

Na primeira parte deste trabalho foi feito um estudo estatístico que visa a organização e interpretação de alguns parâmetros considerados importantes para a administração do BA Lisboa. Desde a sua criação, o BA em Portugal tem crescido continuamente a nível geográfico, abrindo bancos por todo o país, e a nível regional, verificando-se um acréscimo de ajudas prestadas por cada BA. O BA Lisboa é um bom espelho do que acontece a nível nacional, acompanhando quase sempre as tendências de subida ou descida dos valores registados pela FPBA. Em 2014, deram entrada na FPBA 29 629 toneladas de produtos sendo que 30% dessas entradas registaram-se nos armazéns do BA Lisboa. Os produtos que representam um maior *share* de entrada no BA Lisboa foram a fruta fresca (33%) e os legumes frescos (16%). Isto deve-se ao facto de se realizar uma recolha diária no MARL e das elevadas contribuições da indústria agroalimentar e do IFAP para a entrada destes mesmos produtos. As campanhas de recolha de alimentos junto da população são também uma importante fonte no abastecimento dos armazéns de um BA. No BA Lisboa, essas entradas, representaram 18% do total, no ano passado. A Campanha Saco é a que mais sucesso tem junto da população, tendo representado 88% das entradas em campanha no BA Lisboa em 2014. No último ano, os 21 BA existentes em Portugal ajudaram mais de 425 mil pessoas através de cerca de 2 300 instituições. O BA Lisboa contribuiu para que 389 instituições ajudassem perto de 89 mil pessoas.

A segunda parte do trabalho consistiu em automatizar a elaboração das rotas para os veículos que transportam os alimentos, durante a Campanha Saco, desde as lojas aderentes à campanha até ao BA Lisboa. O problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa foi definido como um HFVRPTW com diversos condicionalismos adicionais. Devido à elevada complexidade do problema apresentado, este foi simplificado (problema de roteamento restrito), podendo as soluções do problema restrito não respeitar algumas das restrições do problema de roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa. Foi criado um programa recorrendo à linguagem VBA do *Excel* para determinar as rotas dos veículos para o problema restrito. O programa teve por base uma adaptação do algoritmo de *savings* desenvolvido por Clarke e Wright. O



resultado final mostra que é possível obter soluções admissíveis e uma poupança, por comparação com a solução praticada na última Campanha Saco do BA Lisboa, de 97 km por cada ida e volta dos veículos do BA Lisboa às lojas. O valor desta poupança não é elevado, o que mostra a qualidade das rotas já elaboradas pela Comissão de Transportes. No entanto, os valores apresentados dizem respeito a apenas uma viagem por veículo. Assim, o valor desta poupança será maior quando se considerar o número de vezes que cada veículo terá de fazer a sua rota. Qualquer melhoria é significativa, uma vez que se trata de veículos cedidos pelas instituições que comportam os custos associados. Contudo, o maior ganho com o programa desenvolvido será a nível de tempo despendido no roteamento dos veículos, uma vez que quase todas as rotas são dadas de forma automática, evitando-se muito trabalho manual. O programa construído em VBA poderá ser usado pela Comissão de Transportes na Campanha Saco do BA Lisboa e experimentado na elaboração das rotas da próxima campanha.

Futuramente, quer o estudo estatístico, quer o programa construído em VBA podem ser melhorados. A nível do estudo estatístico, podem ser exploradas mais previsões para outros indicadores tais como o número de pessoas assistidas, com base na conjuntura económica prevista para Portugal nos próximos anos. A heurística pode ainda ser melhor adaptada ao problema real da Campanha Saco no BA Lisboa. O programa em VBA pode ser desenvolvido para calcular as rotas dos veículos que ficaram sem loja atribuída e, a inclusão de algumas lojas que não têm, automaticamente, veículos afetos para a recolha dos seus produtos. Outra das limitações a ultrapassar será a de generalizar o programa para que seja possível calcular as rotas do segundo dia de campanha, domingo, e automatizar as recolhas médias de cada loja através da atualização do ficheiro *Excel* onde esses dados são registados. Finalmente, importa referir que apenas se usou a aplicação em VBA com dados reais de uma campanha. Outros dados deverão ser testados para avaliar a qualidade das soluções obtidas pela metodologia proposta para roteamento na Campanha Saco do BA Lisboa.



## Referências Bibliográficas

- [1] Belfiore, P. (2006). Scatter Search para Problemas de Roterização de Veículos com Frota Heterógena, Janelas de Tempo e Entregas Fraccionadas. Tese de Doutoramento. Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, Departamento de Engenharia de Produção
- [2] Bräysy, O. & Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms. *Transportation Science* 39 (1), 104-118
- [3] Caiado, J. (2011). *Métodos de Previsão em gestão com aplicações em Excel*, 1ª Ed. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- [4] Clarke, G. & Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research* 12, 568-581
- [5] Dantzig, G. & Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science* 6, 80-91
- [6] Dror, M. & Trudeau, P. (1989). Savings by Split Delivery Routing. *Transportation Science* 23, 141-145
- [7] Guerreiro, A. (2009). Construção de uma Metaheurística de Otimização de Rotas de Veículos. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa
- [8] Jiang, J et al. (2014). Vehicle Routing Problem with a Heterogeneous Fleet and Time Windows. *Expert Systems with Applications* 41, 3748-3760
- [9] Kritikos, M. & Iannou, G. (2013). The Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Overloads and Time Windows. *Production Economics* 144, 68-75
- [10] Mansfield, R. (2013). *Mastering VBA for Microsoft Office 2013*. Indianapolis, Sybex
- [11] Solomon, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints. *Operations Research* 35 (2), 254-265



- [12] Toth, P. & Vigo, D. (2014). *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications. Philadelphia
- [13] Relatório de Atividades (1992-2013), Banco Alimentar de Lisboa, Lisboa
- [14] Carta do Banco Alimentar Contra a Fome – versão completa. Banco Alimentar. Disponível em: <http://www.bancoalimentar.pt/article/3> [Acesso em 03/05/2015]
- [15] Missão, Visão e Valores. Banco Alimentar. Disponível em: <http://www.bancoalimentar.pt/article/3> [Acesso em: 03/05/2015]
- [16] Our History. St. Mary's Food Bank. Disponível em: <http://www.firstfoodbank.org/learn-more/our-history> [Acesso em: 03/05/2015]
- [17] The Global Food Bank Community. The Global FoodBanking Network. Disponível em: <https://www.foodbanking.org/food-bank-resources/global-food-bank-community> [Acesso em: 03/05/2015]
- [18] QUIMA. Disponível em: <http://www.quima.pt/> [Acesso em: 12/09/2015]

## Anexos

### Anexo A – Entrada de produtos *per capita*

A evolução da entrega de produtos *per capita* (pc), tem-se mantido relativamente constante mas com uma tendência crescente que acompanhou a subida de pessoas ajudadas, com exceção dos anos de 2012 e 2013 onde se registou uma quebra devido à crise económica. Quer isto dizer que ao longo dos anos, as pessoas apoiadas têm recebido, em média, sensivelmente sempre a mesma quantidade de produtos, 46 kg de produtos frescos e 43,6 kg de produtos secos, por ano.

