

MESTRADO
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
TRABALHO DE PROJETO

PLANEAMENTO DA RECOLHA DOS RESÍDUOS DE
PAPELEIRAS NUMA ÁREA URBANA

SOFIA DA SILVA ALVES

OUTUBRO - 2015

MESTRADO EM
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
TRABALHO DE PROJETO

PLANEAMENTO DA RECOLHA DOS RESÍDUOS DE
PAPELEIRAS NUMA ÁREA URBANA

SOFIA DA SILVA ALVES

ORIENTAÇÃO:

PROFESSORA DOUTORA MARIA MARGARIDA DE OLIVEIRA
MOZ CARRAPA

PROFESSORA DOUTORA LÍGIA DUQUE BATISTA AMADO

OUTUBRO – 2015

Agradecimentos

Começo por agradecer à junta de freguesia de Alvalade que me possibilitou este projeto e a todos os trabalhadores que estiveram sempre disponíveis para as minhas dúvidas e ao ISEG, por ter proporcionado as condições para que este trabalho se realizasse.

Às minhas orientadoras, professora Doutora Margarida Moz e professora Doutora Lígia Amado, pelo apoio, dedicação, pelos conhecimentos que me transmitiram, pelas opiniões e críticas que me foram dando ao longo deste período e pela disponibilidade em esclarecerem todas as minhas dúvidas.

À professora Doutora Cândida Mourão e à professora Doutora Leonor Pinto por toda a colaboração dada ao longo destes meses e à Fundação para a Ciência e Tecnologia pela Bolsa concedida no âmbito do projeto SEROW (PTDC/ECE-GES/121406; UID/MAT/04561/2013).

À minha família, em especial aos meus pais, por me terem ajudado a crescer, a ser a pessoa que sou; sem eles não teria sido possível concretizar todos os meus sonhos; à minha irmã por todos estes anos de convívio, de aprendizagem, de me ter permitido saber como é bom ter alguém com quem partilhar; ao meu cunhado por ter estado sempre disponível para as minhas questões. Aos meus avós que sempre me desejaram o melhor ao longo destes anos. Ao meu tio e à minha tia pela motivação.

Por último, mas não menos importante, aos meus amigos que me acompanharam nesta jornada, pelo incentivo, interesse, amizade e ajuda, em especial à Marta, à Joana, à Sofia, ao David C., ao David O., à Tatiana, à Rita N., à Rita P. e à Mafalda.

Resumo

A recolha de resíduos urbanos é um dos problemas que carece de grande atenção por parte das entidades municipais. Na freguesia de Alvalade, pretende-se criar rotas para um veículo elétrico afeto à recolha dos resíduos das papelarias, de modo a que a duração total das rotas seja a menor possível e respeitem a capacidade do veículo e a duração dos turnos dos trabalhadores. Trata-se de um problema de otimização com procura nos arcos e restrições de capacidade (CARP). Assim, é adotado um modelo de programação linear inteira mista baseado em Gouveia et al. [15] para descrever matematicamente o problema prático e ajudar a resolvê-lo.

O presente projeto iniciou-se com a recolha e tratamento dos dados. A informação recolhida foi organizada no *Microsoft Excel 2013* e o modelo foi testado com o *Premium Solver Pro*. Obtiveram-se soluções para instâncias de média dimensão, baseadas em dados reais que permitiram avaliar o método utilizado.

Este trabalho permitiu concluir que este método poderá vir a ser a base de um sistema automatizado para produzir percursos para o veículo que faz a recolha.

Palavras-chave: otimização em redes, problemas de rotas com procura nos arcos (ARP), problemas de rotas com procura nos arcos e restrições de capacidade (CARP)

Abstract

Waste collection is a problem lacking attention from the Municipal entities. For the parish of Alvalade, routes are intended to be created for an electric vehicle that collects the litter bins' waste in such way that the total duration of routes is as shortest as possible, don't push the vehicle's own limits and don't interfere with the workers' shifts. This is presented as a capacitated arc routing problem (CARP). Therefore, a mixed integer linear programming model based on Gouveia et al. [15] was adopted to mathematically describe the practical problem and to help solving it.

This project began with data collection and treatment. A database was then built using *Excel 2013* and the model was tested on *Premium Solver Pro*. To assess the method used, solutions were obtained for midsized instances, based on real data.

This work led to the conclusion that the method could be the basis for an automated system to produce itineraries for the garbage collecting vehicle.

Keywords: network optimization, arc routing problems (ARP), capacitated arc routing problems (CARP)

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice de figuras	VI
Índice de tabelas	VII
Glossário	VIII
Capítulo I: Introdução	1
Capítulo II: Enquadramento teórico	3
2.1. Introdução	3
2.2. Problemas de rotas com procura nos arcos	4
2.3. Problemas de rotas com procura nos arcos e restrições de capacidade	7
Capítulo III: Descrição do problema e metodologia	11
3.1. Descrição do problema	11
3.2. Recolha de dados	12
3.3. Formalização do problema	14
3.4. Algumas modificações do modelo	18
Capítulo IV: Experiência computacional	22
4.1. Tratamento dos dados	22

4.2. Testes preliminares.....	23
4.3. Resolução do PRRP	25
4.3.1. Resultados da recolha por giros.....	27
4.3.2. Resultados da recolha por zonas	28
4.3.3. Resultados da recolha das papelarias críticas	29
4.4. Análise e interpretação de resultados	30
Capítulo V: Conclusões.....	32
Referências bibliográficas	34
Anexos.....	38
Anexo A.....	38
Anexo A1: Rede da instância 2	38
Anexo A2: Solução da instância 2 no <i>Excel</i> 2013.....	39
Anexo B: Mapa da freguesia de Alvalade	40
Anexo C: Mapa da freguesia de Alvalade do giro 2	41
Anexo D: Organização dos dados no <i>Excel</i> 2013	42
Anexo E: Proposta para um percurso da viagem 1 da zona 2	43

Índice de figuras

Figura 1 - Esquema das sete pontes de Königsberg	5
Figura 2 - Grafo do problema das pontes de Königsberg	5
Figura 3 – Exemplo 1 de uma rede	20
Figura 4 - Exemplo 1 – rede com o vértice do depósito replicado.....	20
Figura 5 – Exemplo 1 com o vértice 7 representando o depósito.....	21
Figura 6 – Informação relativa à instância 1 (exemplo 1) no <i>Excel</i>	22
Figura 7 - Restrições da instância 1	23
Figura 8 - Solução da instância 1	24

Índice de tabelas

Tabela 1 – Viagens a realizar – divisão em subgiros	27
Tabela 2 – Viagens a realizar – divisão em subzonas	29
Tabela 3 – Viagens a realizar – papelarias críticas	30

Glossário

ARP	<i>Arc Routing Problem</i>
CARP	<i>Capacitated Arc Routing Problem</i>
CCPP	<i>Capacitated Chinese Postman Problem</i>
CPP	<i>Chinese Postman Problem</i>
DCARP	<i>Directed Capacitated Arc Routing Problem</i>
MCARP	<i>Mixed Capacitated Arc Routing Problem</i>
NRP	<i>Node Routing Problem</i>
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PRRP	Problema da Recolha dos Resíduos de Papeleiras
RPP	<i>Rural Postman Problem</i>
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>

Capítulo I: Introdução

A recolha de resíduos urbanos é um dos problemas que mais preocupa as entidades municipais das grandes cidades. Define-se como resíduo¹ qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou de que tem a intenção ou obrigação de se vir a desfazer. De acordo com o regulamento de resíduos sólidos na cidade de Lisboa², é obrigatória a utilização de equipamentos específicos como as papeleiras, nas ruas e outros espaços públicos, que permitam a recolha dos resíduos sólidos urbanos, semelhantes a resíduos domésticos, como por exemplo papéis, maços de tabaco e pontas de cigarro.

Este projeto, sobre o planeamento e recolha dos resíduos de papeleiras numa área urbana, foi proposto pela junta de freguesia de Alvalade.

O problema em questão surge devido à grande dimensão desta freguesia e à existência de uma grande afluência populacional (habitacional e comercial). Pretende-se criar e otimizar rotas para um veículo elétrico afeto à recolha de papeleiras, de modo a que a duração total das rotas seja a menor possível, respeitando a capacidade do veículo e o horário de trabalho dos funcionários. As papeleiras encontram-se dispersas ao longo de ruas, quer de dois sentidos, quer de sentido único. Cada viagem é iniciada no depósito, sempre com os contentores vazios, e termina no depósito quando for necessário despejar os resíduos ou quando o turno dos funcionários terminar.

¹ Diário da República 2ª série – nº 174 – 15 de abril de 2014, artigo 3º nº2 al. I).

² Boletim Municipal Câmara Municipal de Lisboa – 1º suplemento ao boletim municipal nº.547 – Regulamento de resíduos sólidos da cidade de Lisboa, artigos 4º al. i) e 18º.

Para construir as viagens do veículo, foi necessário estudar dois grandes grupos de problemas, os problemas de rotas com procura nos vértices (*Node Routing Problem – NRP*) e os problemas de rotas com procura nos arcos (*Arc Routing Problem – ARP*). Neste caso, como as papelarias se encontram ao longo das ruas, trata-se de um ARP.

Uma vez que o veículo tem capacidade limitada e que o turno dos trabalhadores tem duração máxima, é necessário ter em conta estas restrições, ficando com um problema com procura nos arcos e restrições de capacidade e de tempo limite (*Capacitated and Limited Arc Routing Problem – CLARP*).

Para determinar as rotas propõe-se um modelo matemático baseado numa formulação de fluxos para o CARP misto (MCARP) de Gouveia et al. [15]. O problema é resolvido com o *Premium Solver Pro* do *Frontline*.

No próximo capítulo é feito um enquadramento teórico do problema, com referência a alguns estudos realizados na área da recolha dos resíduos. No capítulo III, é descrito o problema prático e a metodologia usada para o resolver. O capítulo IV é dedicado à experiência computacional, sendo analisados os resultados obtidos. Finalmente, no capítulo V, são apresentadas conclusões.

Capítulo II: Enquadramento teórico

Neste capítulo faz-se uma breve apresentação de problemas de otimização de rotas e o seu enquadramento histórico. São também referidos alguns trabalhos publicados sobre os problemas com procura nos arcos.

2.1. Introdução

Os problemas de otimização de rotas consistem em determinar percursos para um ou mais veículos (ou indivíduos) que se têm de deslocar para desenvolver atividades, executar tarefas ou prestar serviços, em locais em que são requeridos, com o objetivo de otimizar uma função que pode representar, por exemplo, o custo ou a distância total dos percursos (a minimizar). São exemplos deste tipo de problemas a recolha de resíduos, a manutenção das estradas, a leitura de contadores, a entrega de correio, entre outros.

Quando os serviços são requeridos em locais relativamente distantes, estes problemas são designados por problemas de rotas com procura nos vértices, NRP (do inglês *Node Routing Problem*) [19], [24]. O Problema do Caixeiro Viajante, TSP (do inglês *Travelling Salesman Problem*) e o Problema de Determinação de Rotas de Veículos, VRP (do inglês *Vehicle Routing Problem*) são exemplos de problemas que pertencem a esta categoria.

Segundo Applegate et al. [1], o TSP foi formalizado como um problema matemático em 1930, por Karl Menger. Este problema consiste em determinar o circuito de menor custo, para um vendedor que parta de uma determinada cidade, sabendo que tem de visitar um conjunto de cidades, uma e uma só vez e retornar à cidade em que iniciou o

percurso. Os vértices representam as cidades e as ligações entre elas têm associada informação relativa ao custo de ir diretamente de uma cidade para outra [13].

