



**João Pedro Alves de
Sousa**

**Otimização Energética da Cadeia Logística na
Distribuição de Gás de Vasilha**



**João Pedro Alves de
Sousa**

Otimização Energética da Cadeia Logística na Distribuição de Gás de Vasilha

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este trabalho insere-se igualmente no âmbito dos seguintes projetos: GALP XXI; MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463); UID/EMS/00481/2019-FCT - FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

O júri

Presidente

Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Orientadora

Prof^a. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements

O culminar desta dissertação de mestrado representa o fim de uma das etapas mais importantes da minha vida académica. Quero em primeiro lugar agradecer à minha orientadora Professora Doutora Margarida Coelho e ao Professor Doutor José Santos pela disponibilidade e compreensão demonstrada ao longo deste trabalho. Em segundo lugar quero agradecer à GALP pela excelente iniciativa e à Bongás Energias, por ter permitido que a mesma decorresse. Por fim, as palavras não chegam para agradecer e demonstrar a minha gratidão perante a minha família, principalmente ao meu Pai, Mãe e Irmã, que sempre fizeram os possíveis para que eu pudesse usufruir de todas as oportunidades ao longo deste percurso de 5 anos, nunca esquecendo outros familiares e amigos, que de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste percurso.

Este trabalho teve igualmente o apoio dos seguintes projetos: GALP XXI; MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463); UID/EMS/00481/2019-FCT - FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

Palavras-chave

Otimização Energética; Logística; Transporte de mercadorias; Emissões; Normas Euro; Otimização de Rotas

Resumo

Atualmente, e tendo em conta os problemas que a sociedade tem vindo a enfrentar, é cada vez mais importante dar valor à eficiência energética de qualquer setor transversal à sociedade. No que diz respeito à energia numa empresa, a sua gestão deve ser feita de forma eficiente e sempre com o maior reaproveitamento possível. A Bongás Energias compromete-se com a sociedade através do cumprimento da norma ISO 22241 e garantia de cumprimentos das normas Euro 5 e Euro 6, procurando assim aumentar a eficiência dos veículos utilizados, e implementando métodos para a redução da sua pegada ambiental. O principal objetivo deste trabalho, é portanto, estudar de que forma se pode otimizar energeticamente uma empresa de transporte com vista à redução da sua pegada ambiental.

Ao longo do estágio inserido no programa GALP 21, foram estudados os principais fatores intervenientes na distribuição do gás em garrafa, para posteriormente avaliar e sugerir propostas para melhoria do processo com o objetivo de aumentar a eficiência energética na empresa sendo que os objetivos estipulados foram: avaliação da substituição de viaturas mais antigas e desadequadas por outras de Norma Euro mais recentes, a redução da carga transportada e a reformulação e otimização das rotas de distribuição.

Através do *software* Copert, simulou-se as substituições dos veículos da distribuição de gás em garrafa por veículos de normas Euro mais recentes e de dimensões mais adequadas sendo que foi estimada uma redução do consumo de combustível de 17.4% em relação ao ano de 2018.

Relativamente à redução de carga, foi efetuada uma análise de sensibilidade e avaliada a redução de carga transportada na ordem dos 20% a 30%, para as viaturas onde se verificou em excesso, prevendo-se uma poupança energética de 6.2%.

Por último, foram reformuladas e posteriormente otimizadas as rotas através de um programa específico para o efeito, tendo-se chegado a uma poupança de 7.3% a nível energético.

Em termos gerais, e com a implementação das medidas propostas, a Bongás Energias poderá reduzir o seu consumo energético anual em cerca de 19.2%. O consumo energético associado à distribuição de gás em garrafa, representa cerca de 62% do consumos totais da empresa, logo as reduções das medidas implementadas permitiram uma redução de 30% da energia necessária para a distribuição.

Keywords

Energy Optimization; Logistics; Freight transport; Emissions; Euro standards; Route Optimization

Abstract

Nowadays, society has been facing problems related to environmental health and efficiency. The weight of energy efficiency is growing everyday across all activity sectors. In terms of energy in a company, it must be managed efficiently and reused the best possible way. Bongás Energías is facing this fact by adopting ISO 22241 which is a commitment to society, that the fleet achieves standards Euro 5 and 6. This way, this company is always seeking the best efficiency of its vehicles by using methods to reduce its environmental impact.

Throughout this internship inserted in the program GALP 21, the main factors involved in the distribution sector were studied, so that guidelines could be suggested in order to improve the process, seeking the best energy efficiency results. The main areas of intervention were: the substitution of older and inadequate vehicles by recent ones with more recent Euro standards, the load reduction to minimize the excess load and the route optimization.

Through software Copert, the replacement of the older and unsuitable vehicles by newer and proper Euro-standard vehicles, resulted in an overall fuel reduction of 17.4% compared with the year of 2018.

Regarding the load reduction, it was made an analysis on the impact of this variable. The reduction of 20% to 30% allows fuel consumption to drop by 6.2%.

At last, the reorganization followed by simulation of the routes using a specific program for such purpose can reduce energy consumption by 7.3%.

Broadly speaking, with all the measures in place, Bongás Energías could reduce its annual energy consumption by 19.2%. The energy consumption associated with the bottled gas distribution roughly represents 62% of the total energy costs, so the suggested measures represent a 30% drop of energy in terms of the distribution.

Índice

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Enquadramento | 1 |
| 1.1.1 | Consumos Energéticos | 1 |
| 1.1.2 | Emissões de Gases com Efeito de Estufa e Poluição Atmosférica | 5 |
| 1.2 | Objetivos | 7 |
| 1.3 | Estrutura da dissertação | 8 |
| 2 | Estado da Arte | 9 |
| 2.1 | <i>Vehicle Routing Problem</i> | 9 |
| 2.1.1 | Derivações do VRP | 10 |
| 2.2 | Eco-Condução | 15 |
| 3 | A Empresa | 19 |
| 3.1 | Análise Operacional de Empresa | 19 |
| 3.2 | Frota de Transportes | 21 |
| 4 | A Energia na Empresa | 25 |
| 4.1 | Consumos e Custos de Utilização das Viaturas | 26 |
| 4.2 | Modelos numéricos de análise de emissões | 30 |
| 4.3 | Análise de Emissões | 31 |
| 4.4 | Análise Logística das Rotas | 33 |
| 5 | Cenários e medidas propostas | 39 |
| 5.1 | Otimização das Rotas | 39 |
| 5.1.1 | Implementação da Plataforma Routyn | 41 |
| 5.2 | Substituição de Veículos | 44 |
| 5.2.1 | Cenário I | 44 |
| 5.2.2 | Cenário II | 45 |
| 5.3 | Análise à sensibilidade da carga | 46 |
| 5.4 | Incentivos à eco-condução | 49 |
| 6 | Resultados | 51 |
| 6.1 | Otimização das Rotas | 51 |
| 6.2 | Abate e substituição dos veículos | 53 |
| 6.2.1 | Cenário I | 53 |
| 6.2.2 | Cenário II | 54 |
| 6.3 | Redução da Carga | 55 |

| | |
|-----------------------------------------|-----------|
| 6.4 Incentivos à Eco-Condução | 55 |
| 7 Conclusões e Trabalhos Futuros | 57 |
| Anexos | 63 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Utilização dos combustíveis fósseis pelos vários setores a nível mundial[1] . | 2 |
| 1.2 | Projeções para o consumo energético Mundial[2] | 2 |
| 1.3 | Níveis de emissão de CO_2 por setor a nível mundial [2] | 3 |
| 1.4 | Distribuição dos pesos nas emissões por setor[3] | 5 |
| 1.5 | Tipologias de transportes e respetivas emissões no ano de 2016.[4] | 6 |
| 1.6 | Contributos para as emissões de poluentes no setor dos transportes para o ano de 2016.[4] | 6 |
| 2.1 | Representação de um VRP | 10 |
| 2.2 | Relação entre as diferentes variáveis do VRP.[5] | 13 |
| 3.1 | Fluxograma do processo empresarial | 20 |
| 4.1 | Consumos relativos ao ano de 2018 | 25 |
| 4.2 | Definição das áreas de atuação | 27 |
| 4.3 | Consumos relativos ao ano de 2018 (L/km) | 28 |
| 4.4 | Consumos relativos ao ano de 2018 (L/(Ton*km) | 28 |
| 4.5 | Consumos relativos ao ano de 2018 (L/km) | 29 |
| 4.6 | Consumos relativos ao ano de 2018 (L/(Ton*km) | 29 |
| 4.7 | Comparação dos recursos entre regiões | 34 |
| 5.1 | Disposição dos pontos antes e após as alterações | 40 |
| 5.2 | Configuração do otimizador <i>Routyn</i> | 42 |
| 5.3 | Simulação para a categoria 7,5 toneladas | 47 |
| 5.4 | Simulação para a categoria de 12 e 16 toneladas | 48 |
| 1 | Fluxograma e Cronograma dos Trabalhos | 65 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Resumo dos resultados da bibliografia consultada (Eco-condução) | 17 |
| 3.1 | Frota de distribuição de gás em garrafa | 21 |
| 3.2 | Classificação das viaturas pesadas de mercadorias conforme as normas Euro[6] | 22 |
| 3.3 | Classificação das viaturas ligeiras de mercadorias conforme as normas Euro[6] | 22 |
| 3.4 | Classificação das viaturas ligeiras de passageiros conforme as normas Euro[6] | 23 |
| 3.5 | Frota afeta às restantes áreas de atuação | 23 |
| 4.1 | Indicadores relativos à prestação das viaturas - 2018 | 26 |
| 4.2 | Distribuição dos veículos pelas normas Euro no Copert | 31 |
| 4.3 | Informação relativa à circulação dos veículos | 32 |
| 4.4 | Caraterísticas das garrafas de gás | 32 |
| 4.5 | Emissões da frota no ano de 2018, em toneladas | 33 |
| 4.6 | Indicadores relativos à atividade anual de cada rota | 34 |
| 4.7 | Quilómetros previstos e percorridos nos primeiros 4 meses | 36 |
| 4.8 | Quilómetros efetuados nos primeiros 4 meses | 37 |
| 5.1 | Veículos para substituição | 44 |
| 5.2 | Caraterísticas dos veículos de substituição | 45 |
| 5.3 | Veículos para substituição | 45 |
| 5.4 | Caraterísticas dos veículos de substituição EURO VI | 46 |
| 6.1 | Resultados da Otimização B | 51 |
| 6.2 | Poupanças por rota B | 52 |
| 6.3 | Resultados da Otimização P | 52 |
| 6.4 | Poupanças por rota P | 53 |
| 6.5 | Emissões e consumos da frota no cenário I | 54 |
| 6.6 | Emissões da frota para o cenário II | 54 |
| 6.7 | Poupanças com Eco-condução | 56 |
| 1 | Dados referentes à carga transportada, L/km e L/ton*km | 66 |