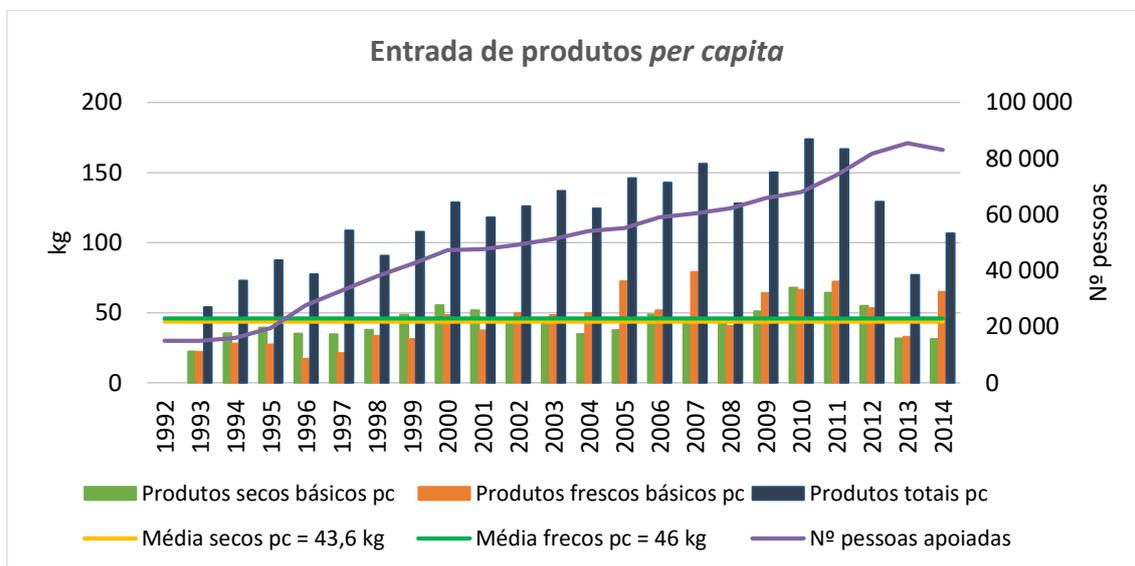


Figura 23 – Evolução da entrada de produtos pc e do número de pessoas assistidas

### Anexo B – Entradas por família de produto em 2014

No ano de 2014, os produtos frescos representaram 61% da entrada de produtos no armazém do BA Lisboa.

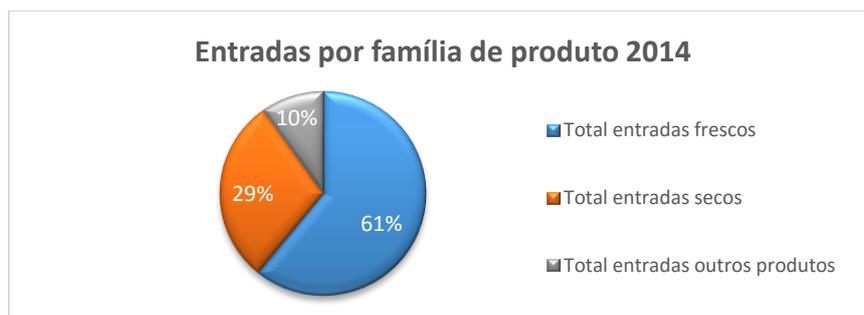


Figura 24 – Entradas por família de produtos nos armazéns do BA Lisboa, em 2014

### Anexo C – Entrada de fruta e legumes frescos por trimestre

A entrada trimestral de fruta e legumes frescos apresenta bastantes irregularidades, não evidenciando uma sazonalidade esperada, com maior entrada de produtos nos meses de Verão. Este facto explica-se pelo armazenamento deste tipo de produtos por parte dos produtores, sendo que nem sempre a entrada dos produtos no armazém do BA Lisboa coincide com o seu trimestre de produção.

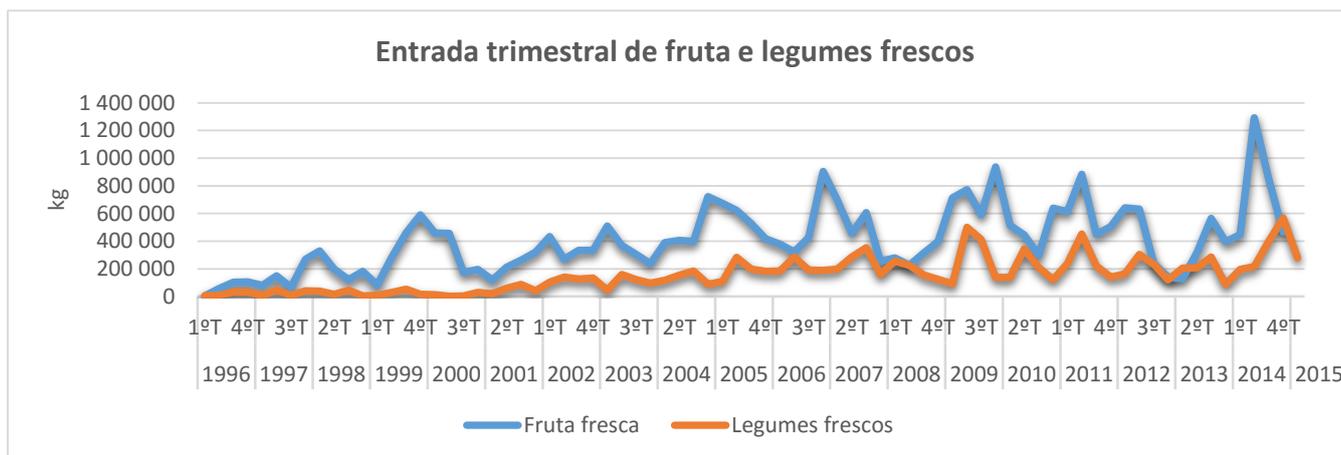


Figura 25 – Evolução da entrada de fruta fresca e legumes frescos no BA Lisboa

### Anexo C1 – Entrada trimestral de fruta fresca

No 1º trimestre de 2015 as peras representaram 44% da fruta fresca recebida, seguida da fruta fresca diversa (16%) e das bananas (13%).

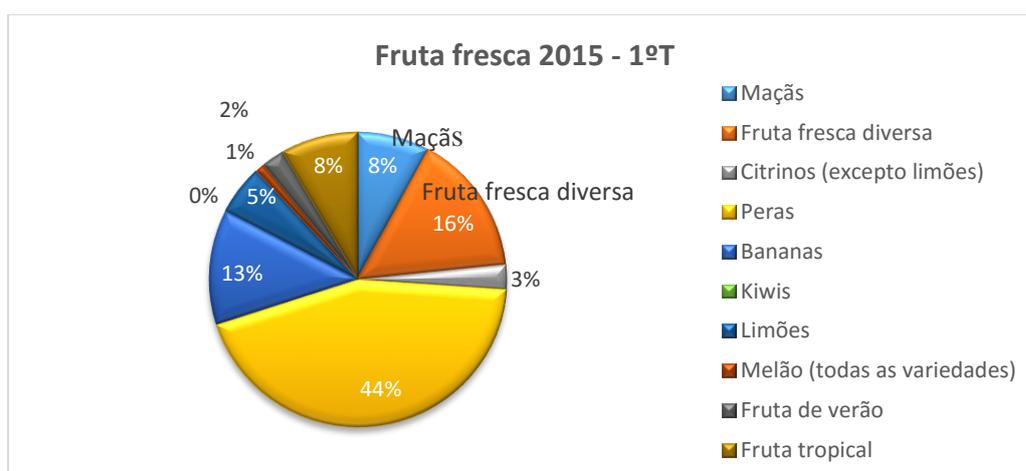


Figura 26 – Entrada de fruta fresca no BA Lisboa no 1ºT de 2015

A entrada de fruta é bastante dependente das retiradas provenientes do IFAP, acompanhando de forma quase perfeita a sua evolução.