O VRP foi descrito por Dantzig e Ramser [8] em 1959 e consiste em determinar um conjunto de percursos a ser realizado por veículos, satisfazendo a procura nos vértices e minimizando o custo total dos percursos.

Quando os serviços são requeridos em locais próximos uns dos outros, de modo a poder considerar-se que os serviços são prestados em contínuo, estes problemas designam-se por problemas de rotas com procuras nos arcos, ARP (do inglês *Arc Routing Problem*) [19]. Como se verá a seguir, o problema do Carteiro Chinês, CPP (do inglês *Chinese Postman Problem*) e o problema do Carteiro Rural, RPP (do inglês *Rural Postman Problem*) são considerados nesta categoria.

Na prática, muitas vezes os veículos têm limite de capacidade como, por exemplo, de peso ou de volume. É esse o caso do problema da recolha dos resíduos de papelarias, que se pretende tratar, PRRP, que pode ser considerado como um problema de rotas com procura nos arcos e restrições de capacidade, CARP (do inglês *Capacitated Arc Routing Problem*).

2.2. Problemas de rotas com procura nos arcos

Um ARP pode ser definido em redes (ou grafos) orientadas, não orientadas ou mistas. Considere-se uma rede $G = (V, A)$, em que V representa o conjunto de vértices e A o conjunto de ligações entre os vértices. A rede diz-se orientada se todas as ligações em A forem orientadas (arcos); se as ligações em A forem não orientadas (arestas)

classifica-se como uma rede não orientada e se em A existirem arcos e arestas designa-se por rede mista [17], [21]. A entrega de correio feita a pé numa grande cidade e a leitura de contadores são exemplos de problemas de ARP em redes não orientadas. O problema de recolha dos resíduos urbanos por veículos pode ser exemplo de um ARP orientado ou não orientado (ou misto), consoante seja interdita ou não, a recolha em *zigzag*. Todos estes serviços são exemplos de problemas de ARP com que nos deparamos no nosso dia-a-dia. Podemos encontrar mais aplicações para este tipo de problemas, por exemplo, em Eiselt et al. [10] e [11] e em Assad e Golden [2].

Corberán e Laporte [7] atribuem a Leonhard Euler os fundamentos do estudo de problemas de ARP. Foi em 1736 que Euler estudou o primeiro problema de teoria de grafos. Euler questionou-se se seria possível atravessar a pé as sete pontes sobre o rio Pregel em Königsberg (atualmente Kaliningrad, Rússia), passando exatamente uma vez por cada ponte e voltando ao ponto de partida.

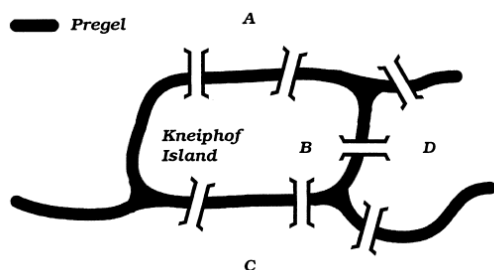


Figura 1 - Esquema das sete pontes de Königsberg

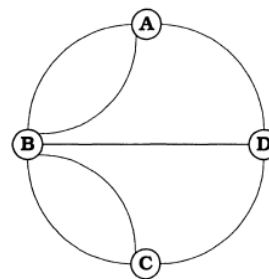


Figura 2 - Grafo do problema das pontes de Königsberg

Na figura 1, está representado um esquema das sete pontes. Este problema pode ser representado por um grafo não orientado, em que cada aresta corresponde a uma ponte e cada vértice corresponde a uma das margens do rio ou a uma ilha. Na figura 2, está representado este grafo. Pretende-se determinar uma cadeia, isto é, uma sequência de ligações em que não é tida em conta a orientação, que contenha todas as

arestas do grafo, sem repetições. Atualmente, esta é conhecida por cadeia Euleriana. Euler concluiu que, num grafo não orientado a cadeia Euleriana existe se e só se todos os vértices tiverem grau par (ou seja, se cada um dos vértices tiver um número par de arestas nele incidente) [9].

Nos anos sessenta do século XX, Mei-Ko Kwan estudou o que ficou conhecido por problema do Carteiro Chinês, que consiste em determinar um percurso para um carteiro que atravesse a pé todas as ruas de uma região e volte ao posto de correio, de modo a que a distância total percorrida seja mínima, conforme Eiselt et al. [11]. Segundo Grötschel e Yuan [16], o artigo de Mei-Ko Kwan foi publicado em chinês em 1960 e traduzido para inglês por Edmonds em 1962.

Um problema semelhante ao do Carteiro Chinês é o do Carteiro Rural (*Rural Postman Problem – RPP*), apresentado por Orloff em 1974, segundo Ulusoy [25]. A diferença entre estes dois problemas é que no carteiro rural não é obrigatório entregar correio em todas as ruas.

No livro editado por Corberán e Laporte [7], é feita uma breve abordagem histórica ao ARP e são apresentados diversos problemas, para um ou mais veículos. A última parte do livro é dedicada a estudos feitos sobre a aplicabilidade dos modelos para problemas de rotas com procuras nos arcos.

2.3. Problemas de rotas com procura nos arcos e restrições de capacidade

Em algumas situações é necessário incluir restrições de capacidade nos modelos para os tornar mais adaptados à realidade. Algumas das restrições mais frequentes representam o limite da capacidade do veículo ou a duração total dos turnos de trabalho.

O CARP, definido em 1981 por Golden e Wong [14] numa rede não orientada, associa a cada aresta um custo ou comprimento não negativo e a cada veículo que parta do depósito um limite de capacidade. O objetivo é determinar um conjunto de rotas com um custo total mínimo, sendo que cada rota começa e termina no depósito, todas as arestas com procura são servidas e a capacidade do veículo não é excedida. A resolução deste problema é bastante complexa e Golden e Wong provam que se trata de um problema NP – difícil.

O PRRP vai ser formalizado como um problema de rotas com procura nos arcos, uma vez que as papelarias se encontram ao longo das ruas; o problema tem restrições de capacidade e de tempo limite, porque o veículo tem capacidade limitada e o tempo de cada viagem é limitado pela duração dos turnos de trabalho.

Segundo Bodin et al. [5] o problema do Carteiro Chinês com restrições de capacidade (CCPP), o CPP e o RPP são casos particulares do CARP e o TSP e o VRP podem ser transformados em CARP. Para explicar a relação do CARP com estes problemas, Bodin et al. [5] consideram uma rede não orientada cujas arestas têm procura não negativa ($q_{ij} \geq 0$) e um veículo com capacidade $W \geq 0$. Se todas as arestas tiverem procura positiva e a capacidade do veículo for inferior à procura total tem-se o CCPP, mas se a capacidade do veículo for não limitada ($W \geq \sum_i \sum_j q_{ij}$) tem-se o CPP. Se só algumas

arestas tiverem procura positiva e a capacidade do veículo for não limitada, tem-se o RPP. Quanto ao TSP e ao VRP se cada vértice de procura positiva for duplicado e se se adicionar uma aresta de comprimento nulo e procura igual à procura do vértice, a ligar este com a sua cópia, estes problemas podem ser transformados em CARP.

Vejamos agora alguns problemas formalizados como CARP na área da recolha de resíduos sólidos urbanos.

Mourão e Almeida [20] estudaram o CARP orientado (DCARP) para a recolha dos resíduos em Lisboa. Cada veículo parte de uma garagem, localizada fora da zona de recolha, apenas com o motorista e dirige-se até ao posto de serviço da zona em que irá realizar a recolha dos resíduos. De cada posto de serviço partem K veículos. A rota começa no posto de serviço e o veículo recolhe os resíduos ao longo das ruas até atingir a sua capacidade. Depois, dirige-se até à estação de tratamento dos resíduos sólidos (ETRS) para despejar. O veículo regressa e recomeça a segunda viagem. Após completar a última viagem, o veículo regressa ao posto de serviço, deixa a tripulação e o motorista dirige o veículo até à ETRS para despejar os resíduos, retornando à garagem. São propostos dois minorantes para este problema, baseados no modelo de transporte, bem como uma heurística do tipo *route-first cluster-second*.

Ghiani et al. [12] apresentam um caso de estudo para o Sul de Itália sobre a recolha de resíduos recorrendo ao CARP. Para a resolução do problema propõem uma heurística do tipo *cluster-first route-second* aplicada a uma rede com 273 vértices, 292 arestas e 84 arcos. A solução encontrada com a heurística é comparada com a solução baseada

na experiência do município. Conclui-se que com a heurística é possível reduzir o custo total em 8%, a distância percorrida em 11% e a duração do tempo de trabalho em 14%.

Bautista et al. [3] apresentam um modelo MCARP para a recolha de resíduos em Barcelona. Este modelo resultou da transformação de um ARP num NRP. Para esta transformação, os autores baseiam-se em Laporte [18], mas acrescentam algumas restrições que evitam voltas desnecessárias. As soluções são obtidas através de duas heurísticas baseadas nas colónias de formigas (*ant colonies*). Os autores concluem que as soluções encontradas para o problema são melhores do que as utilizadas anteriormente, tanto em termos de custos operacionais como de contaminação acústica.

Santos et al. [23] apresentam um protótipo de um sistema de apoio à decisão (wDSS) que inclui heurísticas e meta heurísticas baseadas nas colónias de formigas, para determinar rotas para problemas com mais de um veículo. É ainda apresentado o percurso detalhado a ser realizado por cada veículo. Este sistema foi testado na cidade de Coimbra e tem em consideração a capacidade do veículo, a duração do turno de trabalho e as regras de trânsito.

Mourão e Amado [22] propõem uma heurística para o MCARP e testam-na em redes geradas aleatoriamente (baseadas na recolha de resíduos em Lisboa), bem como num conjunto de instâncias de teste (baseadas em recolha de resíduos em França). Com estas instâncias foi possível concluir que a heurística proposta é competitiva quando comparada com outras de qualidade reconhecida, que usam o mesmo conjunto de instâncias de teste.

Belenguer et al. [4] apresentam limites superiores para o MCARP e propõem um algoritmo de planos de corte para obter um limite inferior. São apresentadas três heurísticas construtivas baseadas em heurísticas clássicas para o CARP não orientado, *Path Scanning*, *Augment-Merge* e *Ulusoy's Heuristic* e descrevem um algoritmo memético (*Memetic Algorithm*). São apresentados resultados computacionais para comparar os majorantes e os minorantes obtidos com as diferentes heurísticas.

Em Gouveia et al. [15] são apresentados dois modelos compactos para o MCARP, onde o conceito de fluxo é usado para garantir a conexidade das soluções. A primeira formalização apresentada é válida para o MCARP e adequada ao problema da recolha de resíduos. A segunda, sendo um modelo agregado, não é válida para o MCARP. No entanto, é mais fácil de resolver e as suas soluções admissíveis produzem bons minorantes para o valor ótimo do MCARP. De salientar ainda que o valor ótimo da relaxação linear do modelo agregado coincide com o da relaxação linear do primeiro modelo. Os resultados computacionais apresentados mostram a capacidade de resolver instâncias do MCARP de média dimensão usando o primeiro modelo e permitem concluir que os minorantes obtidos através do modelo agregado em algumas instâncias de referência são melhores do que os limites inferiores conhecidos anteriormente. É com base no primeiro modelo destes autores que é desenvolvido este trabalho.