Lista de Abreviaturas

| | |
|---------|-------------------------------------------------------------------|
| tep | Toneladas equivalentes de petróleo |
| OCDE | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| UE | União Europeia |
| VRP | Vehicle Routing Problem |
| TSP | Travelling Salesman Problem |
| CVRP | Capacitated Vehicle Routing Problem |
| DCVRP | Distance Constrained Capacitated Vehicle Routing Problems |
| VRPTW | Vehicle Routing Problem With Time Windows |
| VRPB | Vehicle Routing Problem With Backhauling |
| VRPPD | Vehicle Routing Problem With Pickup and Delivery |
| VRPBTW | Vehicle Routing Problem With Backhauling and Time Windows |
| VRPPDTW | Vehicle Routing Problem With Pickup and Delivery and Time Windows |
| VL | Veículos Ligeiros |
| VP | Veículos Pesados |
| KPI | Key Performance Indicator |
| POI | Point of Interest |

1. Introdução

Nos dias que decorrem é notória a importância que tem, para uma empresa, que a sua frota seja eficiente. Os motivos são dois, os económicos e os ambientais. Em termos económicos, quanto mais corretas forem as decisões logísticas, maior será a eficiência das movimentações dos bens, logo haverá maiores poupanças. Relativamente à questão ambiental, têm-se vivido nos últimos tempos situações preocupantes relativas à poluição ambiental. Agora mais do que nunca é fundamental incentivar todos os intervenientes da sociedade a adotar comportamentos mais ecológicos.

A otimização das rotas e a modelação de emissões de poluentes atmosféricos, através de programas adequados, são vitais para o estudo de melhorias inerentes à atividade das empresas. Com foco na questão ambiental, em termos de emissões, na qualidade do serviço (prever e cumprir os requisitos dos clientes), e no trânsito rodoviário, surgiu este estágio inserido no programa GALP 21.

1.1 Enquadramento

1.1.1 Consumos Energéticos

De forma a identificar os pontos fulcrais deste trabalho e a importância deste tipo de abordagens em ambiente empresarial, demonstram-se neste capítulo alguns aspetos importantes a considerar e previsões estatísticas sobre a situação energética, tanto a nível global como também no caso específico de Portugal.

Com o intuito de perceber a grande responsabilidade que o setor dos transportes tem relativamente ao consumo de combustíveis fósseis, apresentam-se na figura 1.1, valores relativos ao mesmo. É notório que o transporte rodoviário é o setor onde se verificam maiores consumos de petróleo em todo o mundo, pelo que o mesmo deverá ter uma atenção redobrada no âmbito da redução dos mesmos. Deverão ser analisadas as políticas atuais e continuar a promoção de novas leis e incentivos para que o impacto ambiental deste setor possa ser reduzido.[1]

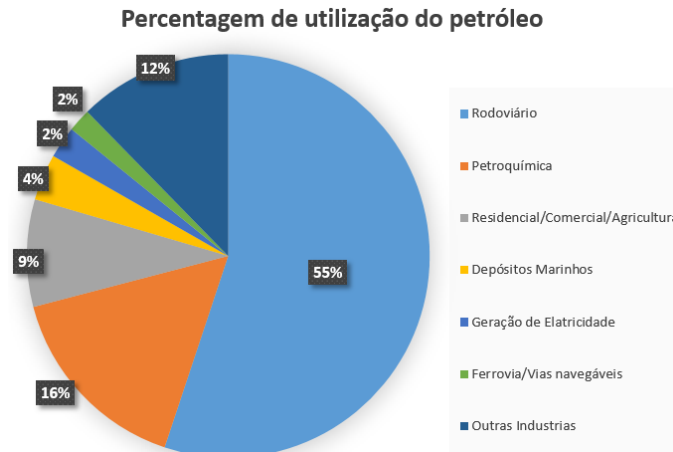


Figura 1.1: Utilização dos combustíveis fósseis pelos vários setores a nível mundial[1]

Segundo o “Annual Energy Outlook 2018” de 2017 até 2050 o produto interno bruto irá aumentar a um ritmo anual de 2%, enquanto que o consumo energético irá sofrer um aumento de 0.4% a cada ano. Por consequência, por volta do ano de 2033 irá ser ultrapassado o pico registado em 2007, em termos de consumos energéticos.[2]

Na figura 1.2 é possível verificar os consumos expectáveis até ao ano de 2050, dependendo do cenário económico e social a verificar. Por exemplo se daqui em diante for notório um elevado crescimento económico, haverá um aumento significativo no consumo de energia. Em contrapartida, para um crescimento económico lento ou para o caso em que se verifiquem baixos níveis de recursos relacionados com a extração de petróleo, o consumo energético terá forçosamente que ser mais baixo.

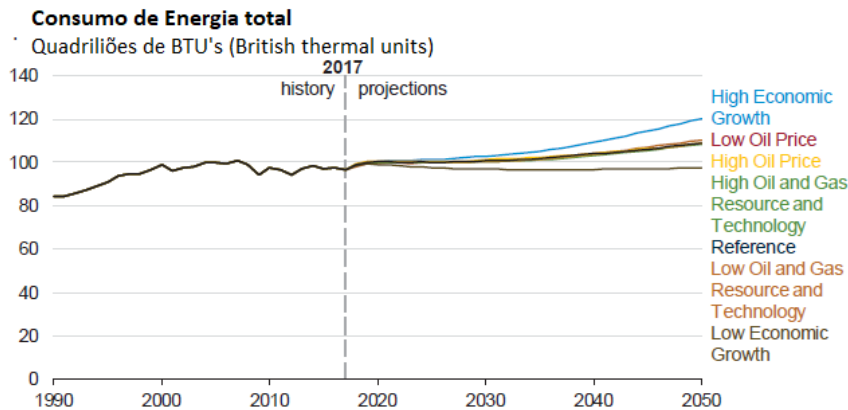


Figura 1.2: Projeções para o consumo energético Mundial[2]

De acordo com o IEO2016, o consumo de energia no setor dos transportes vai aumentar a um ritmo de 1,4% ao ano. Em 2012 consumiu-se cerca de 2620 milhões de tep, e prevê-se que em 2040 se consumam aproximadamente 3905 milhões de tep, sendo que os principais responsáveis por este aumento energético, serão os países que não pertencem à OCDE (*Organization for Economic Cooperation and Development – non OECD*).[7]

Atualmente a atividade do setor dos transportes é a maior responsável pelo elevado nível de emissões de CO_2 , o que pode ser observado através da figura 1.3, onde se en-

contram discriminados os contributos dos vários setores no que diz respeito à emissão de CO_2 .

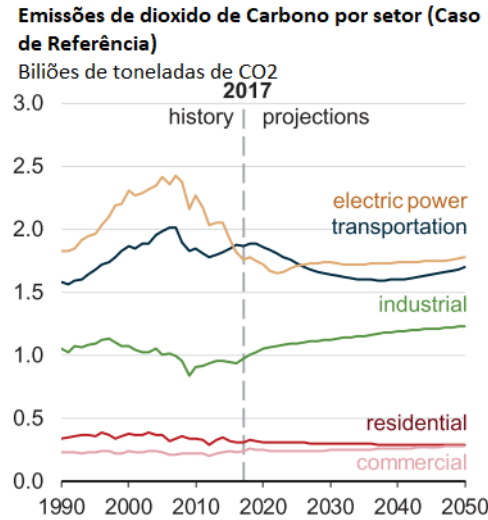


Figura 1.3: Níveis de emissão de CO_2 por setor a nível mundial [2]

Em 2012, os países que compõem a OCDE consumiram 55% da energia usada no setor dos transportes, sendo que os outros 45% estão afetos aos restantes países. Prevê-se que em 2020 este setor da energia irá estar distribuído equitativamente entre estes dois grupos de países, OCDE e não OCDE. Os países que fazem parte deste segundo, irão continuar a desenvolver-se a um ritmo elevado e prevê-se que em 2040 sejam os principais consumidores de energia no setor dos transportes, estando responsáveis pelo consumo de 61% da mesma. É nestes países, onde reside 80% da população mundial, e que terá duplicado o consumo de energia, passando de 1184 milhões de Tep em 2012, para 2368 milhões de Tep em 2040.[7]

No caso particular de Portugal que no ano de 2017 consumiu 15275.240 tep, verificou-se que cerca de 37% do consumo de energia está associada ao setor dos transportes, o que equivale a cerca de 5793.812 tep [8]. Em contrapartida aos aumentos da circulação de veículos destinados ao transporte de mercadorias, o consumo de combustível irá reduzir devido ao aumento da eficiência dos motores a gasolina, visto que no panorama geral de todas as economias a abolição dos motores a diesel está cada vez mais próxima. O aumento da exigência relativa à eficiência económica dos combustíveis, resulta que, para os veículos pesados, o consumo energético e relativo uso do diesel no ano de 2050, se mantenha aproximadamente igual ao registado em 2017, mesmo com o crescimento económico a exigir uma maior utilização deste tipo de veículos. Será também visível o aumento da procura de combustíveis alternativos, o que irá provocar um decréscimo na utilização de motores a gasolina e seus derivados, passando de 84% em 2017, para cerca de 70% em 2050. [7]

Por forma a suprir todas as necessidades de uma população em crescimento e devido aos aumentos de receita, haverá um aumento da utilização de veículos de mercadorias. Enquanto que nos ligeiros se poderá verificar um acréscimo de 18% na sua utilização, passando de 4.51 triliões de quilómetros para 5.31 triliões de quilómetros em 2050, os veículos pesados, irão aumentar cerca de 67%, passando de 618 biliões de quilómetros

em 2017, para 915 bilhões de quilômetros em 2050. [2]

De referir que os esforços para tornar os veículos mais eficientes, serão sentidos ao longo dos anos, para todas as categorias, sendo que por volta do ano de 2027, todas as medidas relativas aos padrões de emissões dos gases de efeito de estufa, até agora previstas, já estarão em prática. [2]

O setor dos transportes de mercadorias é de elevada relevância. Em termos de oferta de emprego, na União Europeia, é responsável por cerca de 3,065,200 postos de trabalho, cabendo a Portugal cerca de 63,200 postos de trabalho. Relativamente à receita gerada, na UE-28 em 2016, foram registados cerca de 334,046 milhões de euros, dos quais 5,171 milhões de euros foram gerados em Portugal.[9]