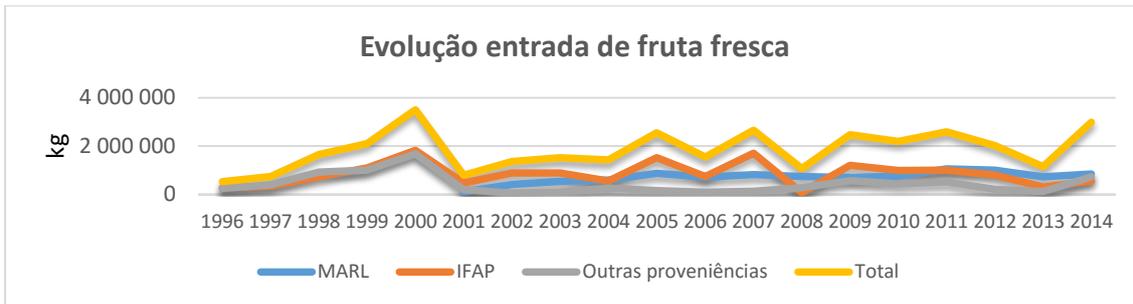


Figura 27 – Evolução da entrada de fruta fresca no BA Lisboa por origem

No 1º trimestre deste ano, a fruta proveniente do MARL e a fruta proveniente das retiradas do IFAP perfeitamente 88% da entrada de fruta fresca.

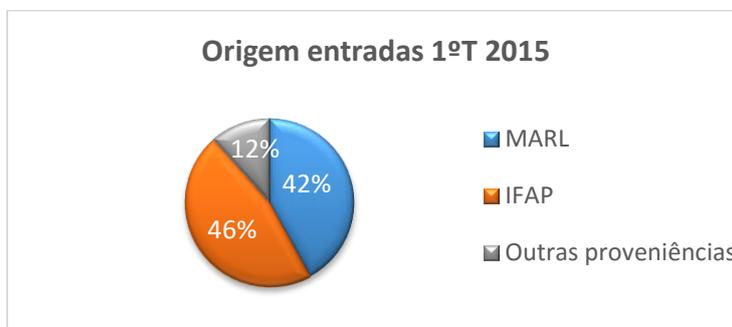


Figura 28 – Origem da entrada de fruta fresca no BA Lisboa no 1º T de 2015

### Anexo C2 – Entrada trimestral de legumes frescos

No 1º trimestre de 2015 as cenouras representaram 61% dos legumes frescos recebidos, devido a uma doação anormal das mesmas, seguido dos legumes frescos diversos (24%) e das couves (11%).

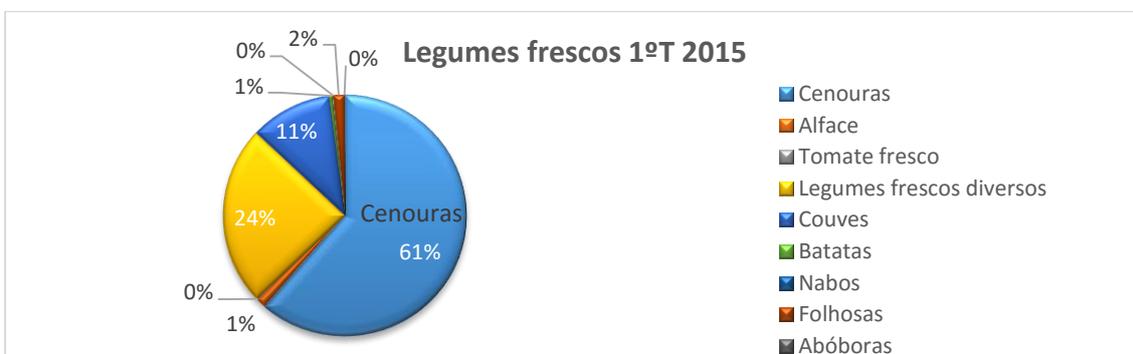


Figura 29 – Entrada de legumes frescos no BA Lisboa no 1ºT de 2015

Ao longo dos anos, a entrada de legumes frescos têm-se feito sobretudo com produtos vindos do MARL.

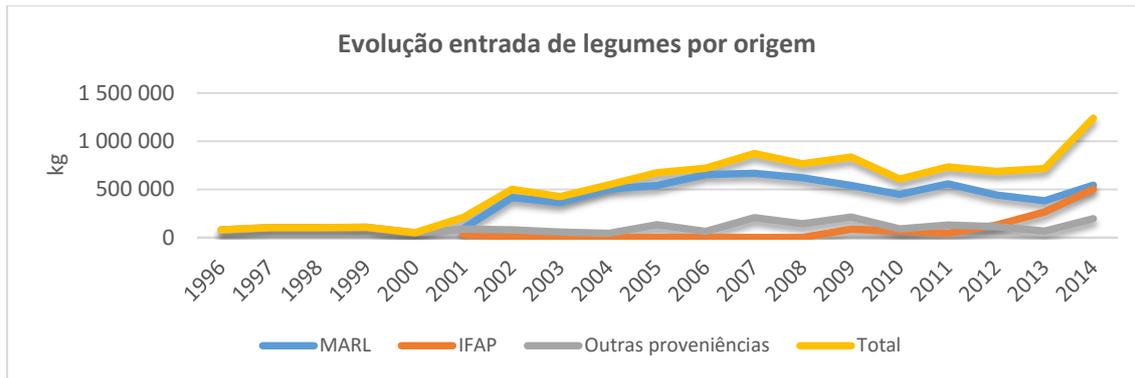


Figura 30 – Evolução da entrada de legumes frescos no BA Lisboa por origem

No 1º trimestre deste ano, os legumes provenientes do MARL e os provenientes das retiradas do IFAP foram apenas de 26% da entrada de legumes frescos.

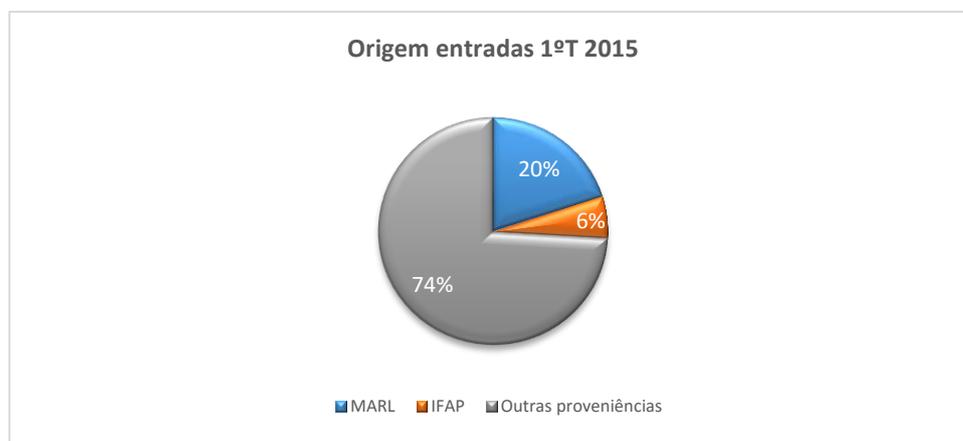


Figura 31 – Origem da entrada de legumes frescos no BA Lisboa no 1º T de 2015

## Anexo D – Previsões

Com recurso ao alisamento exponencial duplo e ao método de Holt [3], foram feitas previsões para a entrada de produtos frescos (anexo D1), de produtos secos (anexo D2) e de produtos totais (anexo D3), nos armazéns do BA Lisboa, para os anos de 2015, 2016 e 2017.

### Anexo D1 – Previsão da entrada de produtos frescos

Os produtos frescos englobam a fruta fresca, os legumes frescos e iogurtes, queijos e ovos.

Para fazer a previsão da entrada dos produtos frescos utilizou-se o método de Holt por este apresentar um erro absoluto médio inferior quando comparado com o alisamento exponencial duplo (0,91 contra 11 269,04, respetivamente).

Em 2014 entraram 5 397 288 kg de produtos frescos nos armazéns do BA Lisboa. Para 2015 prevê-se que dêem entrada 4 406 658 kg de produtos frescos, em 2016 deverão entrar 4 532 533 kg e, em 2017, 4 658 407 kg. Espera-se então um decréscimo na entrada de produtos frescos em relação a 2014, recuperando contudo nos anos seguintes.