Capítulo III: Descrição do problema e metodologia

Neste capítulo, é feita a descrição do problema prático estudado, seguida da apresentação da metodologia usada para a resolução do mesmo.

3.1. Descrição do problema

A freguesia de Alvalade³ tem tido os seus limites modificados ao longo dos anos. Antigamente, esta freguesia ia desde o Lumiar até ao Arco do Cego, sendo chamada de Campo de Alvalade. Em 1852 integrou o Concelho de Olivais e só em 1886 passou a ser uma das freguesias de Lisboa [6].

No início desta década sofreu a mais recente alteração, sendo constituída pelas antigas freguesias de São João de Brito, Campo Grande e Alvalade. Tem cerca de 5,34 km², representando 6% do território da cidade de Lisboa.

Até Março de 2014, a recolha de resíduos das papelarias (recolha de papelarias), a limpeza de sarjetas e sumidouros, a varredura manual e a lavagem manual das ruas era da responsabilidade da Câmara Municipal de Lisboa. Atualmente, estas competências pertencem às juntas de freguesia.

No início de 2015 existiam dois tipos de recolha: a recolha feita por um veículo elétrico e a recolha apoiada por um veículo de caixa aberta. O veículo elétrico transporta três contentores para onde serão despejadas as papelarias e estava disponível apenas alguns

³ Alvalade provém do árabe “Albatat” que significa “parte plana”.

dias da semana, por ser partilhado com outra freguesia. Estava afeto à recolha de papelarias e a outras tarefas realizadas pela junta de freguesia. O veículo de caixa aberta com capacidade para vinte contentores está sempre disponível. Este está afeto à recolha de papelarias e à recolha dos resíduos dos varredores.

No início deste projeto, a junta de freguesia de Alvalade tencionava adquirir um novo veículo elétrico, com capacidade para oito contentores, destinado exclusivamente a efetuar a recolha das papelarias (substituindo o veículo elétrico anterior). Surgiu assim o tema deste projeto: determinar o percurso que o novo veículo elétrico deverá realizar, para recolher as papelarias da freguesia, de modo a minimizar o tempo total de recolha.

As papelarias encontram-se dispersas por toda a freguesia, quer em ruas de dois sentidos, quer em ruas de sentido único.

O veículo inicia o seu percurso no depósito, com os contentores vazios, dirige-se às ruas onde há papelarias e recolhe-as para dentro dos contentores. Quando os contentores ficam cheios com os resíduos das papelarias, o veículo dirige-se ao depósito para ser despejado. O regresso ao depósito também pode ser devido a ter terminado o turno de trabalho.

3.2. Recolha de dados

Os trabalhadores da junta de freguesia de Alvalade afetos à limpeza das papelarias conhecem muito bem toda a freguesia e a localização das papelarias, pelo que ainda não se tinha feito sentir a necessidade de ter um suporte informático com a localização exata das papelarias (em cada troço de rua). Naturalmente, não existia também

informação digitalizada que incluísse o tempo para realizar um determinado percurso, com e sem recolha de papelarias. Assim, para recolher todos os dados imprescindíveis à resolução do PRRP, começou-se por acompanhar alguns turnos de trabalho. Foram recolhidas informações como o tempo médio de recolha dos resíduos das papelarias, o número total de papelarias que o veículo pode recolher durante cada viagem (capacidade do veículo) e a duração do percurso do veículo em cada troço. Posteriormente, foi preciso determinar a localização exata das papelarias, tendo sido percorridas as ruas da freguesia para obter estes dados.

Para a recolha das papelarias recorrendo ao veículo, está afeta uma equipa que trabalha dois turnos por dia, o da manhã e o da tarde, de segunda a sexta-feira, o que perfaz 10 turnos na semana. Cada turno tem uma duração aproximada de 3h30 minutos.

Foram contabilizadas 523 papelarias. Este número não abrange a freguesia toda, pois existem zonas de difícil acesso, em que a deslocação a pé não foi possível. No entanto, a área não percorrida é uma pequena parte da área total da freguesia.

Verificou-se que não há recolha em zig zag e que não há papelarias na rua do depósito. Além disso, em média, cada papelaria demora 2 minutos a ser despejada para o contentor transportado pelo veículo.

Mediram-se os comprimentos dos troços de rua num mapa e, usando a escala, obtiveram-se os comprimentos reais.

O novo veículo elétrico que a junta pretendia adquirir⁴ tem a capacidade para recolher em média 80 papeleiras.

No final, toda a informação obtida foi guardada e organizada em *Microsoft Office Excel* 2013.

3.3. Formalização do problema

O problema foi formalizado como um problema de programação linear inteira mista (PLIM), com base na formulação de fluxos, para o MCARP, apresentada por Gouveia et al. [15].

Seja $G = (V, A)$ uma rede orientada, em que o vértice 0 representa o depósito e os vértices de 1 até n representam os cruzamentos, entroncamentos ou becos.

Ao segmento de rua entre os pontos i e j corresponde o arco $(i, j) \in A$, se a rua tiver sentido único de i para j ; se tiver dois sentidos, o segmento de rua é representado por um par de arcos de sentidos opostos (i, j) e $(j, i) \in A$.

$A_R \subseteq A$ é o conjunto de arcos que representam os segmentos de rua em que é necessário recolher papeleiras. Estes são designados por arcos de procura.

A viagem de um veículo é o percurso que este realiza desde que sai do depósito, com os contentores vazios, até ao seu regresso ao depósito, onde despeja os contentores.

Designa-se por:

- P o número máximo de viagens permitidas

⁴ E que foi adquirido recentemente.

- W a capacidade do veículo (em número de papeleiras)
- c_{ij} o tempo de recolha das papeleiras no arco $(i, j) \in A_R$
- d_{ij} o tempo de passar no arco $(i, j) \in A$ em vazio, ou seja, sem efetuar recolha
- q_{ij} a quantidade de papeleiras a recolher (procura) no arco $(i, j) \in A_R$
- T o tempo máximo disponível por turno
- λ o tempo de despejar os resíduos do veículo no depósito
- Z o tempo total da recolha

A formalização do problema em PLIM considera ainda, para cada viagem $p = 1, \dots, P$, três conjuntos de variáveis:

$$x_{ij}^p = \begin{cases} 1, & \text{se as papeleiras do arco } (i, j) \text{ forem recolhidas durante a viagem } p, \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases} \quad \forall (i, j) \in A_R$$

y_{ij}^p representa o número de vezes que, na viagem p , o arco (i, j) é atravessado sem efetuar recolha, $\forall (i, j) \in A$

f_{ij}^p representa o fluxo associado ao arco (i, j) , relacionado com o total de papeleiras que ainda falta recolher na viagem p , $\forall (i, j) \in A$

O modelo de PLIM é o seguinte:

$$\text{Min } Z = \sum_{p=1}^P \left(\sum_{(i,j) \in A_R} c_{ij} x_{ij}^p + \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} y_{ij}^p + \lambda \sum_{(i,0) \in A} y_{i0}^p \right) \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{j:(i,j) \in A_R} x_{ij}^p + \sum_{j:(i,j) \in A} y_{ij}^p = \sum_{j:(j,i) \in A_R} x_{ji}^p + \sum_{j:(j,i) \in A} y_{ji}^p$$

$$i = 0, 1, \dots, n, \quad p = 1, \dots, P \quad (2)$$

$$\sum_{p=1}^P x_{ij}^p = 1 \quad \forall (i, j) \in A_R \quad (3)$$

$$\sum_{j:(0,j) \in A} y_{0j}^p \leq 1 \quad p = 1, \dots, P \quad (4)$$

$$\sum_{j:(j,i) \in A} f_{ji}^p - \sum_{j:(i,j) \in A} f_{ij}^p = \sum_{j:(j,i) \in A_R} q_{ji} x_{ji}^p \quad i = 1, \dots, n, \quad p = 1, \dots, P \quad (5)$$

$$\sum_{j:(0,j) \in A} f_{0j}^p = \sum_{(i,j) \in A_R} q_{ij} x_{ij}^p \quad p = 1, \dots, P \quad (6)$$

$$\sum_{i:(i,0) \in A} f_{i0}^p = 0 \quad p = 1, \dots, P \quad (7)$$

$$f_{ij}^p \leq W(y_{ij}^p + x_{ij}^p) \quad \forall (i, j) \in A, p = 1, \dots, P \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^P \left(\sum_{(i,j) \in A_R} c_{ij} x_{ij}^p + \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} y_{ij}^p + \lambda \sum_{(i,0) \in A} y_{i0}^p \right) \leq T \quad (9)$$

$$x_{ij}^p \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A_R, p = 1, \dots, P \quad (10)$$

$$f_{ij}^p \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, p = 1, \dots, P \quad (11)$$

$$y_{ij}^p \geq 0 \text{ e inteiro} \quad \forall (i, j) \in A, p = 1, \dots, P \quad (12)$$

A função objetivo, (1), representa a duração total da recolha dos resíduos, isto é, considera o tempo da recolha das papeleiras, o tempo da passagem em vazio pelos arcos e o tempo de despejar os resíduos no depósito. As restrições (2) garantem a

continuidade da viagem: em cada viagem, o número de vezes que o veículo entra num cruzamento (ou entroncamento) é igual ao número de vezes que sai desse mesmo cruzamento. As condições (3) impõem que seja efetuada a recolha em cada arco de procura numa só viagem e em (4) impede-se que, em cada viagem, haja mais do que uma saída do depósito.

As condições (5), (6), (7) e (8) garantem a conexidade das viagens. As restrições (6) contabilizam a quantidade de papelarias que têm de ser recolhidas pelo veículo, em cada viagem, a partir do depósito. As condições (7) garantem que o veículo, quando regressa ao depósito, recolheu todas as papelarias que estavam estipuladas. Por fim, a restrição (8) relaciona as variáveis de fluxo com as variáveis inteiras, estabelecendo que, em cada viagem, a variável de fluxo associada a um arco só poderá ser positiva se o arco for atravessado nessa viagem.

As restrições (4), (6) e (8), garantem que, em cada viagem, a capacidade do veículo não será ultrapassada.

Por (9), o tempo máximo estabelecido para a viagem não será excedido. As restrições (10), (11) e (12) definem o domínio das variáveis.

Tal como referido, o modelo apresentado para a resolução do PRRP, resulta duma adaptação da formulação de fluxos proposta por Gouveia et al. [15], tendo sido necessário proceder a algumas alterações. O modelo apresentado por Gouveia et al. [15] foi desenvolvido para uma rede mista sendo, no caso do problema em estudo, considerada uma rede orientada. Como na freguesia de Alvalade não existem papelarias a recolher na rua do depósito, $\sum_{(i,0) \in A_R} x_{i0}^p = 0$ e, por isso, tanto na função objetivo

como nas restrições (4) e (7), a parcela $\sum_{(i,0) \in A_R} x_{i0}^p$ foi substituída por zero. Para garantir que a duração do turno de trabalho não seja ultrapassada, adicionou-se uma nova restrição, (9), que contabiliza o tempo de recolha das papeleiras, o tempo de passagem em vazio e o tempo de despejo dos resíduos no depósito. Em ambos os modelos a viagem começa e termina no depósito e a capacidade do veículo nunca poderá ser excedida.