Numa visão generalista pelos países que compõem a UE-28, no que diz respeito à importação utilizando a rodovia, foram observados valores que rondam os 255,4 bilhões de euros que representam cerca de 14.9% do capital envolvido na movimentação de bens, enquanto que em termos de exportação, se obteve um valor aproximado de 315.4 bilhões de euros, representando 18.1% do total. Em 2016 foram transportadas entre todos os intervenientes da UE-28, 1804 bilhões de toneladas-quilómetro, valor este que apenas tem em conta os transportes efetuados pela via rodoviária, o que representa cerca de 49% de todos os bens transportados neste mesmo ano. Em Portugal, 83.4% da carga movimentada, foi feita somente através da rede rodoviária, evidenciando assim o peso que estas infraestruturas e o próprio setor têm na economia portuguesa. De maneira a aproveitar todos estes canais, foram registados só em Portugal no ano de 2017, 43987 novos veículos vinculados à movimentação de bens. [9]

Um dos entraves interpostos pelas políticas internas dos países, são os impostos tanto sobre os combustíveis, como os relativos à posse e circulação dos veículos. Portugal tinha em 2016 um imposto nos combustíveis equivalente a 1.7% do produto interno bruto, ocupando a 11^a posição entre os países da UE-28. Já os impostos relativos à propriedade e circulação de veículos nacionais era de 0.7% relativamente ao PIB, o que se refletia no décimo país mais penalizador. No entanto e inversamente ao que se vinha a verificar com os combustíveis, este valor foi já mais elevado, como o que foi registado no ano de 2000, onde as taxas em vigor eram de 1.1%. De um modo geral, Portugal apresenta uma média de 8% nas taxas aplicadas ao setor dos transportes rodoviários, estando na 8^a posição da UE.[9]

A qualidade das infraestruturas afetas ao transporte, seja de mercadorias ou de passageiros é, definitivamente, um fator preponderante para um bom aproveitamento e economia deste setor, pelo que é importante garantir a sua manutenção e desenvolvimento. Desta forma torna-se possível obter uma maior eficiência nas atividades que dependem destas infraestruturas. Observando algumas estatísticas, poder-se-á fazer uma avaliação acerca da rede de estradas existentes em Portugal, e também de um modo geral na UE-28. No final do ano de 2016, foram contabilizados por todos os estados membros da UE-28, 5 bilhões de quilómetros de ruas pavimentadas, entre as quais, 76800 são autoestradas. Em Portugal verificou-se que no fim de 2016 existiam cerca de 3065 km de autoestradas, 6457 km de estradas secundárias, como por exemplo estradas nacionais, e 4791 km de estradas terciárias. Tendo em conta que no ano de 1990 a dimensão das autoestradas em Portugal era apenas de 316 km, é notório que com o decorrer dos anos, o desenvolvimento destas vias de transporte foi importante para o crescimento do setor.[9]

1.1.2 Emissões de Gases com Efeito de Estufa e Poluição Atmosférica

O setor dos transportes, tanto de passageiros como de mercadorias, são essenciais à atividade humana, tendo uma grande responsabilidade nos impactos negativos sobre a qualidade do ambiente, muito devido à elevada dependência dos combustíveis fósseis, o que representa um grande problema que não deve ser ignorado.

Associada a este setor, está a emissão de poluentes como o dióxido de azoto e as partículas inaláveis que contaminam o ar que respiramos, bem como os gases de efeito de estufa. Cerca de um quarto das emissões de gases de efeito de estufa são provenientes do setor dos transportes, fazendo dele o segundo mais poluidor, logo atrás do setor de geração de energia.

Na figura 1.4, poder-se-à encontrar o peso em percentagem que cada setor em Portugal tem perante a emissão de dióxido de carbono equivalente. O setor que lidera no âmbito das emissões é o da produção e transformação de energia, no entanto, o setor dos transportes vem logo de seguida, sendo que esta diferença é demarcada apenas por um ponto percentual.[3]

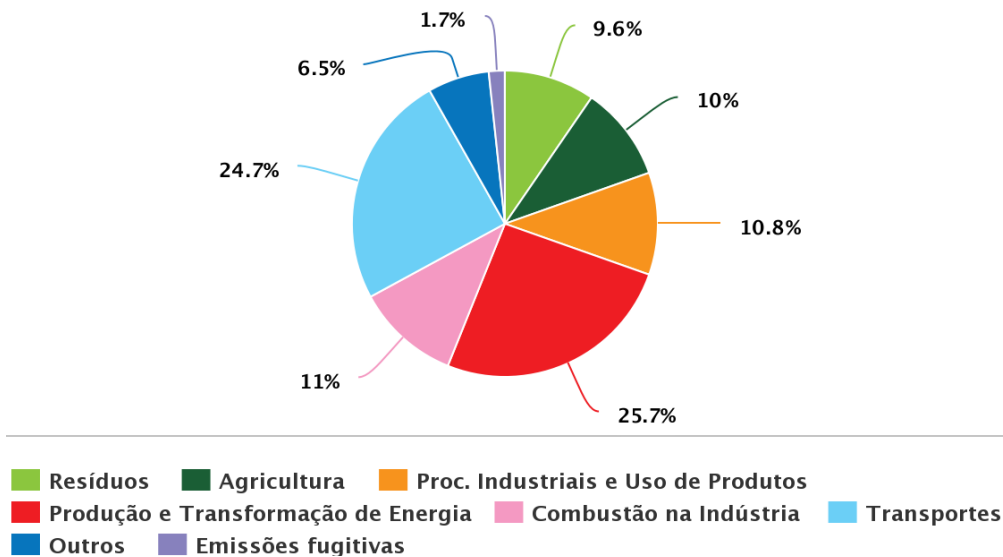


Figura 1.4: Distribuição dos pesos nas emissões por setor[3]

Contrariamente a todos os outros setores, o setor dos transportes é o único onde se verificou um grande aumento das emissões quando comparado com o ano de 1990. Estima-se que entre 1990 e 2007 terá havido um aumento de 33% nas emissões de gases do efeito de estufa, enquanto que no que diz respeito aos restantes setores, foi visível um decréscimo de 15% no mesmo período.[10]

No ano de 2016 a nível mundial, o setor dos transportes foi responsável pela emissão de cerca de 27% dos gases de efeito de estufa, sendo que a esmagadora maioria desse valor, (cerca de 72%) está relacionada com os transportes rodoviários. As previsões apontam que no ano de 2017, estas emissões sofram um aumento de 1,5%. Também em 2016, na União Europeia, o transporte rodoviário foi responsável pela emissão de 21% do CO_2 . [11]

Na figura 1.5, estão demonstrados os valores correspondentes ao peso relativo das emissões de gases de efeito de estufa, relativos às diferentes tipologias de transportes. É visível que o peso do transporte rodoviário é muito superior quando comparado com as

outras categorias, sendo responsável pela emissão de 72.1% das emissões associadas ao setor dos transportes.[4]

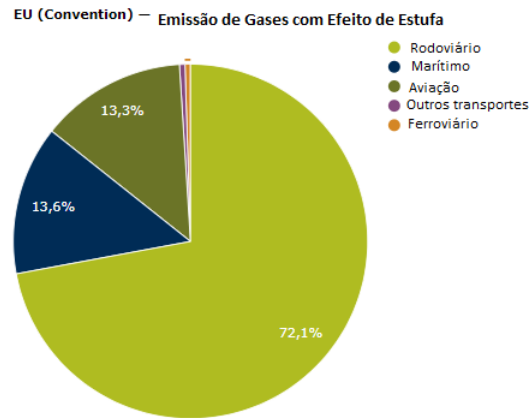


Figura 1.5: Tipologias de transportes e respetivas emissões no ano de 2016.[4]

Na figura 1.6 apresentam-se os contributos que cada tipo de veículos representa relativamente à emissão de gases com efeito de estufa do modo rodoviário. Verifica-se que os veículos ligeiros de passageiros são aqueles que acarretam maiores responsabilidades em termos das emissões de poluentes, mais precisamente, 43.7%. Em seguida estão os veículos de transporte pesados, tanto de passageiros como de mercadorias, com um peso total de 18.9%.

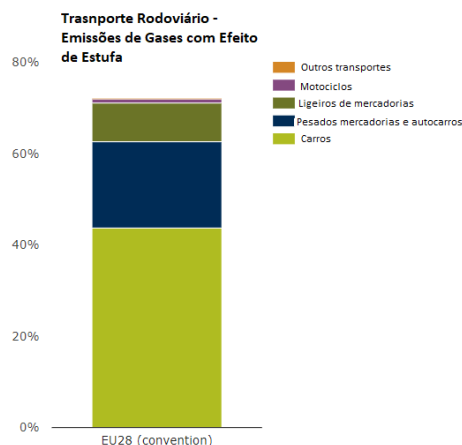


Figura 1.6: Contributos para as emissões de poluentes no setor dos transportes para o ano de 2016.[4]

Posto isto, o setor dos transportes é sem dúvida um dos setores a controlar e melhorar o seu desempenho relativamente às emissões.

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação consistiu num estudo de medidas que permitem a uma empresa de distribuição de gás em vasilha, reduzir os seus custos com a frota de veículos e diminuir também a sua pegada ambiental. A empresa sobre a qual incidiu esta análise foi a Bongás Energias, em que se optou trabalhar e analisar especificamente os veículos afetos à distribuição do gás em garrafa, apesar da empresa atuar em outras áreas de negócio.

Foram simuladas medidas que se verificaram adequadas através da revisão bibliográfica, dado o caso em estudo. Para isto foram delineados alguns pontos a atingir durante o estágio, tais como:

- Caracterização da empresa (atividade da frota transportadora da empresa e seu consumo energético);
- Impacto ambiental e medidas de melhoria energética: abate de veículos, medidas de renovação/substituição de frota, e medidas de alterações comportamentais na prática de condução;
- Recolha de informação relativa ao software, hardware e equipamentos utilizados na empresa;
- Avaliação das tecnologias existentes para a monitorização de veículos
- Avaliação de medidas de otimização de rotas, da frota e da carga transportada, tendo presente a capacidade dos veículos e suas características operacionais, a localização dos clientes, os pedidos de clientes e as vias disponíveis para realização das rotas;

Relativamente ao trabalho realizado, foram abordadas duas vertentes em prol do aumento da eficiência do transporte, e também da redução da sua pegada ambiental. Em primeiro lugar analisou-se os custos da movimentação das viaturas na altura utilizadas pela Bongás e o desempenho das rotas, utilizando para isto alguns indicadores que serão explicados ao longo deste estudo. Em seguida foram estudadas as hipóteses mais adequadas para otimizar as rotas, tanto através da redefinição das zonas de atuação, como também na implementação de algoritmos VRP (*Vehicle Routing Problem*), mais adequados ao tipo de atividade, às características dos clientes e às limitações impostas pelos mesmos.