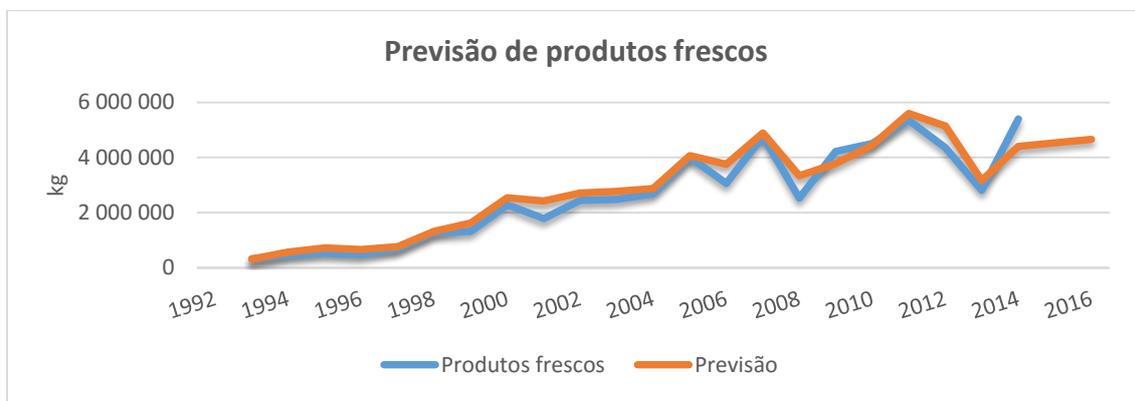


Figura 32 – Previsão da entrada de produtos frescos no BA Lisboa

## Anexo D2 – Previsão da entrada de produtos secos

Dos produtos secos fazem parte as leguminosas secas e enlatadas, leite, massas e arroz, pão, bolachas e tostas, margarina manteiga, óleo e azeite, açúcar e adoçantes, conservas de peixe e charcutaria enlatada.

Para fazer a previsão da entrada dos produtos secos utilizou-se o alisamento exponencial duplo por este apresentar um erro absoluto médio inferior quando comparado com o método de Holt (15 509,03 contra 49 010,60, respetivamente).

Quanto aos produtos secos, prevê-se uma ligeira quebra nas entradas comparando com 2014. Assim, para 2015 prevê-se a entrada de 2 475 642 kg de produtos secos, de 2 358 196 kg em 2016 e de 2 240 751 kg em 2017.

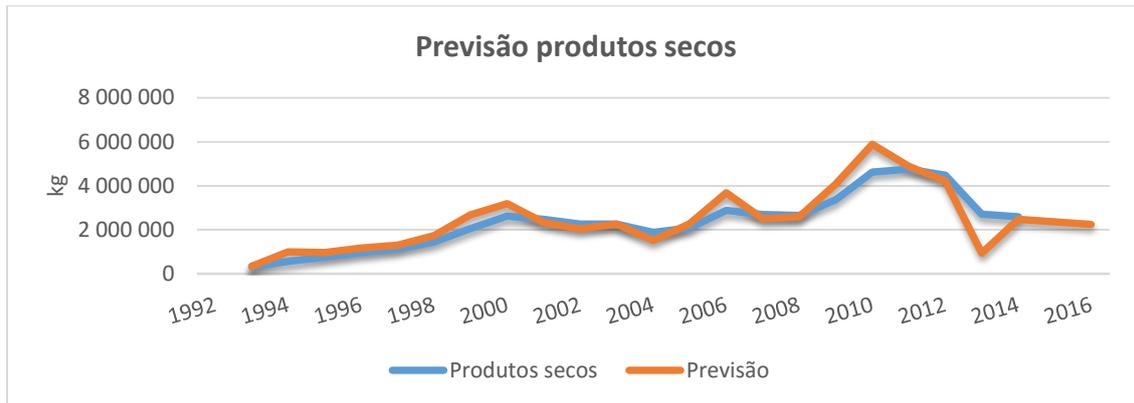


Figura 33 – Previsão da entrada de produtos secos no BA Lisboa

### Anexo D3 – Previsão da entrada de produtos totais

Os produtos totais abrangem, para além dos produtos frescos e secos, refrigerantes/águas, cereais, chocolates/sobremesas, congelados, sopas, molhos/especiarias, produtos para bebé, farinhas/purés e outros produtos.

Para os próximos três anos é previsto que a entrada total de produtos nos armazéns do BA Lisboa aumente. Em 2014 entraram 8 863 203 kg de produtos nos armazéns do BA Lisboa, e para 2015 prevê-se que entrem 8 421 063 kg de produtos; em 2016 deverão dar entrada cerca de 9 034 122 kg de produtos; e para 2017 está previsto um valor de 9 647 181 kg.

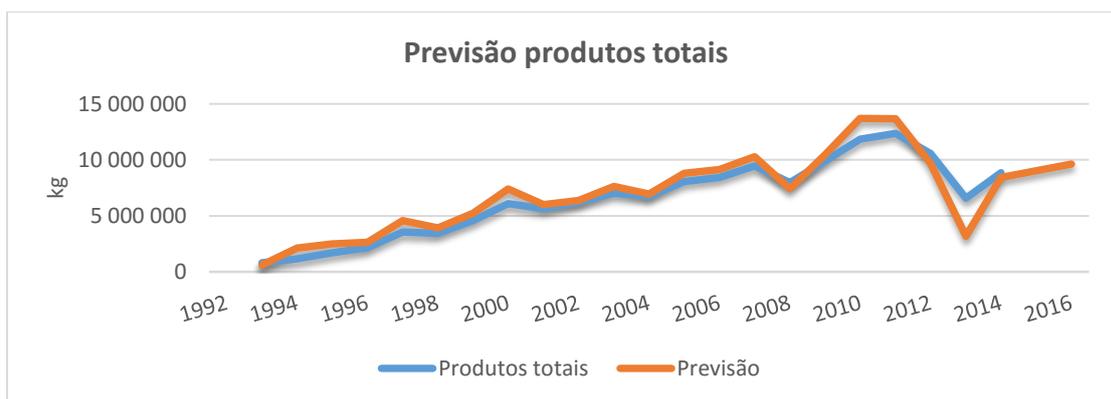


Figura 34 – Previsão da entrada de produtos totais no BA Lisboa

### Anexo E – Instituições apoiadas por BA em 2014

Os BA do Porto e de Lisboa são os que mais pessoas apoiam indiretamente, sendo também os que mais instituições ajudam.



Figura 35 – Número de instituições apoiadas por BA em 2014

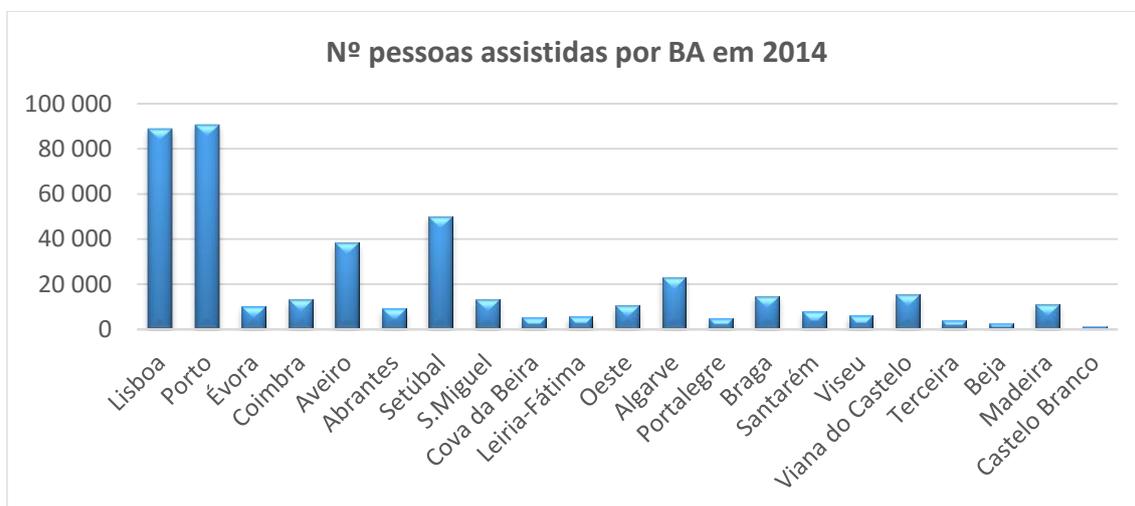


Figura 36 – Número de pessoas assistidas por BA em 2014

## Anexo F – Instituições apoiadas por tipo de acordo

O tipo de acordo realizado com as instituições tem vindo a sofrer alterações sendo que agora se elaboram mais acordos do tipo A e/ou B do que acordos de tipo C, como acontecia nos primeiros anos de existência de BA em Portugal. Esta alteração deve-se ao facto de as instituições apoiarem cada vez mais pessoas e, por isso, apresentarem um nível de carência maior, tendo a necessidade de recorrer a acordos que permitam levantar mais produtos.