3.4. Algumas modificações do modelo

Quando se fez o acompanhamento dos trabalhadores para recolher os dados verificou-se que o tempo médio para atingir a capacidade máxima do veículo (isto é, o tempo para recolher 80 papeleiras) era semelhante à duração de um turno. Como referido, no início de cada turno o veículo parte do depósito, faz a recolha e volta ao depósito para despejar os resíduos, por ter chegado a hora de terminar o turno ou por ter atingido o limite da capacidade. Neste último caso, o que se verificou foi que o limite de capacidade é atingido quando já falta pouco tempo para o final do turno e, por isso, o veículo não começa uma nova viagem no mesmo turno, sendo o tempo remanescente aproveitado pelos trabalhadores para outras tarefas, também necessárias.

Este facto originou uma simplificação da formalização apresentada, uma vez que em cada turno há apenas uma viagem, isto é, $P = 1$. Assim, as variáveis x_{ij}^p , y_{ij}^p e f_{ij}^p passaram a ser x_{ij} , y_{ij} e f_{ij} . Note-se que, pelas restrições (3), sendo $p = 1$, as variáveis x_{ij} passam a ser constantes.

Foi também introduzida outra pequena modificação ao modelo apresentado na secção anterior (e também referida em Gouveia et al. [15]). Devido à localização do depósito, é possível que, durante uma viagem, seja necessário lá passar sem ser para a terminar, isto é, o depósito poderá ser utilizado como um vértice intermédio. Por este motivo, foi feita uma replicação do vértice zero, de modo a não contabilizar mais do que uma vez o tempo de despejo dos resíduos. Neste caso, considerou-se mais um vértice, $n + 1$, com as mesmas características do vértice 0 (isto é, por cada arco $(i, 0)$ e $(0, j)$ criou-se um novo arco, $(i, n + 1)$ e $(n + 1, j)$, respetivamente, com $d_{i0} = d_{i,n+1}$ e $d_{0j} = d_{n+1,j}$. Assim, sempre que for necessário passar pelo depósito apenas em trânsito, o veículo passa pelo vértice $n + 1$ e o tempo de despejo não será contabilizado. A rede fica então com $n + 2$ vértices, $V = \{0, 1, \dots, n, n + 1\}$.

Na figura 3 está representada uma pequena rede ilustrativa da situação. Tem 7 vértices, o vértice 0 representa o depósito e os restantes representam cruzamentos ou entroncamentos. Todos os arcos (segmentos orientados) correspondem a troços de rua de sentido obrigatório com exceção de $(3,4)$ e $(4,3)$ que correspondem a um troço de dois sentidos. O número associado aos arcos indica o número total de papelarias existentes nessa ligação.

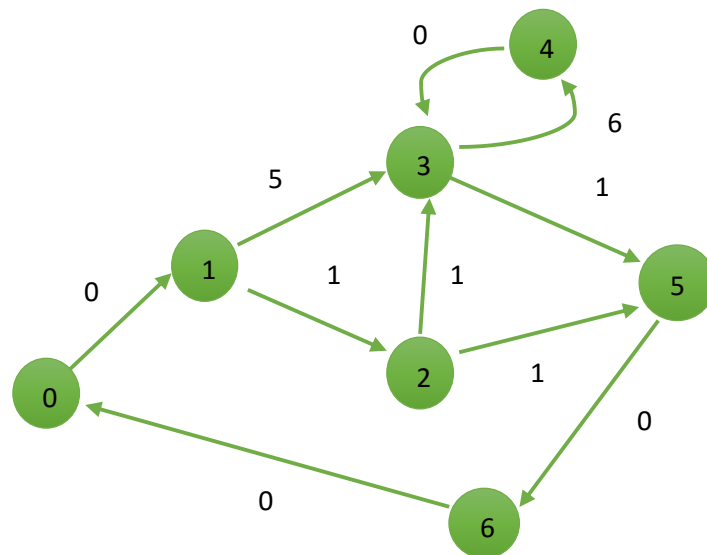


Figura 3 – Exemplo 1 de uma rede

Apenas pela observação da figura 3, facilmente se conclui que não é possível que o veículo consiga recolher todas as papelarias passando uma só vez pelo vértice do depósito. Deste modo, é necessário criar um novo vértice, exatamente com as mesmas características do vértice representado pelo depósito, para que o veículo possa passar pelo “depósito” o número de vezes necessário, sendo contabilizado o tempo de despejo dos resíduos apenas uma vez. Esta situação está representada na figura 4. Nesta nova rede, os vértices 0 e 7 representam o depósito e a sua réplica, respetivamente.

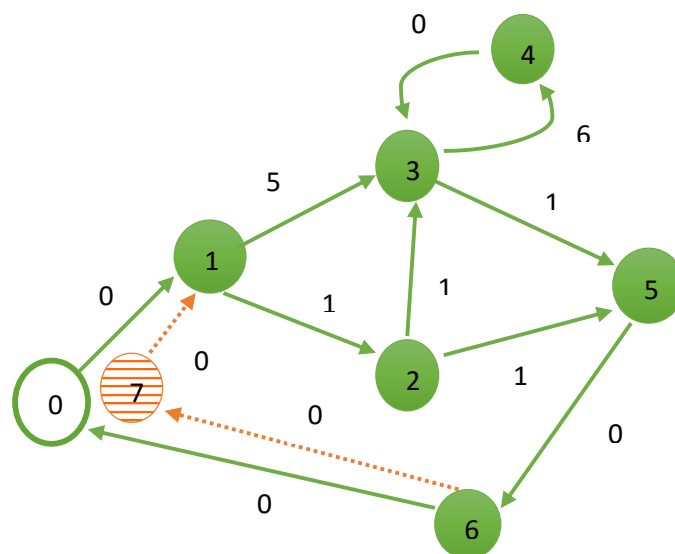


Figura 4 - Exemplo 1 – rede com o vértice do depósito replicado

Outra abordagem possível para permitir passar no depósito sem ser para despejar o veículo teria sido tomar a rede original com $V = \{0,1, \dots, n\}$, juntar um novo vértice $n + 1$, acrescentar dois arcos $((0, n + 1)$ e $(n + 1,0))$ e considerar como depósito verdadeiro o nó $n + 1$ (isto é, a viagem inicia e termina em $n + 1$, e é lá que é considerado o tempo de despejo do veículo). Na figura 5 está representada esta situação. Nesta segunda situação, os vértices 0 e 7 representam a réplica do depósito e o depósito, respetivamente.

A vantagem desta segunda alternativa é a garantia de, para qualquer rede, só se acrescentarem dois arcos e um nó à rede original. No entanto, a localização do depósito na freguesia de Alvalade está numa rua de sentido único (Rua das Murtas) havendo um único arco a terminar no depósito e um único arco a sair do depósito, tal como no exemplo 1. Assim, é indiferente optar pela primeira ou pela segunda abordagem, uma vez que em qualquer delas só são acrescentados dois arcos e um vértice à rede original. Neste trabalho optou-se pela primeira abordagem.

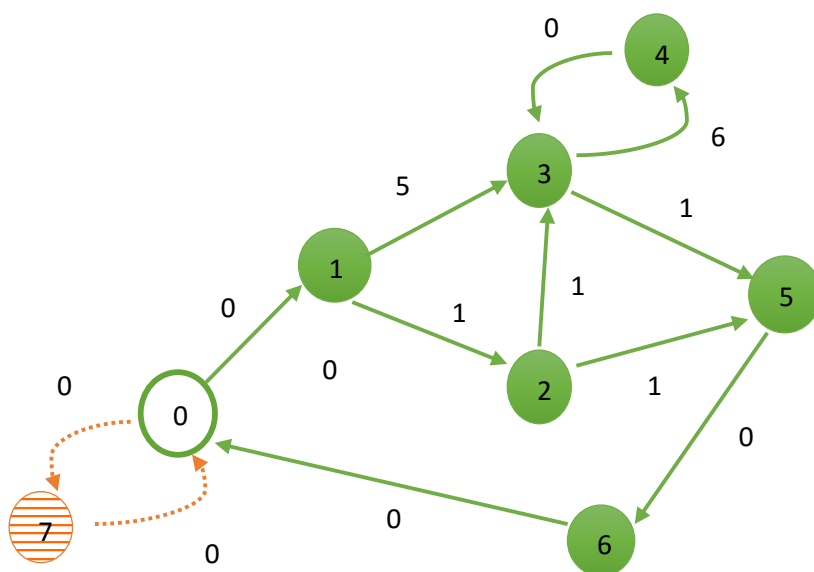


Figura 5 – Exemplo 1 com o vértice 7 representando o depósito

Capítulo IV: Experiência computacional

Neste capítulo descrevem-se os testes efetuados e analisam-se os resultados obtidos.

4.1. Tratamento dos dados

A experiência computacional começou pelo teste ao modelo apresentado no capítulo anterior e formalizado no *Solver* do *Microsoft Excel*, criando uma instância (instância 1) de muito pequena dimensão com os dados do exemplo 1 da secção 3.4.

Nas figuras 6 e 7 é possível ver como é que a informação foi organizada no *Excel*. Nas colunas A e B estão representados os arcos da rede do problema: nas linhas 2 a 11 estão as ligações do problema original (rede da figura 3); as linhas 12 e 13 correspondem à ligação da réplica do depósito com o vértice 1 e o vértice 6, respetivamente (rede da figura 4). A coluna C, desde a linha 2 até à 13, contém o número total de papelarias existentes em cada ligação, isto é, a procura em cada arco.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	arcos	nr pap	tempo de recolha pap	tempo em vazio	$Q_{ij} * X_{ij}$	X_{ij} Se é recolhido =1 cc=0	Y_{ij} Nr vezes q o arco é atravessado sem recolher	Fij Fluxo				
1												
2	0	1	0	3	3	0	0	1	15	capacidade veículo	20	
3	1	2	1	2,5	0,5	1	1	1	3	duração	80	
4	1	3	5	11	1	5	1	0	12	T. rec. 1pap. (min)	2	
5	2	3	1	6	4	1	1	0	0			
6	2	5	1	5	3	1	1	0	2	t. despejo no dep. (λ)	6	
7	3	4	6	14	2	6	1	0	6			
8	4	3	0	2	2	0	0	1	0			
9	3	5	1	3	1	1	1	1	0	t. rec. Pap.	42	
10	5	6	0	4	4	0	0	3	0	t.pass. Vazio	28	
11	6	0	0	1	1	0	0	1	0	t.desp. Resi	6	
12	7	1	0	3	3	0	0	2	0			
13	6	7	0	1	1	0	0	2	0	min Z	75	
14												
15												

Figura 6 – Informação relativa à instância 1 (exemplo 1) no *Excel*

Na coluna E está o tempo de passagem em vazio em cada arco e, na coluna D, indica-se o tempo de passagem do veículo em cada arco. Este tempo (coluna D) resulta de somar

ao tempo de passagem em vazio, o tempo de recolha das papelereiras, se as houver (dois minutos por papelereira). Na coluna K, células 2, 3, 4 e 6, indica-se a capacidade do veículo (em número de papelereiras), a duração dum turno de trabalho (em minutos), o tempo de recolha por papelereira (em minutos) e o tempo de despejo dos resíduos do veículo no depósito (em minutos), respetivamente. Para a instância 1 estes dados são: 20, 80, 2 e 6 respetivamente.