Foram analisados os dados recolhidos relativos ao ano de 2018, bem como, a título de exemplo e por representarem um panorama mais atual, algumas semanas do ano de 2019.

Após a recolha e tratamento dos dados, foram feitos estudos sobre a influência que as várias medidas poderiam ter no modelo de negócio para que assim, escolhidas aquelas que melhor representavam um bom investimento, se apresentasse o melhor cenário possível dentro das variáveis e condições retratadas.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação divide-se em 7 capítulos. Na Introdução pretende-se explicar as motivações para o desenvolvimento deste tipo de trabalho, fazendo referência a várias situações do quotidiano onde se sente a necessidade de atuar no âmbito das questões energéticas.

No segundo capítulo, o Estado da Arte, fazem-se referência e explicam-se todos os programas e métodos utilizados e necessários para o desenvolvimento do trabalho. São mencionados os algoritmos utilizados, os programas e outros conceitos que se propuseram ao longo do documento.

No terceiro capítulo, A Empresa, apresenta-se uma breve explicação sobre o funcionamento da empresa e os meios com que a mesma atua. Faz-se um levantamento de toda a frota nas várias áreas do grupo Bongás.

No quarto capítulo, A Energia na Empresa, foram calculados todos os valores relativos aos consumos e emissões do cenário inicial da empresa, tendo começado com um panorama geral, analisando todos os contributos das várias áreas de negócio, até chegar somente aos dados relativos à frota de distribuição do gás em garrafa. Para além do mais, neste capítulo foram ainda abordados os indicadores relativos à logística de cada rota.

No capítulo cinco, Cenários e Medidas Propostas, descrevem-se as medidas propostas e a forma como as mesmas foram pensadas, descrevendo todo o trabalho por trás de cada área de atuação, tendo sido elas: a substituição de veículos, a otimização de rotas, a redução da carga e a implementação de práticas de eco-condução. Foi também feito um levantamento do investimento necessário para que as mesmas possam ser postas em prática, no caso de o mesmo ser preciso.

No sexto capítulo, Resultados, estão apresentadas as possíveis poupanças e reduções dos consumos e emissões da frota, ou com a redução do número de quilómetros, ou com a redução dos consumos de combustível.

Por último, o capítulo sete, Conclusões e Trabalhos Futuros, será dedicado às conclusões retiradas deste trabalho, à identificação das principais limitações verificadas durante a realização do mesmo e à proposta de trabalhos futuros.

2. Estado da Arte

Neste capítulo, pretende-se salientar e rever as áreas abordadas nesta dissertação. Em primeiro lugar fazer-se-à referência às ferramentas e métodos de otimização de rotas, identificando o caso de estudo aqui retratado no respetivo método mais adequado. Em seguida, abordam-se os aspetos relacionados com a modelação de consumos e emissões, tendo por base a utilização do *software COPERT*. Por último, também se fará referência aos tipos de comportamentos na condução, propícios ao bom funcionamento dos veículos e ao aumento da sua eficiência energética.

2.1 *Vehicle Routing Problem*

A logística é um termo utilizado e aplicado na sociedade em geral, que se encarrega de organizar e criar condições propícias para o desenvolvimento de todos os intervenientes do dia à dia. Foi a partir da Segunda Guerra Mundial, que inconscientemente este tema se desenvolveu e ganhou grande importância, tendo-se demonstrado uma mais valia na distribuição de armas e mantimentos pelas tropas.

De forma simplista, a Logística é o setor que planeia, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente e económico de matérias primas, materiais semi-acabados e de produtos acabados, bem como as informações a eles relativas, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes.[12]

Nos dias de hoje, denota-se cada vez mais o peso do setor logístico na rentabilidade das atividades empresariais, principalmente quando relacionadas com empresas de distribuição/transporte de pessoas ou mercadorias. São vários os artigos que afirmam que um bom planeamento tem grande influência na dimensão dos custos de qualquer atividade, ainda para mais a dos transportes que é capaz de absorver entre 33% a 66% dos custos logísticos totais.[13]

Na área dos transportes, a logística concentra-se principalmente num problema com o nome de roteamento, que existe já há muito tempo. Primeiramente conhecido como o problema do caixeiro - viajante, do inglês *Travelling Salesman Problem* (TSP), é um problema de otimização combinatorio, aplicado em diversas áreas, desde a logística interna, até à externa.

Para descrever um TSP, imagina-se um caixeiro - viajante que terá de visitar vários clientes à volta de uma cidade, regressando sempre ao ponto de começo. O seu interesse é percorrer o caminho mais curto, sabendo logo de início as distâncias entre os vários pontos.

Apesar de ser um problema fácil de entender, a sua resolução é complexa e, quantas mais instâncias forem consideradas, maior será o tempo de computação para a resolução do problema.

Acrescentando ao TSP, as variáveis relacionadas com as viaturas, tais como capacidade dos meios de transporte, surge a variante **VRP - *Vehicle Routing Problem***.

O transporte urbano de mercadorias é uma área que está em crescimento, muito devido à importância do seu papel nas cidades. O crescimento tanto das populações como das cidades levou a um inevitável desenvolvimento e elevado crescimento do setor do

transporte de bens. A forma como é feita a programação das rotas dos veículos pesados pelos centros urbanos é crítica, devido ao seu grande impacto económico, ambiental e social.[14].

Neste sentido, o desenvolvimento de modelos para a resolução destes problema assume um papel muito importante na otimização de situações que fazem parte do quotidiano. Posto isto, apresenta-se uma definição de VRP.

O VRP, envolve o "design"de um conjunto de alternativas de percursos, tendo como principal fundamento o custo mínimo de movimentação, para uma frota de transporte com características conhecidas. Dado um centro de distribuição comum e diferentes clientes distribuídos pelas zonas de atuação, o VRP pretende encontrar um conjunto de rotas que para além de minimizar os custos, irá também permitir satisfazer toda a procura cumprindo os requisitos de cada ponto de passagem, garantindo que cada cliente é servido apenas uma vez e por uma só viatura, sem nunca exceder a capacidade da mesma.

Estes problemas têm assim o objetivo de minimizar os custos operacionais que envolvem, normalmente, a redução do número de veículos que constituem a frota da empresa e a distância ou tempos de viagem.[15]

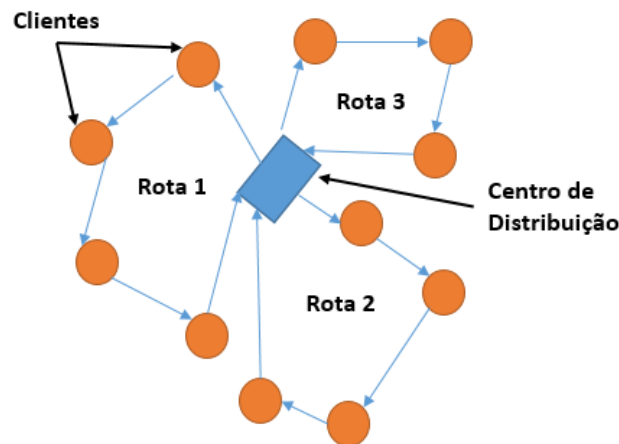


Figura 2.1: Representação de um VRP

2.1.1 Derivações do VRP

Serão agora demonstrados os exemplos mais significativos para o caso de estudo analisado neste documento.

Definição do modelo matemático de um VRP simples

Com o intuito de demonstrar a base de funcionamento de um problema de roteamento de viaturas, irá ser demonstrada uma definição matemática do mesmo.

O CVRP, *Capacitated Vehicle Routing Problem*, é uma versão básica do VRP. Neste, a cada cliente corresponde uma encomenda, e as exigências são determinísticas, sabem-se atempadamente, e não podendo ser divididas.[5]

O VRP pode ser definido por um grafo $G=(V,A)$, onde por $V=\{v_0,v_1,\dots,v_n\}$, se entende como o conjunto de pontos de interesse, também denominados por vértices ou nós. Dentro deste conjunto está também incluído o vértice referido ao centro de distribuição. O conjunto $A=\{(v_i,v_j:v_i,v_j \in V, i \neq j)\}$, representa os arcos que ligam os vértices. Para caracterizar cada arco, está normalmente associada uma matriz simétrica C que representa o custo, não monetário mas sim temporal ou em termos de distância, entre os vários vértices. É assumido que o custo de ir do vértice i para o vértice j , é o mesmo que ir do j para o i , $c_{ij}=c_{ji}$. No entanto, podem ser considerados troços de sentido único, o que faz com que a matriz C deixe de ser simétrica.[5]

Estando a descrever um VRP simples, há certas restrições a ser aplicadas, entre elas estão:

- A frota existente contém k veículos cuja capacidade é idêntica;
- A quantidade transportada por cada veículo a ser entregue aos vários clientes que pertencem à sua rota, não pode exceder a sua capacidade;
- Cada rota tem início e fim no centro de distribuição;
- Cada cliente é visitado por uma viatura apenas, e está associado a uma só rota;
- Cada veículo é responsável por cumprir uma única rota.

A função objetivo é minimizar o custo total, que pode ser dada pela seguinte equação:

$$\min\left(\sum_{i=0}^n \cdot \sum_{j=0}^n \cdot \sum_{k=1}^m c_{ij} \cdot x_{ijk}\right) \quad (2.1)$$

Onde a variável x_{ijk} , é de decisão, ou seja, toma o valor 1 caso o arco ij pertença à solução ótima a ser percorrida pelo veículo k , caso contrário tem o valor de 0. Associado a cada arco, há um custo, que está representado pela variável c_{ij} . Esta função está sujeita a:

$$\sum_{i=0}^n \cdot \sum_{k=1}^m \cdot x_{ijk} = 1 \quad , \forall j > 1 \quad (2.2)$$

A equação 2.2, garante que o cliente é visitado uma só vez.

$$\sum_{j=0}^n x_{jik} = \sum_{j=0}^n x_{ijk} \quad , \forall i = (2, \dots, n), i \neq j, \forall k \quad (2.3)$$

A equação 2.3 assegura a continuidade do movimento dos veículos, ou seja, quando um veículo chega a um cliente, terá que sair dele.

$$\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^n q_i(x_{ijk}) \leq Q_k, \quad \text{com } k = 1, \dots, m \quad (2.4)$$

Com a equação 2.4, garante-se que o somatório das quantidades a transportar por veículo para os clientes, que à sua rota estão associados, não excede a capacidade máxima

desse mesmo veículo. Sendo q_i a quantidade requisitada pelo cliente e Q_k a capacidade máxima do veículo.