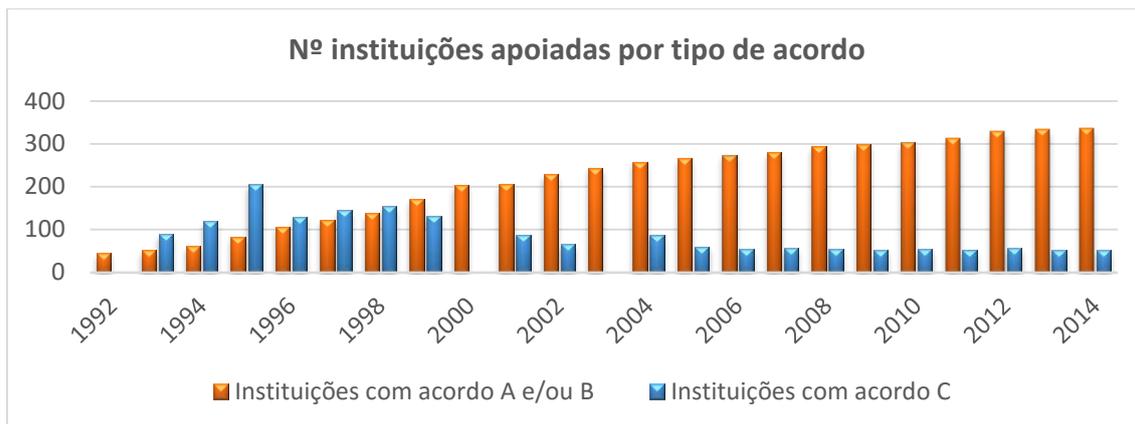


Figura 37 – Número de instituições apoiadas por tipo de acordo

### Anexo G – Serviços prestados e tipos de acordo das instituições

O BA Lisboa apoia instituições que prestam diferentes serviços à população, o que se reflete em tipos de acordo celebrados, entre estas e o BA Lisboa, distintos.

### Anexo G1 – Serviços prestados pelas instituições apoiadas em 2014

Em 2014, 34% das instituições distribuíram cabazes e 71% das pessoas assistidas foram apoiadas por essas instituições. Creches, centros de dia e o apoio domiciliário, são o tipo de instituição em maior número a seguir à distribuição de cabazes.

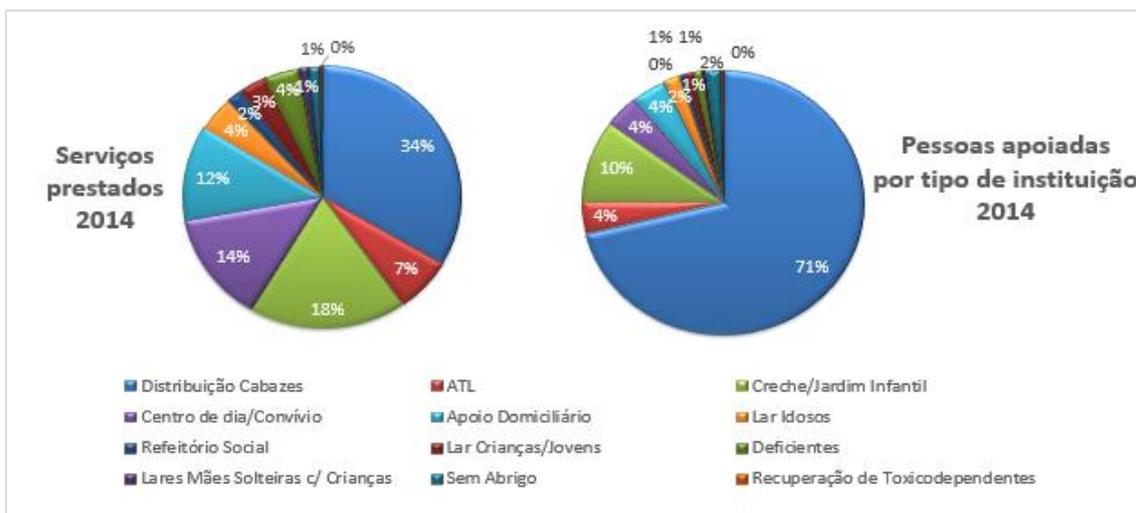


Figura 38 – Serviços prestados pelas instituições e pessoas apoiadas por tipo de instituição em 2014

## Anexo G2 – Cabazes distribuídos e refeições servidas pelas instituições

O número de cabazes distribuídos tem aumentado ao longo dos anos.

O número de refeições servidas pelas instituições tem-se mantido em torno de 45 000.



Figura 39 – Número de cabazes distribuídos e refeições servidas pelas instituições

## Anexo H – Comparação entre o número de lojas participantes na Campanha Saco no BA Lisboa e na FPBA

O número de lojas que participam na Campanha Saco na região de Lisboa tem vindo a aumentar a cada ano.



Figura 40 – Número de lojas aderentes à Campanha Saco do BA Lisboa

Tal como no BA Lisboa, também a nível da FPBA se verifica o aumento, ao longo dos anos, do número de lojas que participam na Campanha Saco.

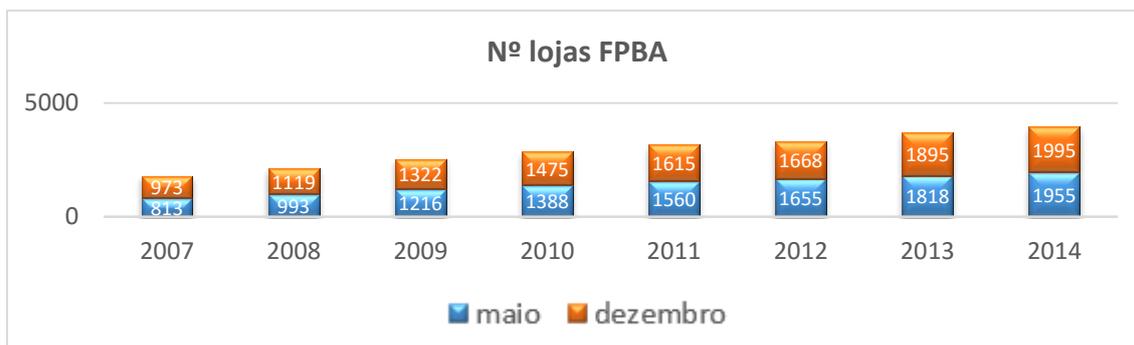


Figura 41 – Número de lojas aderentes à Campanha Saco na FPBA

## Anexo I – Aplicação em VBA

Aqui são apresentados três fluxogramas para melhor se entender o programa construído em VBA para a resolução do problema de roteamento restrito para o planeamento da Campanha Saco do BA Lisboa.