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	
	(2)		(5) $f_{ij}-f_{ij}$				(6) f_{0j}				(8)		x _{ij}						
1																			
2	nodo "Entra=Sai"				nodo "Sai=Entra"				nodo								-5	0	
3	0	1 =	1			1	0 =	0			0	15 =	15				-37	1	
4	1	3 =	3			2	1 =	1									-8	1	
5	2	2 =	2			3	6 =	6									-20	1	
6	3	3 =	3			4	6 =	6			(7) f_{i0}						-18	1	
7	4	1 =	1			5	2 =	2		nodo							-14	1	
8	5	3 =	3			6	0 =	0			0	0 =	0				-20	0	
9	6	3 =	3														-40	1	
10											(4) y_{0j}						-60	0	
11										nodo							-20	0	
12											0	1 <=	1				-40	0	
13																	-40	0	
14											y_{i0}								
15										nodo									
16											0	1							
17																			
18											(9)								
19											75								

Figura 7 - Restrições da instância 1

As colunas F a I e as células K9, K10, K11 e K13 da figura 6, tal como as colunas M a AD da figura 7 estão reservadas aos valores das variáveis e às fórmulas que traduzem as restrições do modelo e valor da função objetivo.

4.2. Testes preliminares

A instância 1 foi resolvida pelo *Solver* do *Excel*. A solução obtida pode ver-se nas colunas G, H e I da figura 6 e o valor da função objetivo na célula K13 da mesma figura. Neste exemplo, o veículo recolhe as 15 papelereiras em 75 minutos (célula W19). Pode verificar-

se que as restrições de capacidade são respeitadas: capacidade do veículo (20 papeleiras) e duração total do turno (80 minutos).

Na figura 8 está representada, na rede, a solução obtida para esta instância. Os arcos com linha contínua correspondem ao início da viagem e os arcos a pontilhado ao último trajeto feito pelo veículo; a viagem termina no vértice do depósito (vértice 0).

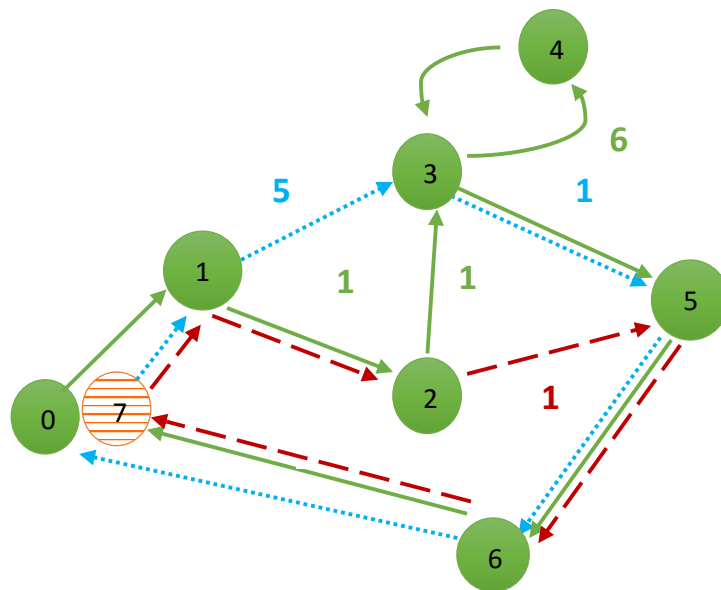


Figura 8 - Solução da instância 1

Assim, o veículo sai do depósito para o vértice 1, recolhe a papeleira de (1,2) seguida da de (2,3), vai a (3,4) recolher as seis papeleiras e regressa por (4,3), passa por (3,5), recolhe uma papeleira e continua a viagem por (5,6) e (6,7), ou seja, passa no depósito, sem ser para despejar; percorre (7,1) e (1,2), recolhe a papeleira de (2,5), passa novamente ao depósito sem ser para despejar, isto é, percorre (5,6), (6,7) e (7,1) para recolher as cinco papeleiras de (1,3), regressando ao depósito, para despejar, percorrendo (3,5), (5,6) e (6,0).

Um segundo teste preliminar foi feito com outra instância, instância 2, criada com base em dados reais de uma parte da freguesia de Alvalade. A instância possui 40 arcos, dos

quais 20 são de procura, 80 variáveis e 93 restrições. No anexo A1 é apresentada a rede correspondente a esta instância e o anexo A2 contém a sua formalização e solução no *Excel*. Esta foi a rede de maior dimensão que se conseguiu resolver com o *Solver* do *Excel* 2013. Para as redes de instâncias maiores, como é o caso das instâncias do PRRP com os dados reais da freguesia de Alvalade, foi necessário instalar o *Premium Solver Pro V2015 – R2 (15.5.1.0)* do *software Frontline*.

4.3. Resolução do PRRP

A informação obtida foi organizada numa folha de *Excel*, como se descreve na secção 4.1. Relativamente à instância 1, foram adicionadas quatro colunas. No anexo D é possível ver esta alteração, onde foram introduzidas as colunas “Rua”, “Papeleiras a recolher”, “Distância (cm) /mapa” e “Distância (km)” que correspondem, respetivamente, ao nome das ruas de cada arco, às papeleiras que vão ser recolhidas, ao comprimento (em cm) de cada arco (dados retirados do mapa) e ao comprimento (em km) de cada troço (convertido de acordo com a escala do mapa – distância (cm)/mapa).

Como referido na secção 3.2., existem 523 papeleiras para recolher, a duração de cada turno de trabalho é de 3h30 (210 minutos) e a capacidade do veículo elétrico é de 80 papeleiras. Devido a estes dados, é impossível recolher todas as papeleiras realizando uma única viagem. Deste modo, os serviços de higiene urbana sentiram necessidade de dividir a freguesia de Alvalade em três sectores para facilitar a recolha das papeleiras e chamaram-lhes giros. O anexo B contém um mapa da freguesia com os limites dos giros:

a linha a tracejado corresponde ao giro 1, a linha a ponteados ao giro 2 e a dupla linha contínua corresponde ao giro 3.⁵

O giro 1 contém 127 papelarias, o giro 2 tem 188 e o giro 3 tem 208. Mesmo com esta nova divisão, continua a ser impossível efetuar uma só viagem em cada giro para recolher as papelarias, uma vez que, mesmo sem ter em conta a duração dum turno, se excede a capacidade do veículo (80). Assim, para propor uma solução para o PRRP, optou-se por manter a divisão da freguesia em giros, mas foi necessário dividir cada giro em giros mais pequenos, os subgiros, para ser possível, em cada um, efetuar a recolha das papelarias numa viagem.

Em cada giro, começa por se considerar um primeiro subgiro, dimensionado por excesso (relativamente à duração do turno), o que origina um problema impossível. Vão-se retirando ruas, das que estão mais próximas do resto do giro e ainda não incluídas em nenhum subgiro, até se obter um problema possível – determina-se a solução ótima do subgiro 1. De seguida, atribui-se procura 0 às ruas consideradas já recolhidas. Na área do giro que ainda não está recolhida, resolve-se o problema de otimização. Se o problema for possível, a divisão do giro está terminada, tendo-se obtido o subgiro 2. Se o problema for impossível, considera-se um segundo subgiro dimensionado por excesso e retiram-se ruas, como se fez para o subgiro 1, até obter um problema possível – obtém-se então a solução ótima do subgiro 2. O procedimento continua até ter sido

⁵ No anexo C é possível ver a distribuição das papelarias e as distâncias entre cruzamentos e entroncamentos pertencentes ao giro 2.

possível considerar recolhidas todas as papelarias do giro, obtendo-se uma solução heurística para o problema.

4.3.1. Resultados da recolha por giros

Tendo-se em conta a capacidade do veículo elétrico e o número de papelarias existentes em cada giro, consegue-se determinar que o giro 1 terá de ser repartido em pelo menos, dois subgiros e que o giro 2, tal como o giro 3, terão de ser repartidos em, pelo menos, três subgiros. No total, ainda antes de se resolver o problema sabe-se que, considerando a divisão da freguesia em giros e dividindo os giros em subgiros, serão realizadas pelo menos 8 viagens.

Na tabela 1 estão os resultados obtidos de acordo com a divisão dos giros em subgiros.

		Giro 1	Giro 2	Giro 3
Viagem 1	#Papeleiras:	65	80	75
	Duração Total (min):	176,05	198,3	191,29
Viagem 2	#Papeleiras:	62	77	72
	Duração Total (min):	173,15	197,31	181,35
Viagem 3	#Papeleiras:		31	61
	Duração Total (min):		88,97	167,52

Tabela 1 – Viagens a realizar – divisão em subgiros

Começando pelo giro 1, na instância do primeiro subgiro (giro 1, viagem 1) o veículo recolhe 65 papelarias, em aproximadamente, 176 minutos, e na do segundo subgiro (giro 1, viagem 2) as 62 papelarias são recolhidas em 173,15 minutos. Em relação ao giro 2, as 80 papelarias do primeiro subgiro (giro 2, viagem 1) são recolhidas em 198,3 minutos; as 77 papelarias do segundo subgiro (giro 2, viagem 2) em 197,31 minutos e as

31 papeleiras do terceiro subgiro (giro 2, viagem 3) em 88,97 minutos. Por fim, o último giro, giro 3, foi dividido em três subgiros, sendo que, no primeiro (giro 3, viagem 1) o veículo recolhe 75 papeleiras em 191,29 minutos; no segundo subgiro (giro 3, viagem 2) recolhe 72 papeleiras em 181,35 minutos e na viagem 3, correspondente ao último subgiro (giro 3, viagem 3), são recolhidas 61 papeleiras em 167,52 minutos.

Note-se que, no total, são efetuadas oito viagens, mas que uma delas tem duração inferior a meio turno. Como se sabe, na freguesia existem 523 papeleiras para recolher e o veículo elétrico tem capacidade para recolher 80, sendo possível concluir que no mínimo terão de ser realizadas sete viagens em sete turnos de trabalho. Assim, os resultados obtidos poderão, eventualmente, ser melhorados. Como na viagem 3 do giro 2 existem 31 papeleiras para recolher, tentou-se redistribuir estas papeleiras pelos restantes subgiros. Com esse propósito, fez-se uma nova divisão da freguesia em três giros modificados, a que se chamará zonas.

4.3.2. Resultados da recolha por zonas

Nesta nova divisão, os giros foram reajustados: além de tentar distribuir as 31 papeleiras da viagem 3 do giro 2 pelas restantes viagens, também foi necessário distribuir algumas papeleiras das restantes viagens para não exceder nem a capacidade do veículo, nem a duração dos turnos de trabalho.

A zona 1 contém 139 papeleiras, a zona 2, 158 papeleiras e a zona 3, 226 papeleiras. Assim, tal como para os giros, foi necessário proceder a uma divisão das zonas em subzonas.

Na tabela 2 são apresentados os resultados obtidos com o *Frontline*, de acordo com esta nova divisão da freguesia em zonas (e subzonas).

		Zona 1	Zona 2	Zona 3
Viagem 1	#Papeleiras:	71	79	79
	Duração Total (min):	200,84	198,2	199,29
Viagem 2	#Papeleiras:	68	79	77
	Duração Total (min):	186,31	200,03	191,50
Viagem 3	#Papeleiras:			70
	Duração Total (min):			191,73

Tabela 2 – Viagens a realizar – divisão em subzonas

Nesta divisão por zonas são realizadas no total sete viagens (em sete turnos de trabalho), para recolher todas as papeleiras da freguesia.