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1, \quad \text{com } k = 1, \dots, m \quad (2.5)$$

A equação 2.5 garante que a um veículo se associa apenas uma única rota.

$$\sum_{v_i \in S} \cdot \sum_{v_f \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subseteq V \setminus 0; S \neq \emptyset; k = 1, \dots, m \quad (2.6)$$

Esta equação elimina a criação de sub-rotas, ou seja, assegura que num conjunto de $|S|$ clientes não haverá mais do que $|S|-1$ arcos para os ligarem sendo S um sub-conjunto dos clientes.

$$\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^n (t_{ij} + t_i) \cdot x_{ijk} \leq D_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

A equação 2.7 garante que o tempo em atividade para cumprir a rota, não é superior à duração máxima de cada rota dada por D_K . Enquanto que t_{ij} é o tempo que leva a chegar do ponto i até ao ponto j , t_i é o tempo necessário para efetuar a descarga de cada veículo no ponto i .

Por último, é necessário garantir que a variável x é binária, ou seja, só poderá assumir o valor de 0 ou 1, visto que o intuito é decidir se aquele troço será ou não utilizado. A condição 2.8 assegura-se disso.

$$x_{ijk} = 0, 1 \quad i, j = 1, \dots, n; K = 1, \dots, m \quad (2.8)$$

Variações do VRP

Devido aos vários entraves colocados tanto pelos clientes (como por exemplo os horários de passagem), ou pela tipologia dos veículos, relacionadas com a capacidade de carga e o custo de utilização do veículo, foi considerado um algoritmo VRP para que tivesse também em consideração estas variáveis. No mapa demonstrado na figura 2.2, evidenciam-se os principais algoritmos, com origem no CVRP simples.

Dada a atividade da Bongás, e o modo como se dá todo o processo de entregas, o algoritmo que melhor satisfaz as exigências básicas deste caso, tem o nome de **Vehicle Routing Problem with Time Windows** ou VRPTW. À parte do problema base, no VRPTW, há que ter em atenção mais uma restrição, as janelas horárias, ou seja, o período a que durante o dia, um certo cliente terá disponibilidade em receber a encomenda.

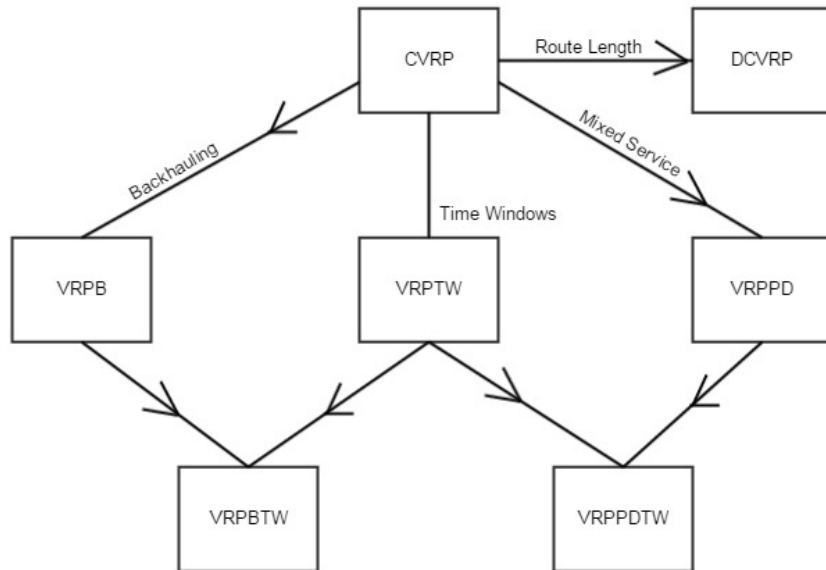


Figura 2.2: Relação entre as diferentes variáveis do VRP.[5]

A figura 2.2 explica a relações entre os vários algoritmos de otimização de rotas, e as variáveis em jogo para cada uma. Começando no caso mais simples, o CVRP, e adicionando condições de trabalho como janelas temporais (VRPTW), *Backhauling* ou viagem de retorno (VRPB), o tipo de serviço (VRPPD - Serviço misto) e o comprimento da rota (DCVRP), obtêm-se os restantes algoritmos. O VRPTW é uma extensão do CVRP, onde o serviço a cada cliente deverá começar entre uma janela temporal definida, sob pena de fora desse intervalo o serviço não possa ser realizado e deverá permanecer lá, até que a tarefa esteja concluída, como pode ser observado na figura 2.2.[5]

Começando pela notação já demonstrada anteriormente, o VRPTW é definido por um grafo, $G=(V,A)$, onde o nó 0 e o $n+1$ representam o armazém. É também associado um intervalo de tempo aos nós 0 e $n+1$, por exemplo, $[a_0, b_0]=[a_{n+1}, b_{n+1}]=[E,L]$, onde E e L estão associados à saída do ponto mais antecipada possível e à chegada mais tardia permitida respetivamente. Para além disto, é definido uma procura nula e tempo de serviço para estes dois nós, ou seja, $d_0 = d_{n+1} = s_0 = s_{n+1} = 0$. Só é possível obter uma solução viável se $a_0 = E \leq \min_{i \in V \setminus \{0\}} b_i - t_{0i}$ e $b_{n+1} = L \geq \min_{i \in V \setminus \{0\}} a_i + s_i + t_{ij} > b_j$. Se um certo arco não respeitar alguma imposição temporal, $a_i + s_i + t_{ij} > b_j$, ou de capacidade, $d_i + d_j > C$, o mesmo será eliminado.[14][15][5][16]

Estão agora reunidas as condições para se interpretar a formulação deste problema.

Estão envolvidas dois tipos de variáveis. As de fluxo x_{ijk} , $(i,j) \in A, k \in K$, que terá o valor de 1, se o arco (i,j) for utilizado pela viatura k , ou 0 caso se verifique o contrário. As outras variáveis são as temporais, w_{ik} , $i \in V, k \in K$, que especificam o início do serviço no nó i quando efetuado pela viatura k . O objetivo da função é minimizar os custos totais associados às rotas e é dado pela seguinte equação:

$$\min \left(\sum_{k \in K} \cdot \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} \cdot x_{ijk} \right) \quad (2.9)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k \in K} \cdot \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2.10)$$

A equação 2.10, restringe a atribuição de cada cliente a uma só viatura.

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1, \quad \forall k \in K \quad (2.11)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{jik} = 0, \quad \forall k \in K, j \in N \quad (2.12)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (2.13)$$

As equações 2.11 até à 2.13, caracterizam o fluxo no caminho a ser seguido pela viatura k , garantindo a sua continuidade.

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (2.14)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk}, \quad \forall k \in K, i \in N \quad (2.15)$$

$$E \leq w_{ik} \leq L, \quad \forall k \in K, i \in \{0, n+1\} \quad (2.16)$$

As equações 2.14 até à 2.16 garantem que as imposições horárias são respeitadas. A equação que se segue, tem como função controlar a carga em função da capacidade do veículo.

$$\sum_{i \in N} d_i \cdot \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C, \quad \forall k \in K \quad (2.17)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (2.18)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (2.19)$$

A equação 2.19, define a variável x_{ijk} como sendo binária, já explicado para o caso geral do VRP. É uma variável de decisão que toma o valor 1, caso o arco ij pertença à solução ótima, se tal não se verificar, o seu valor será nulo.

2.2 Eco-Condução

No setor dos transportes, há três fatores que influenciam o consumo de combustível: o veículo, as condições da estrada durante a condução, e as ações do condutor. Todos os anos uma parte considerável de combustível é utilizada por veículos motorizados, o que resulta num nível de emissões bastante elevado. Com isto, os construtores de automóveis estão forçados a obter melhores resultados no que diz respeito à eficiência dos motores. No entanto, as tecnologias automóveis têm efeitos limitados no que diz respeito à eficiência. Espera-se que os avanços em termos de motorização e tecnologias nos automóveis consigam melhorar a eficiência entre 4-10% e 2-8% respetivamente.[17]

Para responder a estas limitações, introduz-se a eco condução. Este conceito existe há pelo menos 15 anos e tem sido utilizado em toda a Europa. No Reino Unido mais de 12000 condutores de veículos pesados receberam treino no âmbito de uma condução mais económica e ambientalmente mais responsável, tendo apresentado poupanças na ordem dos 10%.[18]

O conceito de eco condução é um modo de condução inteligente e mais eficiente que utiliza da melhor maneira os benefícios das tecnologias modernas. O objetivo base em relação ao método convencional de condução, é a redução dos consumos médios de combustível, sem que com isso se reduza a velocidade média de circulação.[19] Baseia-se num conjunto de regras que diferem da condução normal, bem como na prática de uma boa manutenção que, em conjunto, podem aumentar a eficiência da condução.[20][21] Esta estratégia tem ganho importância entre a indústria automóvel, investigadores e legisladores, pelo facto de pouco ou nada custar a implementar, e poder ser aplicada em quase todos os tipos de veículos.[22]

No que diz respeito aos comportamentos em trânsito, a eco condução baseia-se principalmente numa condução calma, com acelerações e desacelerações lentas, engrenando as mudanças de forma otimizada, geralmente entre as 2000 e 2500 rpm, mantendo uma velocidade moderada e constante, antecipar o tráfego e possíveis obstáculos no caminho, ajudando a evitar travagens bruscas, minimizar os tempos de "idling", e por último assegurar a manutenção dos veículos.[23] A prática da eco condução traz múltiplas vantagens, e estas referem-se principalmente a:[19]

- Segurança:
 - Aumenta a segurança na estrada,
 - Melhora as capacidades defensivas na condução;

- Ambientais:
 - Reduz as emissões de CO_2 ,
 - Reduz a poluição sonora,
 - Reduz as emissões nocivas locais;

- Eficiência na condução:
 - Reduz o consumo de combustível,

- Reduz os custos de manutenção,
- Reduz os custos devido aos acidentes no tráfego;
- Responsabilidade social:
 - Contribui para uma condução mais responsável,
 - Reduz o stress durante a condução,
 - Aumenta o conforto tanto para os condutores, como para os passageiros;

Relativamente à poluição sonora, é interessante realçar que o ruído produzido por um carro a 4000 rpm, é equivalente ao produzido por 32 viaturas a 2000 rpm.[19]

Aplicando estas técnicas, ao mesmo tempo que se poupa no combustível aumenta-se a segurança nas estradas e diminui-se o desgaste das viaturas.