### Anexo I1 – Identificação lojas em auto-gestão e com camião TIR

Na figura 42 está representado o fluxograma, correspondente ao primeiro passo do segundo comando do código em VBA, onde se adiciona ao vetor *lista* de cada concelho as lojas que se encontram em auto-gestão ou que têm atribuído um camião TIR. Caso a loja já tenha um veículo pré-atribuído, ou esteja em auto-gestão, esta entra para o vetor *lista* do respetivo concelho, para que não seja considerada no passo seguinte da determinação de rotas.

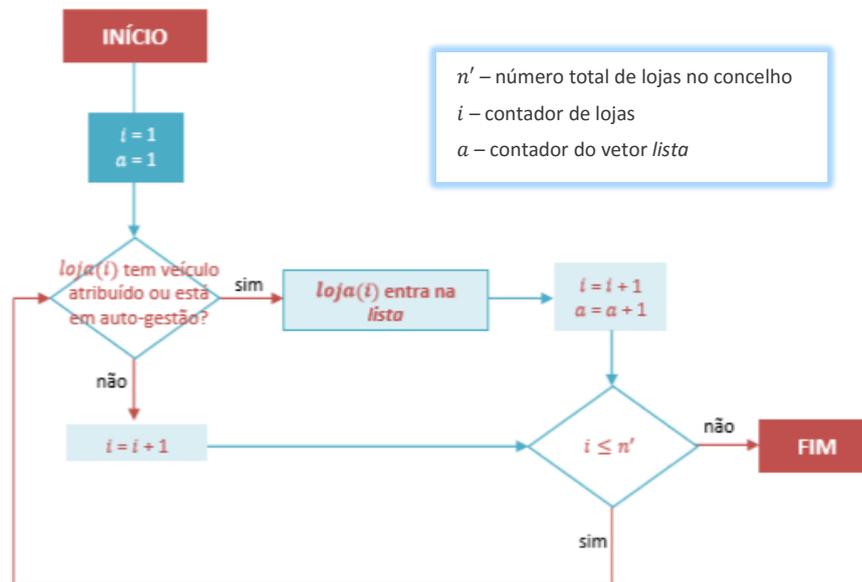


Figura 42 – Fluxograma de identificação de lojas em auto-gestão ou com camião TIR atribuído

### Anexo I2 – Definição de rotas

Na figura 43 está representado o fluxograma correspondente à definição de rotas para as restantes lojas do concelho em questão e que não estão em auto-gestão nem têm camião TIR atribuído. O programa verifica se ainda existem lojas disponíveis (pode acontecer que nesse concelho estejam todas em auto-gestão/camião TIR). Se existirem, começa pelo primeiro veículo disponível no vetor para esse concelho e se o primeiro par de *savings* do vetor ordenado ( $u(i)$  e  $g(i)$ ) ainda estiver disponível, então

soma as suas quantidades de recolha e, caso a soma seja inferior à capacidade do veículo, coloca as lojas no vetor *lista* (caso alguma das lojas do par já não esteja disponível, então passa ao próximo par do vetor e assim sucessivamente). Note-se que a lista ordenada de *savings* considera a diagonal da matriz pelo que  $u(i)$  pode ser igual a  $g(i)$ . O próximo passo consiste em encontrar um sucessor para a segunda loja do par ( $g(i)$ ). Para isso, o programa percorre todo o vetor de *savings* até encontrar uma junção que seja possível. Caso não encontre, passa ao veículo seguinte pertencente ao vetor dos veículos. Este processo é repetido até que não existam mais lojas a juntar ao vetor *lista* ou não existam mais veículos disponíveis.

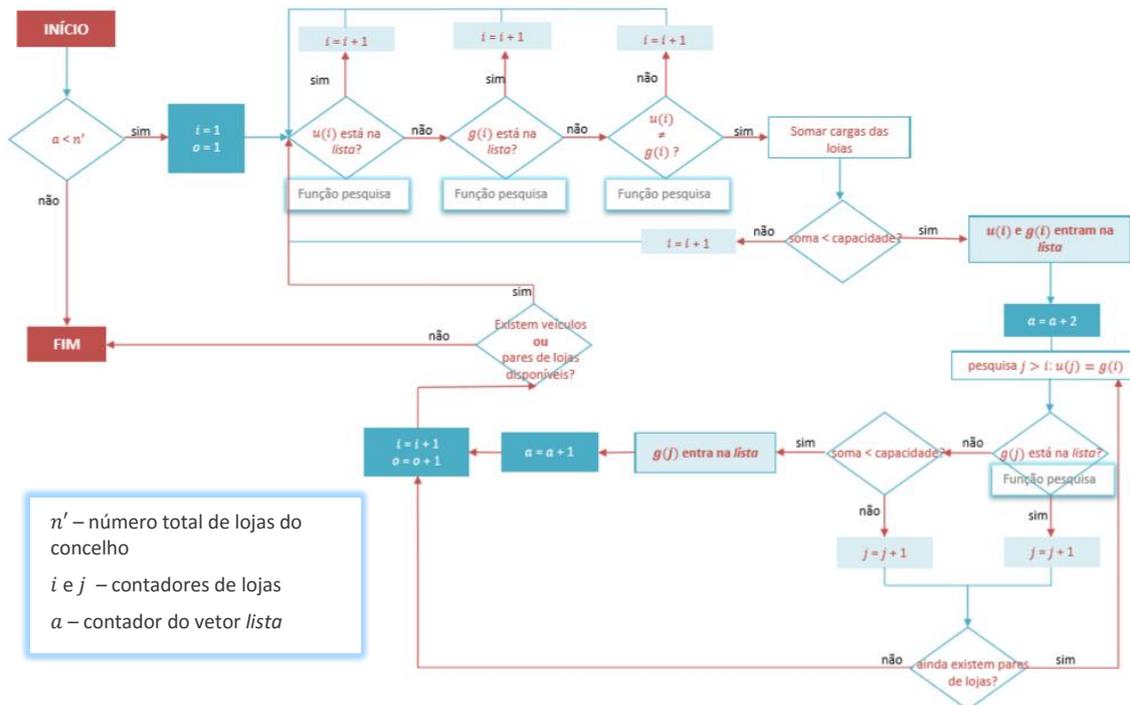


Figura 43 – Fluxograma de definição de rotas por concelho

### Anexo I3 – Atribuição de veículos a lojas individuais

Na figura 44 está representado o fluxograma, correspondente ao terceiro passo do segundo comando do código em VBA. Podem existir lojas que ficaram sem veículo atribuído mas ainda existem veículos disponíveis nesse concelho. Para resolver essa questão, o programa volta a percorrer todos os veículos ainda disponíveis e para cada um verifica se existe alguma loja que ainda não está no vetor *lista* com carga a recolher inferior à capacidade do veículo. Caso isso aconteça, a loja entra no vetor *lista* e passa ao veículo seguinte do vetor.