4.3.3. Resultados da recolha das papeleiras críticas

Por vezes, é necessário recolher com mais frequência algumas papeleiras. Estas papeleiras são chamadas de papeleiras críticas e estão, em geral, nas ruas de maior afluência populacional. Como existem dez turnos na semana e, segundo os resultados obtidos, a recolha se pode fazer em sete turnos, pensou-se em criar viagens para recolher só as papeleiras críticas.

Apenas foram escolhidos os giros 2 e 3 para criar as instâncias que contêm as papeleiras críticas, pois estes são os giros que abrangem as ruas de maior afluência populacional na freguesia de Alvalade: Avenida de Roma, Avenida da Igreja e Avenida do Rio de Janeiro, Avenida dos Estados Unidos da América, Avenida Dom Rodrigo da Cunha e algumas das transversais à Avenida da Igreja. O giro 1, por ter uma dimensão inferior

aos restantes e por conter ruas que não são tão movimentadas, não foi incluído nesta fase da experiência.

Para construir cada uma das viagens críticas selecionaram-se as ruas que continham as papeleiras críticas, testando-se de seguida as instâncias com o modelo adotado. Para uma das instâncias, verificou-se que o *software* não teve capacidade para resolver o problema devido ao número excessivo de variáveis. Assim, foi necessário reduzir a dimensão da instância retirando ruas sem papeleiras críticas e que poderiam não ser usadas como ruas de passagem do veículo. Após este redimensionamento, os problemas de otimização foram resolvidos. Desta maneira, foram criadas duas novas viagens (as viagens críticas) com o objetivo de recolher, mais uma vez na semana, as papeleiras críticas pertencentes aos giros 2 e 3.

Na tabela 3, estão os resultados para a recolha das papeleiras críticas.

	Giro 2 Crítico	Giro 3 Crítico
# Papeleiras:	80	80
Duração total (min):	196,87	206,28

Tabela 3 – Viagens a realizar – papeleiras críticas

Na instância relativa ao giro 2, o veículo recolhe 80 papeleiras críticas em 196,87 minutos. Na instância do giro 3, são também recolhidas 80 papeleiras críticas em 206,28 minutos.

4.4. Análise e interpretação de resultados

De acordo com os resultados obtidos com a divisão da freguesia em zonas, a recolha das papeleiras de toda a freguesia poderá ser feita em sete dos dez turnos semanais. Nos

turnos remanescentes pode optar-se por recolher as papelarias críticas. Por exemplo, inicia a recolha pela zona 1, segue-se a recolha das papelarias críticas do giro 3 e depois recolhe-se a zona 2, de seguida a zona 3 e poderá terminar a semana a recolher as papelarias críticas do giro 2. Outra alternativa é, após fazer as sete viagens necessárias em toda a freguesia, recomeçar novamente a recolha, deixando as papelarias críticas para serem recolhidas pelo veículo de caixa aberta.

Os resultados obtidos com o *Premium Solver Pro* não exprimem diretamente a solução a apresentar à junta de freguesia de Alvalade. Para isso, seria preciso criar um *software* que traduzisse os resultados em percursos. Um tal *software* ainda não foi desenvolvido.

No anexo E está descrita uma das possibilidades para realização da viagem 1 da zona 2, com base no output fornecido pelo *Premium Solver Pro*. Note-se que sempre que o resultado de uma instância tem algum arco de procura (i, j) tal que y_{ij} é diferente de 0, tal corresponde a passar pelo menos duas vezes no arco (i, j) , uma a recolher as papelarias e as restantes y_{ij} vezes apenas de passagem, o que dá origem a diferentes alternativas de recolha: por exemplo, recolher à primeira passagem em (i, j) e depois passar sem recolher, ou passar primeiro em (i, j) sem recolher e só recolher à última passagem.

Capítulo V: Conclusões

O presente projeto permitiu criar viagens para um novo veículo elétrico destinado à recolha das papeleiras da freguesia de Alvalade, respeitando a capacidade do veículo e a duração do turno dos trabalhadores.

Foi adotado um modelo matemático formalizado em PLIM, com base na formulação de fluxos de Gouveia et al. [15], e feitas algumas modificações e simplificações. Seguidamente, procedeu-se à recolha e tratamento dos dados necessários e à sua organização em *Excel*.

Usando o *Solver do Excel 2013* testou-se o modelo com instâncias de pequena dimensão. Para as instâncias de maior dimensão, baseadas nos dados reais da freguesia, foi necessário utilizar o *Premium Solver Pro* do *Frontline Solver*.

Começou-se por construir instâncias de acordo com a divisão da freguesia em giros, feita pelos serviços de higiene urbana. Resolvidos os problemas, obteve-se um plano de recolha com oito viagens que ocupam sete turnos e meio de trabalho.

Como foram contabilizadas no total 523 papeleiras e visto que a capacidade máxima do veículo é de 80 papeleiras, sabia-se que no mínimo teriam de ser realizadas sete viagens. Assim, estudou-se também a redistribuição das papeleiras pertencentes à viagem com a duração de meio turno, pelos restantes giros. Nesta nova divisão da freguesia, os giros modificados passaram a chamar-se zonas e com as instâncias resultantes obteve-se um plano de sete viagens em sete turnos de trabalho. Como durante uma semana há dez turnos de trabalho, foi testada também a possibilidade de usar esses três turnos

remanescentes para recolher as papelarias críticas, isto é, as papelarias que precisam de ser recolhidas com mais frequência. Criaram-se duas novas viagens, para recolher as papelarias críticas pertencentes aos giros 2 e 3.

É de salientar que os resultados apresentados, quando postos em prática pelos serviços de higiene urbana da junta de freguesia de Alvalade poderão não ser exequíveis, pois todo o trabalho foi feito usando estimativas dos parâmetros desconhecidos e já não foi possível (por falta de tempo), fazer a verificação e afinação dessas estimativas. Além disso, também não foram tidas em conta as contingências do tráfego (engarrafamentos, semáforos, hora de ponta).

Seria também interessante criar percursos para o veículo com base noutra sectorização da freguesia, isto é, noutra divisão da freguesia completamente distinta dos giros e zonas, e comparar os resultados com os aqui obtidos. Finalmente, também ficou por criar uma forma automatizada de produzir os percursos, com base na zona selecionada.

Este trabalho final de mestrado pode ser a base da resolução do problema real embora, no tempo disponível, não tivesse sido possível dar resposta a todas estas questões.

Referências bibliográficas

- [1] Applegate, D. L., Bixby, E. R., Vasek, C., & Cook, W. J. (2006). *The Traveling Salesman Problem: A computational Study*. Princeton.
- [2] Assad, A. a., & Golden, B. L. (1995). Network Routing. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 8, 375–483.
- [3] Bautista, J., Fernández, E., & Pereira, J. (2008). Solving an urban waste collection problem using ants heuristics. *Computers and Operations Research*, 35(9), 3020–3033.
- [4] Belenguer, J. M., Benavent, E., Lacomme, P. & Prins, C. (2006). Lower and upper bounds for the mixed capacitated arc routing problem. *Computers and Operations Research*, 33, 3363-3383.
- [5] Bodin, L., Golden, B., Assad, A., & Ball, M. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers and Operations Research*, 10(2), 63-211.
- [6] Câmara Municipal de Lisboa. *FREGUESIA DE ALVALADE* [Em linha]. Disponível em: <http://www.cm-lisboa.pt/municipio/juntas-de-freguesia/freguesia-de-alvalade>
[Acesso em: 2015/08/07]
- [7] Corberán, Á., & Laporte, G. (2014). *Arc Routing: Problems, Methods, and Applications*. Philadelphia: MOS-SIAM Series on Optimization.

- [8] Dantzig, A. G. B. & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91.
- [9] Dror, M. (2000). *Arc Routing: Theory, Solutions and Applications*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- [10] Eiselt, H. a., Gendreau, M., & Laporte, G. (1995). Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem. *Operations Research*, 43(2), 231–242.
- [11] Eiselt, H. A., Gendreau, M., & Laporte, G. (1995). Arc routing-problems, Part II: The rural postman problem. *Operations Research* 43(3), 399-414.
- [12] Ghiani, G., Guerriero, F., Improta, G., & Musmanno, R. (2005). Waste collection in Southern Italy: solution of a real-life arc routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 12(2), 135–144.
- [13] Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning*. London: John Wiley & Sons, Ltd.
- [14] Golden, B. L., & Wong, T. R. (1981). Capacitated arc routing problems. *Networks*, 11, 305-315.
- [15] Gouveia, L., Mourão, M. C., & Pinto, L. S. (2010). Lower bounds for the mixed capacitated arc routing problem. *Computers and Operations Research*, 37(4), 692–699.

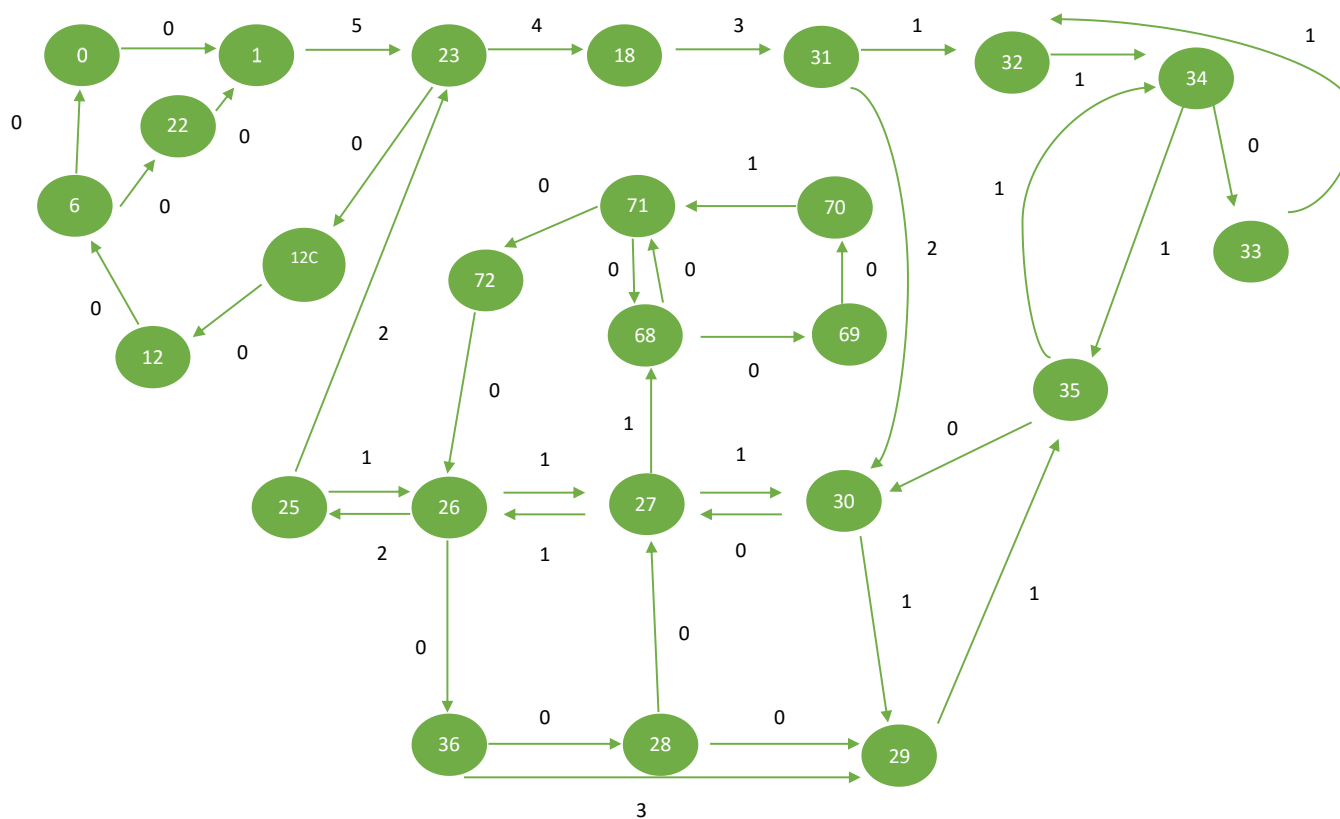
- [16] Grötschel, M., & Yuan, Y. (2012). Euler, Mei-Ko Kwan, Königsberg, and a Chinese Postman. *Documenta Mathematica*, I(Extra Volume: Optimization Stories), 43–50.
- [17] Hillier, F.S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research*. New York: McGraw - Hill.
- [18] Laporte, G. (1997). Modeling and solving several classes of arc routing problems as traveling salesman problems. *Computers and Operations Research*, 24(11), 1057–1061.
- [19] Mourão, M. C. (1999). *Optimização de Rotas na Recolha de Resíduos Urbanos*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [20] Mourão, M. C., & Almeida, M. T. (2000). Lower-bounding and heuristic methods for a refuse collection vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 121(2), 420–434.
- [21] Mourão, M. C., Pinto, L. S., Simões, O., Valente, J., & Pato, M. V. (2011). *Investigação Operacional: Exercícios e Aplicações*. Lisboa: Verlag Dashofer.
- [22] Mourão, M. C., & Amado, L. (2005). Heuristic Method for a mixed capacitated arc routing problem: A refuse collection application. *European Journal of Operational Research*, 160, 139-153.
- [23] Santos, L., Rodrigues, J. M., & Antunes, C. H. (2011). A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. *Decision Support Systems*, 51, 1-9.