A implementação da eco condução envolve a realização de formações a condutores e a monitorização da condução antes de depois das mesmas, com o intuito destes assimilarem novos comportamentos e que possam alterar os seus hábitos de condução. Verifica-se que o intervalo de redução de consumo, tanto para VL como para VP é idêntico, apresentado um elevado grau de variabilidade, aproximadamente entre 2% a 40% de melhorias. A razão deste intervalo ser tão grande, prende-se com o facto de este estar fortemente dependente da disponibilidade/motivação dos condutores a aderirem e a sensibilizarem-se com a finalidade da formação em eco condução, bem como do tipo de tecnologia de veículos e da sua operação.[24]

Outro motivo pelo qual a gama de valores associados a estes ensaios seja tão grande, está associada ao facto de grande parte dos condutores perder os hábitos adquiridos com a condução. Alguns estudos apontam que o impacto destas medidas é muito reduzido a longo prazo, pelo que é necessário perceber de que forma se poderão incentivar estas práticas. Uma das formas de o fazer é através de incentivos monetários, caso para o qual serão mais à frente demonstrados alguns resultados.[23]

A tabela que se segue serve para sintetizar a informação adquirida em vários ensaios, em ambientes de teste diferentes e também com diferentes variáveis em análise. A compreensão das vantagens inerentes à eco condução foi considerada importante, visto que a sua eficiência ainda não está devidamente creditada perante os condutores em geral.

Tabela 2.1: Resumo dos resultados da bibliografia consultada (Eco-condução)

| Local e ano | Método de treino e contexto de utilização | Impactos | Referência |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Reino Unido, 2005 | Formação com utilização de simulador, abrangendo mais de 600 alunos | 3,5% de redução imediatamente após formação | [25] |
| EUA, 2007 | Formação de 36 alunos, através de aulas com condução em circuito fechado | 33,6% a 40,5% de redução logo após a formação | [26] |
| Austrália, 2009 | Formação com 12 condutores, com testes em contexto real em percursos pré definidos | Redução 27,3% após a formação; 26,9% após 3 meses | [18] |
| Canadá, 2009 | Formação de 6 horas a 59 condutores em sala de aula, seguido de aplicação prática | 4,6% em cidade (após a formação) descendo para 2,5% (nas semanas 30 a 40 após a formação). Em autoestrada 3,5% inicialmente tornando-se insignificantes ao fim de 30 semanas | [27] |
| Europa, 2010 | Aulas com acompanhamento individual dos resultados com condução em ambiente real. 322 alunos | 9,4% num período de tempo indefinido | [22] |
| EUA, 2011 | Formação individual durante condução em ambiente real, em veículos com sistema de monitorização, para 695 candidatos | 13,7% após 2 meses | [28] |
| EUA, 2014 | Formação de 46 candidatos durante condução em ambiente real em veículos com sistema de monitorização e incentivos financeiros | 2,6% (5,4% com incentivos) para "sleeper cabs" e 5,2% (9,9% com incentivos) para "day cabs" ao fim de 2 meses | [23] |

O primeiro exemplo demonstrado na tabela representa um teste feito a mais de 600 candidatos, através da utilização de um simulador chamado *Trucksim*. Os resultados obtidos demonstraram uma redução de cerca de 3,5%. Comparando com as formações que foram realizadas em contexto de condução real, os resultados são insatisfatórios, visto que, neste caso, as reduções apresentadas foram mais positivas. Nos EUA, em 2007, foi realizado uma formação em percurso fechado, sendo que o aumento da eficiência se encontrava entre os 33.6% aos 40.5%. Quando comparado com os ensaios realizados na Austrália em 2009, em contexto real e com percursos pré-definidos, as reduções logo após a formação foram de 27.3 %, sendo que o valor se manteve quase inalterado 3 meses depois.[25][26][18]

Através da análise entre os testes realizados na Europa, em 2010, e nos EUA, em 2011, verifica-se a importância de se poder observar regularmente a prestação da condução de cada condutor. Enquanto que no primeiro, o acompanhamento de resultados foi realizado mensalmente, no segundo caso, o veículo estava provido de um sistema de monitorização, o que permitia ao condutor perceber os resultados das ações que praticava no trânsito.[22][28]

Equiparando agora a experiência levada a cabo nos EUA, em 2014, com aquela realizada no Canadá, em 2009, percebe-se a importância que os incentivos financeiros ou outros, têm na motivação dos condutores. No primeiro caso, facilmente se deduz que para ambas as variantes analisadas, "*sleepers cabs*" e "*day cabs*", ou seja com cabine de descanso no primeiro e sem cabine de descanso no segundo, a existência de incentivos melhorou os resultados em cerca de 50%. Já no segundo caso os resultados demonstram que com o decorrer das semanas, desde que a formação foi feita, a eficiência vai sendo cada vez mais baixa chegando a um ponto onde os resultados provenientes das formações deixam de ser perceptíveis.[23][27]

Através da análise de vários estudos, é notório que pequenas sessões de treino são provavelmente as mais simples e diretas formas de incutir técnicas de eco condução a condutores. No entanto, os resultados por elas obtidos são modestos, principalmente no ponto de vista individual.

Posto isto, é importante aliar estes comportamentos com outro tipo de iniciativas, ou formas de encorajamento. Para além da monetária, existem já outras maneiras de incentivar condutores a adotar comportamentos mais responsáveis em trânsito, como por exemplo as interfaces existentes nos carros híbridos. Estes demonstram constantemente a eficiência do motor e encorajam uma eco condução sustentada.

Esta dissertação irá incidir sobre os veículos destinados ao transporte de gás em vasilha, tendo como principal objetivos avaliar o impacto que as medidas e ferramentas estudadas poderão ter para este caso em específico. As medidas propostas irão albergar os conceitos apresentados na revisão bibliográfica, para que assim se possa avaliar a sua eficiência. No que diz respeito à eco condução, será considerada uma percentagem no aumento de eficiência de 5% a 10%. Relativamente aos algoritmos de otimização da distribuição (VRP - VRPTW), serão otimizadas as rotas de distribuição e feita uma contabilização dos quilómetros poupados. As outras abordagens, irão englobar a redução da carga transportada pelas viaturas e a substituição das viaturas atuais, por outras menos consumidoras, respeitando sempre as necessidades básicas da frota (Carga transportada). Será explicado nos capítulos que se seguem, a forma como os mesmos foram utilizados, e os resultados que advêm da sua implementação.

3. A Empresa

O caso de estudo desta Dissertação incidiu na Bongás Energias que é uma PME, sediada em Aveiro Portugal, com 70 anos de existência sendo considerada uma referência no setor da energia a nível nacional. O grupo Bongás está presente em 5 áreas de negócio distintas:

- Energias Renováveis, Prestação de Serviços de Energia e Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes;
- Distribuição de Gás em Garrafa;
- Instalação de redes de Gás e Instalação e manutenção de Equipamentos para Produção de Águas Quentes sanitárias;
- Instalação de redes de Gás e Instalação e manutenção de Equipamentos para Produção de Águas Quentes sanitárias;
- Postos de Abastecimento Automáticos;
- Combustíveis a Granel.

A Bongás Energias é uma empresa cujo trabalho se enquadra no setor energético, mais especificamente na área da distribuição de combustíveis, em duas zonas distintas, entre as quais estão Aveiro e Cantanhede. Ainda assim, no decorrer deste estágio, deu-se a integração de uma nova zona de atividade, na qual este estágio também se inseriu. Trata-se de uma nova zona geográfica de distribuição, (Anadia), cuja atividade era assegurada por outra empresa, mas que no ano de 2019 passou a pertencer à Bongás.

Com a crescente preocupação da sociedade devido às questões ambientais, começa a tornar-se imperativo a adequação das atividades empresariais, de forma a promover um crescimento sustentável, devendo assim, cada setor adequar os seus consumos energéticos, para diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

3.1 Análise Operacional de Empresa

A figura 1 presente nos anexos, contém um resumo detalhado de todos os passos e processos abordados durante o estágio, bem como ordem temporal pela qual se desenvolveram os trabalhos que se descrevem a partir daqui.

Antes de se ter começado a realizar qualquer tipo de análise ou recolha de dados, foi importante perceber a forma como se processam os pedidos de encomendas e vendas de gás engarrafado na empresa. Começou-se por estudar de que forma se dividiam os recursos pelas várias zonas de atuação, bem como certas denominações das várias áreas ativas.

A venda de garrafas pode-se dar de duas formas, uma delas é através da compra em loja, onde o cliente levanta ele próprio no balcão e não incorre a necessidade da empresa se ocupar com a distribuição. Outra hipótese será efetuar encomendas por email, telefone

ou também presencialmente nos balcões da loja da Bongás, onde se dará o caso de a empresa se responsabilizar pela entrega das mesmas.

Para que a entrega dos pedidos se dê de forma ordeira, é efetuado no final de cada mês um planeamento para o mês seguinte, sendo definidas rotas diárias onde se discriminam semanalmente quais os clientes a visitar em cada dia, o condutor encarregue da respetiva rota, e qual a viatura mais adequada para a realização da rota conforme o volume de carga associado. Apesar deste planeamento delinear o grosso da atividade relativa à frota de distribuição, o mesmo não chega. É que diariamente chegam ao balcão da Bongás, encomendas espontâneas isto é, não incluídas no planeamento mensal previamente feito para dar respostas às encomendas periódicas e programadas. Isto obriga a um esforço e trabalho logístico mais complexo, já que é preciso inseri-las na rota mais conveniente, para minimizar os desvios de percurso que iram definitivamente aumentar os custos, tanto em termos de distância percorrida, como de tempo. Na maioria dos casos, e devido ao facto de a empresa estar provida de um *software* de roteamento dos veículos, é possível escolher, conforme a proximidade da viatura ao ponto de entrega, qual é aquele que se encontra em melhor posição para efetuar a entrega.

Devido a todas estas ocorrências, incorre a necessidade de sobrecarregar os veículos mais do que aquilo que seria esperado. Estas situações, se não forem bem planeadas provocam, como será visto mais adiante, um aumento da taxa de carga inútil em cada veículo. Isto conduz a um aumento da ineficiência dos mesmos, aumentando os consumos de combustível, e também as emissões.