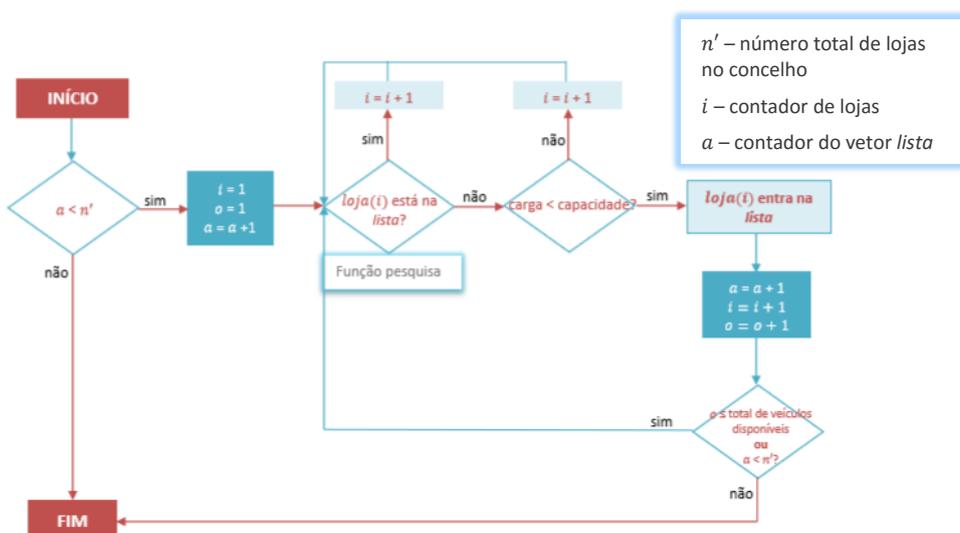


Figura 44 – Fluxograma de atribuição de veículos a lojas individuais por concelho

**Anexo I4 – Exemplo do output dado pelo programa em VBA para o concelho de Odivelas**

	Distâncias em km	13	33	83	107	111	131	141	217	233
13	P. Doce Póvoa Santo Adrião		22,78	21,4	20,3	20,8	22,4	20,8	22,2	20,2
33	LIDL Odivelas/R.H.Chaimite	22,7		21,4	20,3	21,3	21,9	21	22,2	20,6
83	P. Doce Odivelas	22,5	22,4		22,4	23,4	24	23,1	23	21,6
107	P. Doce Odivelas - Freixinho	20,2	20,1	21,2		22,9	22,9	22,5	20,8	20,7
111	P. Doce Hiper Odivelas	20,9	20,8	22,7	23,25		26	24,5	22,6	22,7
131	Continente - Modelo Arroja (Famões)	23,7	24,5	25,1	25,4	27,9		29,1	25,6	27,2
141	Intermarché Famões	19,9	20,1	21,1	21,7	24,2	25,4		21,7	27,9
217	LIDL ODIVELAS - Soares dos Reis	22,7	22,7	22,8	21,6	23,3	24,2	23,5		23,1
233	Continente - Bom Dia Caneças	20,7	20,4	20,9	21,4	23,3	26	28,7	22,7	

Figura 45 – Matriz de savings entre as lojas

Savings Or de (u)	para (g)							FALTAM AS LOJAS
29,1	131	141						AUTO-GESTÃO
28,7	233	141						13
27,9	141	233						111
27,9	131	111						C0366 (s)
27,2	131	233			131	141	238	FALTA USAR OS CARROS
26,3	131	238	Carga por		1,06			C0080
26	233	131	Distância		37,3			C0270
26	111	131						
25,6	131	217						C0344 (s)
25,4	141	131			217	233		
25,4	131	107	Carga por		0,81			
25,1	238	131	Distância		35,3			
25,1	131	83						
24,6	233	238						C0123 (s)
24,6	238	233			33	107		
24,6	217	238	Carga por		0,67			
24,5	131	33	Distância		24,5			
24,5	111	141						
24,4	238	217						
24,2	217	131						

Figura 46 – Lista incompleta de savings ordenados e rotas de veículos



## Anexo J – Rotas de veículos

Neste anexo, são apresentados os resultados obtidos com o programa VBA, os resultados manuais e os resultados encontrados pela equipa de transportes para a Campanha Saco de maio de 2015. As lojas de cada rota são percorridas pela ordem pela qual os respetivos números aparecem nas tabelas. Por exemplo, na tabela 5, a rota do veículo C0033 (Amadora) será BA Lisboa - loja235 - loja234 - loja54 - BA Lisboa.

## Anexo J1 – Rotas de veículos obtidas com o programa VBA

Concelho	Loja(s)	Veículo	Distância por viagem <sup>4</sup> (km)	Distância por concelho (km)
Alenquer	152, 187	auto-gestão	94,1	427,9
	155, 185	auto-gestão	102,1	
	168	auto-gestão	91,6	
	179, 181	auto-gestão	140,1	
Amadora	224	auto-gestão	24,1	138,7
	235, 234, 54	C0033	22,1	
	92, 25	C0058	20,6	
	231, 49	C0283	20	
	118	C0356	16,8	
	69	C1052	20,1	
	196	C0256	15	
Arruda dos Vinhos	116, 132, 148	auto-gestão	91,5	91,5
Cascais	6	TIR	57,7	415,2
	67, 27, 68	C1009	61,8	
	151, 135, 195	C0354	62,6	
	197, 26, 100	C0032	57,2	
	47, 178, 210	C0311	53,1	
	64, 236	C0268	45,1	
Cascais	28	C1074	39,3	38,4
	29	C0234	38,4	
Lisboa	7	TIR	15,4	468,5
	4	auto-gestão	15,7	
	40	auto-gestão	16,1	
	63	auto-gestão	6,3	
	73	auto-gestão	5,6	
	77, 117	auto-gestão	7,3	
	86	auto-gestão	23	
	146, 171	auto-gestão	5,4	
	10		9	
	70		14,2	
	189, 165, 1	C0021	37,4	
	79, 174, 142	C0171	20,4	
	232, 58, 167	C0210	20,6	
	52, 230, 56	C1020	17,4	
	220, 15	C0130 <sup>5</sup>	17,7	
	76, 35, 147	C0130	19,6	
23, 226, 201	C0018	19,4		

<sup>4</sup> Por viagem entende-se ida e volta do armazém do BA Lisboa à(s) loja(s).

<sup>5</sup> A associação C0130 disponibiliza 4 veículos.

Atividade operacional do Banco Alimentar de Lisboa:  
Estudo estatístico e Otimização de rotas na Campanha Saco



Concelho	Loja(s)	Veículo	Distância por viagem* (km)	Distância por concelho (km)
Lisboa	103, 126, 154	C0177	16,3	
	180, 102	C0184	16,8	
	85, 57	C0190	17	
	62, 194, 114	C0096	15,4	
	219, 188	C0257	12,1	
	190, 121	C0295	16,5	
	72, 207	C0316	13,2	
	55, 71	C0110	11,9	
	169, 206	C0100	10,2	
	48, 93	C0010_2_	10,5	
	166	C0309	10,2	
	61	C0304	5,2	
	74	C0006	13,3	
	97	C0337	10,5	
	191	C0010	7,5	
211	C0232	11,4		
Loures	149	auto-gestão	30,6	323,6
	158	auto-gestão	43	
	163, 183, 150	C0111	59,2	
	124, 12, 200	C0374	50,7	
	104, 120, 123	C0235	35,3	
	137, 2	C0399	33,5	
	101, 31, 19	C0016	39	
108	C0300	32,3		
Mafra	157	auto-gestão	81,4	437,6
	160	auto-gestão	69,4	
	209, 173	C0253	103,3	
	134	C0242	102,5	
	32	C0218	81	
Odivelas	83	auto-gestão	23,5	120,6
	131, 141, 238	C0366	37,3	
	217, 233	C0344	35,3	
	33, 107	C0123	24,5	
Oeiras	119	auto-gestão	24,3	227,1
	199	auto-gestão	36,9	
Oeiras	84, 112, 159	C0209	40,7	
	51, 87	C0182	37,5	
	34, 66	C0048	20,6	
	239, 145	C0202	19,3	
	50	C0136	13,8	
	153	C0119	16	
82	C0101	18		
Sb. Monte Agraço	129	auto-gestão	97,5	189,6
	218	auto-gestão	92,1	
Sintra	36, 80, 186, 225	auto-gestão	34,3	572,6
	46, 60	auto-gestão	36,2	
	94	auto-gestão	42	
	205	auto-gestão	24	
	37		43,2	
	96, 184, 140	C0088	66,8	
	81, 133, 127	C0049	55,4	
	203, 18, 130	C0318	36,5	
	17, 237	C0141	36,1	
	105, 90	C0194	41,2	
	115, 215	C0213	57,8	
	42	C0378	56,1	
	176	C0141	43	