- [24] Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. Philadelphia: MOS-SIAM Series on Optimization.
- [25] Ulusoy, G. (1985). The fleet size and mix problem for capacitated arc routing. *European Journal of Operational Research*, 22, 329-337.

Anexos

Anexo A

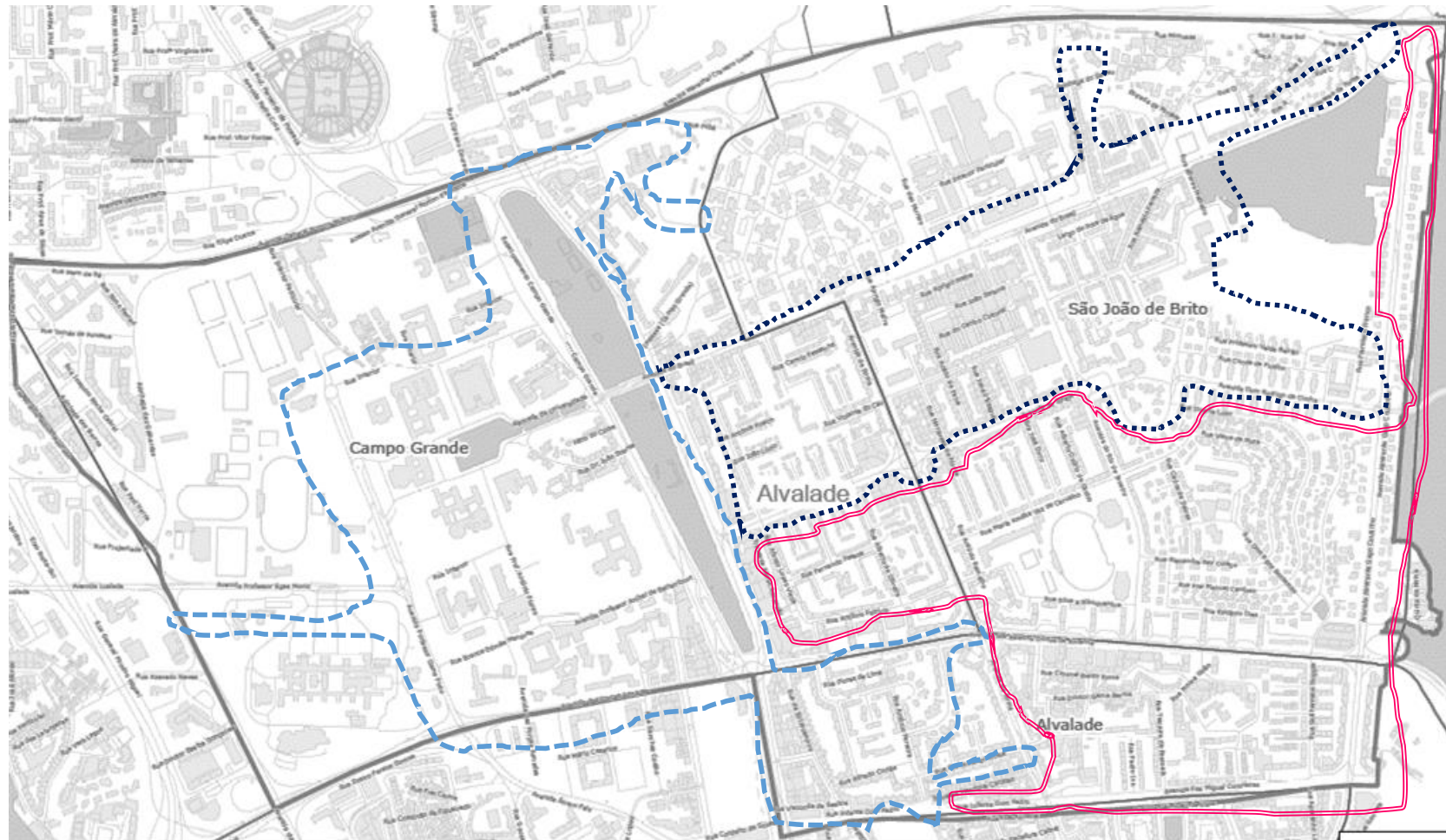
Anexo A1: Rede da instância 2



Anexo A2: Solução da instância 2 no Excel 2013

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI					
1	Rua		Arcos		Pap. A recolher	Tempo de recolha (min)	Tempo em vazio (min)	Distância (km) = (I*P\$2)/\$O\$2	Distância (cm)/mapa	$Q_{ij} \times X_{ij}$	X_{ij} Se é recolhido =1 cc=0	Y_{ij} Nr vezes q o arco é atravessado sem recolher	Fij Fluxo	cm	km	(6) f0j	(2)	(5) fji-fij	(8)	xij																				
2	R. das Murtas	Av. Brasil	0	1	0	0,43	0,43	0,24	7,30	0,00	0,00	1,00	34,00	1,5	0,05	nodo	nodo Sai=Entra	nodo Sai=Entra																						
3	Av. Brasil		23	18	4	6,70	0,70	0,35	10,50	4,00	1,00	1,00	27,00			0	34 = 34,00																							
4	Av. Brasil	R. Reinaldo Ferreira	18	31	3	4,77	0,27	0,13	4,00	3,00	1,00	1,00	23,00																											
5	Av. Rio de Janeiro	R. Ricardo Jorge	25	26	1	1,63	0,13	0,07	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00			Cap veí 80	(7) f0j																							
6	R. Ricardo Jorge	R. Lopes Mendonça	26	36	0	0,21	0,21	0,11	3,20	0,00	0,00	1,00	0,00			Turno (r 210	nodo																							
7	R. Ricardo Jorge	Av. Rio de Janeiro	26	25	2	3,13	0,13	0,07	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00			T. rec. l 1,5	0	0 = 0																						
8	R. Ricardo Jorge	R. Ricardo Jorge	26	27	1	1,61	0,11	0,06	1,70	1,00	1,00	0,00	0,00																											
9	R. Ricardo Jorge	R. Ricardo Jorge	27	26	1	1,61	0,11	0,06	1,70	1,00	1,00	2,00	4,00			T. desp. 10	(4) y0j																							
10	R. Ricardo Jorge	R. Reinaldo Ferreira	27	30	1	1,63	0,13	0,07	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00				nodo																							
11	R. Ricardo Jorge	R. Constantino Fernandes	27	68	1	1,61	0,11	0,06	1,70	1,00	1,00	0,00	2,00				0	1 <= 1																						
12	R. Constantino Fernandes	Largo João Vaz	68	63	0	0,05	0,05	0,03	0,80	0,00	0,00	1,00	1,00			t. rec. P: 56,15																								
13	R. Constantino Fernandes		68	71	0	0,05	0,05	0,03	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00			t.pass. V 6,273	yi0																							
14	Largo João Vaz		63	70	0	0,07	0,07	0,03	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00			t.desp. l 10	nodo																							
15	Largo João Vaz	R. Constantino Fernandes	70	71	1	1,53	0,03	0,02	0,50	1,00	1,00	0,00	1,00				0	1																						
16	R. Constantino Fernandes	R. Coronel Marques Leit	71	72	0	0,11	0,11	0,06	1,70	0,00	0,00	1,00	0,00			min Z 72,42																								
17	R. Constantino Fernandes		71	68	0	0,05	0,05	0,03	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00				(3)																							
18	R. Coronel Marques Leit	R. Ricardo Jorge	72	26	0	0,20	0,20	0,10	3,00	0,00	0,00	1,00	0,00				72																							
19	R. Reinaldo Ferreira		30	27	0	0,07	0,07	0,04	1,10	0,00	0,00	4,00	7,00																											
20	R. Reinaldo Ferreira		31	30	2	3,17	0,17	0,08	2,50	2,00	1,00	0,00	0,00			min km																								
21	R. Reinaldo Ferreira	R. Eug. Castro Rodrigu	31	32	1	1,73	0,23	0,12	3,50	1,00	1,00	0,00	20,00			2	1																							
22	R. Eug. Castro Rodrigu	R. João Deus Ramos	32	34	1	1,53	0,03	0,02	0,50	1,00	1,00	1,00	18,00																											
23	R. João Deus Ramos	R. Eug. Castro Rodrigu	33	32	1	1,57	0,07	0,03	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00																											
24	R. João Deus Ramos		34	33	0	0,03	0,03	0,02	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00																											
25	R. João Deus Ramos	R. Marquês Soveral	34	35	1	1,73	0,23	0,12	3,50	1,00	1,00	1,00	16,00																											
26	R. Marquês Soveral	R. João Deus Ramos	35	34	1	1,74	0,24	0,12	3,60	1,00	1,00	0,00	0,00																											
27	R. Marquês Soveral	R. Reinaldo Ferreira	35	30	0	0,07	0,07	0,03	1,00	0,00	0,00	3,00	14,00																											
28	R. Lopes Mendonça	R. Carlos Mayer	28	29	0	0,09	0,09	0,05	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00																											
29	Rua Lopes Mendonça	R. Carlos Mayer	36	29	3	4,77	0,27	0,13	4,00	3,00	1,00	0,00	0,00																											
30	Rua Lopes Mendonça	R. Lopes Mendonça	36	28	0	0,11	0,11	0,06	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00																											
31	R. Reinaldo Ferreira	R. Carlos Mayer	30	29	1	1,71	0,21	0,10	3,10	1,00	1,00	0,00	4,00																											
32	Av. Rio de Janeiro	Av. Brasil	25	23	2	3,31	0,31	0,16	4,70	2,00	1,00	1,00	0,00																											
33	Av. Brasil		23	12C	0	0,03	0,03	0,02	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00																											
34	Av. Brasil		12C	12	0	0,24	0,24	0,12	3,60	0,00	0,00	1,00	0,00																											
35	R. Carlos Mayer	R. Marquês Soveral	29	35	1	1,63	0,13	0,07	2,00	1,00	1,00	1,00	0,00																											
36	Av. Brasil		12	6	0	0,17	0,17	0,08	2,50	0,00	0,00	1,00	0,00																											
37	R. das Murtas	Av. Brasil	22	1	0	2,00	2,00	1,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00																											
38	R. Lopes Mendonça	R. Ricardo Jorge	28	27	0	0,21	0,21	0,11	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00																											
39	Av. Brasil		1	23	5	3,01	1,51	0,76	22,70	5,00	1,00	0,00	34,00																											
40	Av. Brasil	R. das Murtas	6	22	0	2,00	2,00	1,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00																											
41	Av. Brasil	R. das Murtas	6	0	0	2,00	2,00	1,00	30,00	0,00	0,00	1,00	0,00																											
42																																								

Anexo B: Mapa da freguesia de Alvalade



Anexo C: Mapa da freguesia de Alvalade do giro 2



Anexo D: Organização dos dados no Excel 2013

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ		
1	Rua	Arcos		Número de Papeleiras	Papeleiras a Recolher	Tempo de recolha (min)	Tempo em vazio (min)	Distância (km) = $(J^2 + S^2) / SPS2$	Distância (cm)/mapa	$Q_{ij} * X_{ij}$	X_{ij} Se é recolhido = 1 cc=0	f_{ij} vezes q o arco é atravessado sem recolher	Fij Fluxo	cm	km	(6)f0j	(2)	(5) fji-fij	(8)	xij																		
2	das Murt	Av. Brasil	0	1	0	0	0,56	0,56	0,24	7,30	0,00	0	1	80	1,5	0,05	nodo	nodo	Entra=Sai	nodo	"Sai=Entra"																	
3	Av. Brasil		1	2	1	0	0,54	0,54	0,23	7,00	0,00	0	1	0			0	80 =	80,00	0	1 =	1	0												0	0		
4	Av. Brasil		1	11	0	0	0,08	0,08	0,03	1,00	0,00	0	1	77						1	2 =	2	1	3 =	3	-80	0											
5	Av. Brasil	Campo G	2	353	0	0	0,23	0,23	0,10	3,00	0,00	0	1	0	Cap veic.	80	(7)fi0			2	1 =	1	2	0 =	0	-3	0											
6	Av. Brasil	5A	5	5A	1	0	0,38	0,38	0,17	5,00	0,00	0	1	6	Turno (m	210	nodo			6	0 =	0	6	0 =	0	-80	0											
7	Av. Brasil	6	229	1	0	0	0,61	0,61	0,27	8,00	0,00	0	0	0	T. rec. 1p	2	0	0 =	0	7	0 =	0	7	0 =	0	-74	0											
8	Av. Brasil	7	9	0	0	0	0,08	0,08	0,03	1,00	0,00	0	0	0						9	2 =	2	9	0 =	0	0	0											
9	Av. Brasil	9	2	0	0	0	0,04	0,04	0,02	0,50	0,00	0	0	0	T. despe.	13	(4) y0j			10	3 =	3	10	4 =	4	0	0											
10	Av. Brasil	9	10	3	3	6,31	0,31	0,13	4,00	3,00	1	1	84			nodo				11	3 =	3	11	2 =	2	0	0											
11	Av. Brasil	10	11	2	2	4,31	0,31	0,13	4,00	2,00	1	0	0			0	1 <=	1		12	0 =	0	12	0 =	0	-76	1											
12	Av. Brasil	R. Af. Lop	10	79	0	0	0,15	0,15	0,07	2,00	0,00	0	2	160	t. rec. Pag	168				23	1 =	1	23	0 =	0	-80	1											
13	Av. Brasil	11	218	1	0	0,65	0,65	0,28	8,50	0,00	0	3	75	t.pass. V	17	yi0				24	1 =	1	24	0 =	0	0	0											
14	Av. Brasil	12	6	0	0	0,19	0,19	0,08	2,50	0,00	0	0	0	t.desp. R	13	nodo				25	0 =	0	25	0 =	0	-165	0											
15	Av. Brasil	R. das M	12	6A	0	0	0,19	0,19	0,08	2,50	0,00	0	0	0			0	1		41	0 =	0	41	0 =	0	0	0											
16	Av. Brasil	Av. Rio d	23	219B	2	0	0,19	0,19	0,08	2,50	0,00	0	1	6	min Z	198				42	0 =	0	42	0 =	0	0	0											
17	Av. Brasil	23	23B	0	0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0	0	0	0			(9)			43	1 =	1	43	0 =	0	-74	0											
18	Av. Brasil	24	23	2	0	0,23	0,23	0,10	3,00	0,00	0	1	6			198				44	2 =	2	44	8 =	8	0	0											
19	Av. Rio de Janeiro	Av. Brasil	25	23A	2	0	0,36	0,36	0,16	4,70	0,00	0	0	0						46	3 =	3	46	8 =	8	-74	0											
20	Av. Rio de Janeiro	41	42	0	0	0,08	0,08	0,03	1,00	0,00	0	0	0	0	min	km				47	3 =	3	47	2 =	2	0	0											
21	Av. Rio de Janeiro	42	25	4	0	0,50	0,50	0,22	6,50	0,00	0	0	0	0	2,3	1				49	2 =	2	49	2 =	2	0	0											
22	Av. Rio de Janeiro	42	43	0	0	0,08	0,08	0,03	1,00	0,00	0	0	0	0						51	2 =	2	51	2 =	2	0	0											
23	Av. Rio de Janeiro	Av. Da Igl	43	44	4	4	8,31	0,31	0,13	4,00	4,00	1	0	18						52	3 =	3	52	0 =	0	0	0											
24	Av. Rio de Janeiro	43	129	0	0	0,08	0,08	0,03	1,00	0,00	0	0	0	0						53	3 =	3	53	0 =	0	-62	1											

Anexo E: Proposta para um percurso da viagem 1 da zona 2

O veículo sai do depósito situado na rua das Murtas, vira à esquerda (Avenida do Brasil) e segue até ao entroncamento com a Avenida de Roma, vira à direita (Avenida de Roma), vira novamente à direita, na Rua Violante do Céu e dirige-se até à Rua Eugénio de Castro, recolhe 3 papelarias, passa pela Rua Fausto Guedes Teixeira e no fim à direita. Segue pela Avenida do Brasil, recolhe 1 papelaria, situada entre a Avenida do Brasil e a Rua Aprígio Mafra, continua pelo mesmo sentido na Avenida do Brasil, no entroncamento com a Avenida Rio de Janeiro vira à direita, já na Avenida Rio de Janeiro recolhe 1 papelaria e vira na primeira à direita, Rua João Saraiva, recolhe 5 papelarias, vira à esquerda e recolhe 2 papelarias na Rua Acácio de Paiva. Recolhe 2 papelarias existentes na Rua Luís Augusto Palmeirim (troço entre a Rua Acácio de Paiva e a Rua José D'Esaguy) e recolhe mais 1 papelaria (troço entre a Rua José D'Esaguy e a Rua José Duro), vira à direita, recolhe 2 papelarias e vira na primeira à esquerda, faz a praca da Rua José Duro e recolhe 3 papelarias, vira à esquerda e recolhe mais 4 papelarias na Rua José Duro, no cruzamento vira à direita (Avenida da Igreja). Na Avenida da Igreja recolhe as 2 papelarias no troço entre a Rua José Duro e a Rua José D'Esaguy, as 2 no troço entre a Rua José D'Esaguy e a Rua Acácio de Paiva, segue pela Rua Acácio de Paiva e recolhe 5 papelarias, no cruzamento vira à direita e vira novamente na primeira à direita, recolhe as 6 papelarias da Rua José D'Esaguy. No entroncamento vira à direita e recolhe 2 papelarias na Avenida da Igreja (troço entre a Rua Acácio de Paiva e Rua Marquesa de Alorna). De seguida, o veículo dirige-se até à rotunda da Praça de Alvalade, recolhe 2 papelarias, sai na primeira saída da rotunda, em direção à Avenida do Brasil e recolhe 2

papeleiras. Já na Avenida de Roma, vira na primeira à direita, Rua Luís Augusto Palmeirim, nesse primeiro quarteirão recolhe 2 papeleiras, recolhe mais 1 no quarteirão seguinte e no cruzamento vira à esquerda (Rua Acácio de Paiva), recolhe 1 papeleira e vira à direita, passa pela Rua Centro Cultural e dirige-se à Avenida Rio de Janeiro, passando pela Rua João Saraiva para recolher 1 papeleira, nesse entroncamento vira à direita, em direção à rotunda entre a Avenida Rio de Janeiro e a Avenida da Igreja, na rotunda sai na saída da Avenida da Igreja (lados pares), recolhe as 4 papeleiras, segue em direção ao entroncamento com a Rua Acácio de Paiva, vira à direita e segue em frente até chegar à Rua do Centro Cultural, de seguida dirige-se à Avenida da Igreja, passando novamente pela Rua João Saraiva (mas desta vez sem recolher papeleiras), faz mais uma vez a rotunda da Avenida Rio de Janeiro com a Avenida da Igreja e inverte o sentido, recolhe 2 papeleiras, entre o troço da Rua Ricardo Jorge e a Avenida do Brasil, no entroncamento com a Avenida do Brasil vira à esquerda. Entre o troço da Rua das Murtas e o entroncamento com a Avenida de Roma recolhe 4 papeleiras, nesse entroncamento vira em direção à Avenida de Roma, no cruzamento vira em direção à Rua Luís Augusto Palmeirim, vira na primeira à esquerda, recolhe 1 papeleira da Rua Marquesa de Alorna e regressa à Avenida da Igreja recolhendo as restantes 5 papeleiras da Rua Marquesa de Alorna. Dirige-se à Praça de Alvalade e sai na segunda saída (continuação da Avenida da Igreja – lados pares), sempre na Avenida da Igreja recolhe 4 papeleiras entre o troço da Praça de Alvalade e a Rua Alberto de Oliveira. Nos troços: entre a Rua Rosália de Castro e Rua Fernando Caldeira recolhe 2 papeleiras; entre a Rua Fernando Caldeira e Rua Branca Gonta Colaço recolhe 1 papeleira; entre a Rua Branca Gonta Colaço com a Rua Afonso Lopes Vieira também recolhe 1 papeleira bem como

entre a Rua Afonso Lopes Vieira e o Campo Grande. Nesse entroncamento vira à direita e sai na ligação com a Avenida do Brasil onde vira à direita, no primeiro entroncamento vira à direita (Rua Afonso Lopes Vieira) e recolhe 1 papeleira, vira à esquerda e recolhe 1 papeleira na Rua José Lins de Rego, regressando de seguida à Rua Afonso Lopes Vieira, onde recolhe finalmente as 2 últimas papeleiras e vira à esquerda (Avenida da Igreja). Na Avenida da Igreja, dirige-se mais uma vez ao entroncamento com o Campo Grande, vira à direita e segue pelo Campo Grande, passa no entroncamento com a Rua Odette de Saint – Maurice, vira no seguinte, à direita e dirige-se até à Rua das Murtas para despejar os resíduos das papeleiras no depósito.