Concelho	Loja(s)	Veículo	Distância por viagem <sup>4</sup> (km)	Distância por concelho (km)
Torres Vedras	143, 144, 193, 213, 222	TIR	118,35	118,3
Vila Franca de Xira	110, 202	auto-gestão	65,1	453
	216, 223	auto-gestão	59,2	
	21		56,9	
	44, 39, 228	C0139	79,1	
	98, 214, 53	C1015	78,7	
	128	C0198	56,5	
	138	C0326	57,5	
<b>Total da distância percorrida por viagem (km)</b>				<b>3 984,2</b>

Tabela 5 – Rotas dos veículos determinadas com o programa em VBA

## Anexo J2 – Rotas dos veículos calculadas manualmente

Concelho	Loja	Veículo	Distância por viagem (km)	Distância por concelho (km)
Amadora	5	C1005	19,3	78,1
	16	C0347	18	
	20	C0105	15	
	156	C0112	25,8	
Cascais	22	C0122	57,2	526,1
	30	C0050	40,2	
	65	C0155	35,8	
	88	C0181	38,3	
	91	C0134	38,3	
	95	C0291	39,3	
	109	C0280	38,3	
	113	C0330	43,2	
	122	C0197	37,4	
	164	C1050	38,5	
	182	C0060	39,8	
192	C0305	43		
208	C0227	36,8		
Lisboa	8	C0191	26	51,3
	11	C0022	18,3	
	45	C0355	7	
Mafra	41	C0085	86,5	731,1
	106	C0385	70	
	139	C0001	69	
	170	C1039	102,4	
	175	C0263	116,2	
	177	C0251	100,7	
	212	C0264	93,1	
	227	C0205	93,2	
Odivelas	13	C0155	23,1	49,5
	111	C0266	26,4	
Oeiras	3	C0302	31,5	49,2
	78	C0229	17,7	
Sintra	14	C1056	42,8	86,3
	43	C0217	43,5	
<b>Total da distância percorrida por viagem (km)</b>				<b>1 571,6</b>

Tabela 6 – Rotas dos veículos determinadas manualmente

**Anexo J3 – Rotas dos veículos da última Campanha Saco do BA Lisboa (sábado)**

Concelho	Loja(s)	Veículo	Distância por viagem (km)	Distância por concelho (km)
Alenquer	152, 187	auto-gestão	94,1	427,9
	155, 185	auto-gestão	102,1	
	168	auto-gestão	91,6	
	179, 181	auto-gestão	140,1	
Amadora	224	auto-gestão	24,1	224,5
	16, 25	C0033	17,5	
	234, 235	C0385	21,7	
	49, 118	C0162	18,4	
	92, 231	C0136	25,7	
	5	C354	19,3	
	20	C0122	15	
	54	C0058	21,9	
	69	C0256	20,1	
	156	C0161	25,8	
196	C0356	15		
Arruda dos Vinhos	116, 132, 148	auto-gestão	91,5	91,5
Cascais	6	TIR	57,7	720,9
	113, 88	C0229	14,1	
	151, 195	C0316	58,8	
	236, 122, 164	C0085	38,1	
	26, 197	C0268	53,9	
	27,67	C0010_2_	60	
	28, 91	C0311	40,1	
	29, 192, 210	C0021	45,6	
	30, 135	C0163	62,9	
	47, 178	C1009	51,4	
	64, 65	C0032	42,2	
	68, 100	C0337	56,6	
	95, 208, 109	C0351	42,5	
	22	C0253	57,2	
182	C0234	39,8		
Lisboa	7	TIR	15,4	672,7
	4	auto-gestão	15,7	
	40	auto-gestão	16,1	
	63	auto-gestão	6,3	
	73	auto-gestão	5,6	
	77, 117	auto-gestão	7,3	
	86	auto-gestão	23	
	146, 171	auto-gestão	5,45	
	10		9	
	70		14,2	
	114, 191	C0245	8,1	
	15, 220	C0374	17,3	
	154, 201	C0280	13,1	
	180, 232	C0291	19,4	
	226, 230	C0105	16,7	
	23, 52	C0210	16,6	
	48, 169	C0093	3,7	
	55, 166	C0100	10,8	
	56, 121	C0266	17,1	
	58, 167	C0197	18,7	
72, 207	C0123	13,2		
74, 102	C0344	13,2		
79, 174	C0227	18,7		
93, 206	C0096	12,3		



Concelho	Loja(s)	Veículo	Distância por viagem (km)	Distância por concelho (km)
Lisboa	1	C0184	18,4	
	8	C0111	26	
	11	C0177	18,3	
	35	C0110	16,4	
	45	C0155	7	
	57	C0130	13,9	
	61	C01074	5,2	
	62	C0022	13,7	
	71	C1005	11,7	
	76	C0060	15,5	
	85	C0309	15,9	
	97	C0295	10,5	
	103	C0130	14,3	
	126	C0130	14,8	
	142	C0006	17,7	
	147	C0130	13,4	
	165	C0263	28,6	
	188	C0155	11,8	
	189	C0232	34,6	
	194	C0304	11,9	
211	C0335	11,4		
219	C0050	11,7		
190		13,1		
Loures	149	auto-gestão	30,6	428,5
	158	auto-gestão	43	
	104, 123	C0251	33,9	
	137, 108	C0202	37	
	150, 163	C1020	42,6	
	19, 183	C0302	38,5	
	31, 101	C0366	30,3	
	2	C0235	30,8	
	12	C0283	36,6	
	120	C0198	32	
	124	C1015	37,5	
	200	C0209	35,7	
Mafra	157	auto-gestão	81,4	800,3
	160	auto-gestão	69,4	
	134, 173, 209	C0218	104,8	
	170, 177	C1039	102,5	
	32, 41, 227	C0010	93,9	
	106	C0242	70	
	139	C0264	69	
	175	C0018	116,2	
212	C0378	93,1		
Odivelas	83	auto-gestão	23,5	213,9
	13, 217	C0016	25,4	
	131, 141	C0112	33,9	
	33	C0300	22,9	
	107	C1052	21,9	
	111	C0257	26,4	
	233		32,5	
238		27,4		
Oeiras	119	auto-gestão	24,3	257,5
	199	auto-gestão	36,9	
	34, 78	C0190	25,4	
	50, 145	C0001	17,1	
	51, 84, 112	C0182	37,6	
	153, 159, 239	C1056	18,2	

Concelho	Loja(s)	Veículo	Distância por viagem (km)	Distância por concelho (km)
Oeiras	3	C0399	31,5	
	66	C0048	19,5	
	82		18	
	87		29	
Sb. Monte Agraço	129	auto-gestão	97,5	189,6
	218	auto-gestão	92,1	
Sintra	36, 80, 186, 225	auto-gestão	34,3	894,7
	46, 60	auto-gestão	36,2	
	94	auto-gestão	42	
	205	auto-gestão	24	
	37		43,2	
	18, 130, 203	C0181	35,8	
	90, 215	C0101	29,4	
	14	C0194	42,8	
	17	C0318	35,2	
	42	C0141	56,1	
	43	C0213	43,5	
	96	C0208	52,8	
	105	C0171	38,5	
	115	C0330	54,5	
	133	C0049	44,8	
	176	C0217	43	
	184	C0088	63,3	
	237	C0119	34,4	
81		46,2		
127		41,8		
140		52,9		
Torres Vedras	143, 144, 193, 213, 222	TIR	118,3	118,3
Vila Franca de Xira	110, 202	auto-gestão	65,1	612,5
	216, 223	auto-gestão	59,2	
	21		56,9	
	39, 98	C0149	41,3	
Vila Franca de Xira	44	C0191	79,6	
	53	C0347	58,1	
	128	C0299	56,5	
	138	C0326	57,5	
	214	C0241	61,3	
	228	C0139	77	
<b>Total da distância percorrida por viagem (km)</b>				<b>5 652,8</b>

Tabela 7 – Rotas realizadas na última Campanha Saco, do BA Lisboa