Na figura que se segue, encontra-se um diagrama onde se caracteriza o tipo de clientes e as encomendas.

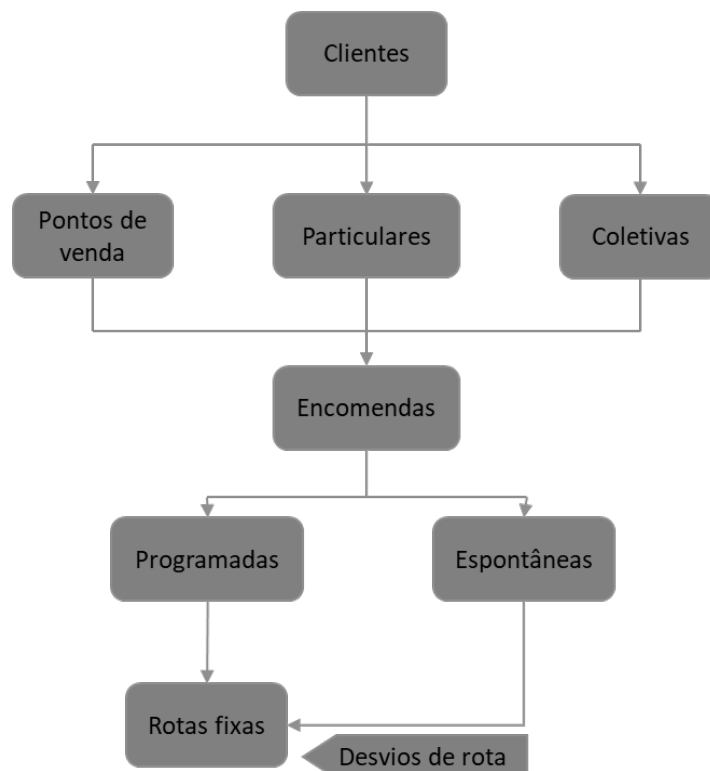


Figura 3.1: Fluxograma do processo empresarial

Relativamente ao diagrama anterior, resta explicar que consoante a antecipação do pedido das encomendas designadas por espontâneas, as mesma poderão ser incluídas atempadamente nas rotas fixas, antes do planeamento ser definido e entregue aos colaboradores responsáveis pela realização das rotas, caso contrário serão necessários desvios de rotas para as cumprir.

3.2 Frota de Transportes

A Bongás Energias está provida de 10 veículos destinados à distribuição de gás em garrafa. Ainda que o estudo da otimização feito incida sobre os mesmos, foram recolhidas informações sobre todos os veículos vinculados à Bongás no ano de 2018.

Para além dos já referidos, a Bongás contem na sua frota de veículos, aqueles afetos à assistência técnica, à distribuição de combustíveis líquidos, e por fim veículos utilizados pelos quadros administrativos, fazendo um total de 30 viaturas ao dispor da empresa. Embora estes últimos veículos não se insiram no foco principal dos trabalhos, a sua contabilização foi importante para adquirir um panorama do consumo total de energia relativa à circulação das viaturas.

Alguns dos veículos presentes na frota em 2018, foram abatidos e substituídos por outros. Ainda assim a sua atividade foi igualmente estudada, pois a sua contribuição serviu também para averiguar a eficiência das rotas afetas aos mesmos, naquele intervalo de tempo.

Em seguida encontrar-se-ão duas tabelas com as principais características dos veículos utilizados pela Bongás. A primeira tabela destina-se somente às viaturas utilizadas para a distribuição de gás em garrafa, já a segunda destina-se a demonstrar em que situação se encontra o resto da frota utilizada nas restantes áreas de atuação.

Tabela 3.1: Frota de distribuição de gás em garrafa

| Matrícula | Marca/Modelo | Ano | Peso Bruto (ton) | Carga útil (ton) | Quilómetros percorridos | Cilindrada | Euro |
|-----------|-------------------|------|------------------|------------------|-------------------------|------------|----------|
| 04-03-XX | Mitsubishi Canter | 2003 | 3,5 | 0.95 | 328339 | 2977 | Euro III |
| 39-XX-23 | Toyota Dyna | 2015 | 3,5 | 1.3 | 84916 | 2982 | Euro IV |
| 51-XX-38 | Mitsubishi Canter | 2010 | 3,5 | 1.1 | 114233 | 2998 | Euro V |
| 12-XX-88 | Toyota Dyna | 2006 | 7,5 | 4.3 | 378786 | 4613 | Euro IV |
| 13-XX-10 | Toyota Dyna | 2006 | 7,5 | 4.84 | 363800 | 4613 | Euro IV |
| 25-XX-05 | Toyota Dyna | 2009 | 7,5 | 3.86 | 215656 | 4009 | Euro V |
| 38-XX-00 | Renault Midlum | 2007 | 12 | 6.94 | 422360 | 4764 | Euro IV |
| 48-XX-46 | Renault Midlum | 2007 | 12 | 7.0 | 263201 | 4764 | Euro IV |
| 76-XX-48 | Renault Midlum | 2010 | 12 | 6.9 | 232845 | 4764 | Euro V |
| 45-XX-62 | Iveco MLC | 2008 | 16 | 9.7 | 198199 | 5880 | Euro V |

A média de idades da frota de distribuição de gás em garrafa é de 11 anos, com o veículo mais antigo registado no ano de 2003. Não obstante, o veículo com maior utilização é uma Renault Midlum de 2007, com 422360 km.

Também é possível verificar na última coluna da tabela, a norma Euro em vigor aquando do registo da matrícula de cada viatura.

As normas Euro relativas às emissões são regulamentadas pela União Europeia, e estabelecem os limites máximos de emissões de poluentes para os veículos em estrada. Nas tabelas que se seguem, (3.2, 3.3 e 3.4), demonstram-se os limites relativos a essas emissões para cada categoria de veículo.[6]

Tabela 3.2: Classificação das viaturas pesadas de mercadorias conforme as normas Euro[6]

| Stage | Date | Test | CO | NMHC | CH ₄ ^a | NOx | PM ^b | PN ^e |
|----------|------------------|------|-------|-------------------|------------------------------|------|-------------------|----------------------|
| | | | g/kWh | | | | | |
| Euro III | 1999.10 EEV only | ETC | 3.0 | 0.40 | 0.65 | 2.0 | 0.02 | |
| | 2000.10 | | 5.45 | 0.78 | 1.6 | 5.0 | 0.16 ^c | |
| Euro IV | 2005.10 | | 4.0 | 0.55 | 1.1 | 3.5 | 0.03 | |
| Euro V | 2008.10 | | 4.0 | 0.55 | 1.1 | 2.0 | 0.03 | |
| Euro VI | 2013.01 | WHTC | 4.0 | 0.16 ^d | 0.5 | 0.46 | 0.01 | 6.0×10 ¹¹ |

Na tabela 3.3 e 3.4, encontram-se caracterizadas as normas Euro relativas às emissões, sendo que neste caso representam os veículos ligeiros de mercadorias e ligeiros de passageiros, respetivamente.[6]

Tabela 3.3: Classificação das viaturas ligeiras de mercadorias conforme as normas Euro[6]

| Category† | Stage | Date | CO | HC | HC+NOx | NOx | PM | PN |
|-------------------------------------------|------------|----------------------|------|----|--------|-------|--------------------|----------------------|
| | | | g/km | | | | | |
| Compression Ignition (Diesel) | | | | | | | | |
| N ₁ , Class I ≤1305 kg | Euro 1 | 1994.10 | 2.72 | - | 0.97 | - | 0.14 | - |
| | Euro 2 IDI | 1997.01 | 1.0 | - | 0.70 | - | 0.08 | - |
| | Euro 2 DI | 1997.01 ^a | 1.0 | - | 0.90 | - | 0.10 | - |
| | Euro 3 | 2000.01 | 0.64 | - | 0.56 | 0.50 | 0.05 | - |
| | Euro 4 | 2005.01 | 0.50 | - | 0.30 | 0.25 | 0.025 | - |
| | Euro 5a | 2009.09 ^b | 0.50 | - | 0.23 | 0.18 | 0.005 ^f | - |
| | Euro 5b | 2011.09 ^d | 0.50 | - | 0.23 | 0.18 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| | Euro 6 | 2014.09 | 0.50 | - | 0.17 | 0.08 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| N ₁ , Class II 1305-1760 kg | Euro 1 | 1994.10 | 5.17 | - | 1.40 | - | 0.19 | - |
| | Euro 2 IDI | 1998.01 | 1.25 | - | 1.0 | - | 0.12 | - |
| | Euro 2 DI | 1998.01 ^a | 1.25 | - | 1.30 | - | 0.14 | - |
| | Euro 3 | 2001.01 | 0.80 | - | 0.72 | 0.65 | 0.07 | - |
| | Euro 4 | 2006.01 | 0.63 | - | 0.39 | 0.33 | 0.04 | - |
| | Euro 5a | 2010.09 ^c | 0.63 | - | 0.295 | 0.235 | 0.005 ^f | - |
| | Euro 5b | 2011.09 ^d | 0.63 | - | 0.295 | 0.235 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| | Euro 6 | 2015.09 | 0.63 | - | 0.195 | 0.105 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| N ₁ , Class III >1760 kg | Euro 1 | 1994.10 | 6.90 | - | 1.70 | - | 0.25 | - |
| | Euro 2 IDI | 1998.01 | 1.5 | - | 1.20 | - | 0.17 | - |
| | Euro 2 DI | 1998.01 ^a | 1.5 | - | 1.60 | - | 0.20 | - |
| | Euro 3 | 2001.01 | 0.95 | - | 0.86 | 0.78 | 0.10 | - |
| | Euro 4 | 2006.01 | 0.74 | - | 0.46 | 0.39 | 0.06 | - |
| | Euro 5a | 2010.09 ^c | 0.74 | - | 0.350 | 0.280 | 0.005 ^f | - |
| | Euro 5b | 2011.09 ^d | 0.74 | - | 0.350 | 0.280 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| | Euro 6 | 2015.09 | 0.74 | - | 0.215 | 0.125 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| N ₂ | Euro 5a | 2010.09 ^c | 0.74 | - | 0.350 | 0.280 | 0.005 ^f | - |
| | Euro 5b | 2011.09 ^d | 0.74 | - | 0.350 | 0.280 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| | Euro 6 | 2015.09 | 0.74 | - | 0.215 | 0.125 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |

Tabela 3.4: Classificação das viaturas ligeiras de passageiros conforme as normas Euro[6]

| Stage | Date | CO | HC | HC+NOx | NOx | PM | PN |
|-------------------------------|----------------------|-------------|----|-------------|------|--------------------|----------------------|
| | | g/km | | | | | #/km |
| Compression Ignition (Diesel) | | | | | | | |
| Euro 1† | 1992.07 | 2.72 (3.16) | - | 0.97 (1.13) | - | 0.14 (0.18) | - |
| Euro 2, IDI | 1996.01 | 1.0 | - | 0.7 | - | 0.08 | - |
| Euro 2, DI | 1996.01 ^a | 1.0 | - | 0.9 | - | 0.10 | - |
| Euro 3 | 2000.01 | 0.64 | - | 0.56 | 0.50 | 0.05 | - |
| Euro 4 | 2005.01 | 0.50 | - | 0.30 | 0.25 | 0.025 | - |
| Euro 5a | 2009.09 ^b | 0.50 | - | 0.23 | 0.18 | 0.005 ^f | - |
| Euro 5b | 2011.09 ^c | 0.50 | - | 0.23 | 0.18 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |
| Euro 6 | 2014.09 | 0.50 | - | 0.17 | 0.08 | 0.005 ^f | 6.0×10 ¹¹ |

Tabela 3.5: Frota afeta às restantes áreas de atuação

| Matrícula | Marca/Modelo | Categoria | Ano | km |
|-----------|-------------------|-----------|------|--------|
| 03-XX-15 | Citroen Grand Pic | Pass | 2013 | 190994 |
| 07-XX-18 | Ford Fiesta | Pass | 2014 | 82900 |
| 12-XX-90 | VW Passat | Pass | 2016 | 82580 |
| 18-XX-30 | Citroen C3 | Pass | 2015 | 103832 |
| 21-XX-22 | Peugeot Expert | Merc | 2006 | 291667 |
| 51-XX-71 | Renault Clio 4 So | Merc | 2017 | 60794 |
| 51-XX-72 | Renault Clio 4 So | Merc | 2017 | 41874 |
| 51-XX-96 | Renault Clio 4 So | Merc | 2017 | 40295 |
| 54-XX-02 | Mercedes Benz A | Pass | 2018 | 20504 |
| 62-XX-48 | Peugeot Partner | Merc | 2016 | 35745 |
| 77-16-XX | Renault Kangoo | Merc | 2001 | 391203 |
| 79-52-XX | Peugeot Partner | Merc | 2003 | 217402 |
| 84-XX-88 | Peugeot Partner | Merc | 2011 | 153564 |
| 85-XX-89 | Opel Astra | Pass | 2015 | 110241 |
| 87-XX-56 | Citroen C4 | Pass | 2014 | 152024 |
| 92-XX-78 | Renault Kangoo | Merc | 2017 | 33141 |
| 92-XX-85 | Renault Kangoo | Merc | 2017 | 38205 |
| 94-XX-78 | Opel Astra | Pass | 2011 | 154087 |
| 98-XX-00 | Renault Clio 4 So | Merc | 2018 | 16936 |

Relativamente à restante frota, (observada na tabela 3.5), entre veículos de passageiros e mercadorias a média de idades é de 7 anos, sendo que o registo da viatura mais antiga data do ano de 2001. Também é esta mesma viatura aquela com maior número de quilómetros percorridos - 391,203.

4. A Energia na Empresa

Na presente secção estarão representados valores relativos ao consumo de combustíveis, mais precisamente de gasóleo, durante o ano de 2018.

Documentar-se-ão aqui os consumos energéticos de toda a frota, ainda que o objetivo deste estágio esteja ligado à otimização da frota de distribuição de gás em garrafa, como já foi referido. No entanto foi considerada relevante uma visão do panorama geral de toda a empresa, incluindo também os veículos destinados à assistência técnica, distribuição de combustíveis líquidos, área comercial e também os dos veículos utilizados pelos quadros administrativos.

Na figura 4.1, distinguem-se duas colunas, a azul é relativa aos consumos de toda a frota, já as outras colunas, a laranja, representam os consumos de gasóleo de toda a frota destinada à distribuição de gás em vasilha. Esta comparação é importante, primeiro para perceber o peso que o consumo relacionado com os veículos da distribuição têm na generalidade e depois para identificar em que meses está ser gasto mais combustível.

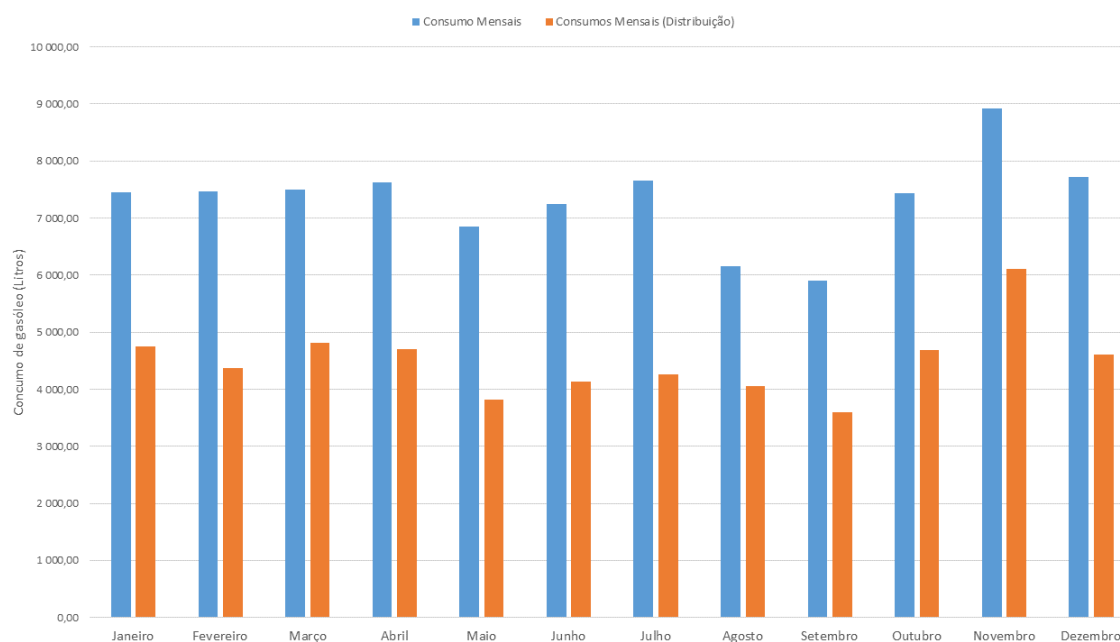


Figura 4.1: Consumos relativos ao ano de 2018

No ano de 2018 consumiram-se no total, cerca de 88,332.67 litros de gasóleo tendo sendo investidos cerca de 90,048.65 € em gasoleiras pertencentes ao grupo Bongás Energias (bexpress).

Pelo facto de a atividade da Bongás ser sazonal, como seria de esperar, nos meses de inverno, em que a procura das botijas de gás é superior à verificada nos meses mais quentes, o consumo de combustível fosse superior aos restantes meses. Posto isto, observando o gráfico anterior, distinguem-se os meses de Outubro, Novembro, Dezembro e Março como aqueles onde houve um maior consumo de combustível para suprir o volume

de encomendas nesse período. Ao longo do ano foram gastos cerca de 53,411.18 litros de gasóleo, num valor que ronda os 63,639.6 €.

Observando a empresa na generalidade, passa a ser o mês de Julho o segundo mais pesado no que diz respeito ao consumo de combustível.

De um modo geral, foram gastos cerca de 75.1 toneladas equivalentes de petróleo (tep), para movimentar toda a frota da empresa, dos quais 46.6 se destinaram aos veículos utilizados na distribuição das garrafas.

Os fatores de conversão utilizados foram:[29][30]

1 L (gasóleo) equivale a 0.835 Kg

1 L (gasóleo) equivale a 35.6 MJ

1 Tep equivale a 41868 MJ

Pelo facto do consumo energético da Bongás ser muito inferior a 500 tep, a empresa, por não ser considerada grande consumidora, não é obrigada à realização de nenhuma auditoria associada ao PReN (Plano de Racionalização de Energia), por parte de intervenientes externos. No entanto, ressalva-se a necessidade de impulsionar o negócio e de otimizar a sua atividade, tanto para o próspero desenvolvimento económico da empresa, como também para a redução da sua pegada ambiental.

4.1 Consumos e Custos de Utilização das Viaturas

Por forma a avaliar o desempenho de cada viatura, foram calculados alguns indicadores relativos ao consumo de combustível e ao custo da sua utilização durante o ano de 2018.

Através dos registos dos abastecimentos das viaturas, foi possível recolher valores relativos à quantidade de gasóleo, bem como a quilometragem aquando cada abastecimento. Estes dados foram cruciais no que diz respeito à obtenção do resumo de atividades de cada viatura relativos ao ano em análise. Na tabela que se segue, estão demonstrados os valores obtidos segundo a informação disponível dos veículos no referido ano.

Tabela 4.1: Indicadores relativos à prestação das viaturas - 2018

| Matrícula | L/100km | L/ton*km | Manutenção | Combustível (€) | €/km |
|-----------|---------|----------|------------|-----------------|-------|
| 04-03-XX | 13.364 | 0.175 | 1019.64 | 3315.47 | 0.189 |
| 12-XX-88 | 18.944 | 0.16 | 1833.24 | 5856.36 | 0.315 |
| 13-XX-10 | 20.946 | 0.158 | 3402.09 | 6188.24 | 0.412 |
| 25-XX-05 | 22.04 | 0.194 | 1154.38 | 3096.19 | 0.367 |
| 38-XX-00 | 26.849 | 0.157 | 5191.55 | 11898.26 | 0.489 |
| 39-XX-23 | 13.255 | 0.299 | 545.44 | 5464.97 | 0.184 |
| 45-XX-62 | 28.1 | 0.204 | 7430.82 | 5288.97 | 0.665 |
| 48-XX-46 | 27.145 | 0.198 | 4421.23 | 8827.57 | 0.494 |
| 51-XX-38 | 15.99 | 0.225 | 2607.02 | 2540.19 | 0.363 |
| 76-XX-48 | 26.388 | 0.132 | 4421.23 | 7899.59 | 0.523 |

O esquema que se segue serve para demonstrar como estão distribuídas as viaturas pelas diversas rotas. Para se entender o esquema, segue-se uma breve explicação do mesmo. Como a Bongás Energias atua em duas zonas diferentes com produtos Galp, fez-se a divisão entre as mesmas GG01 e GG03, que são respetivamente em Aveiro e

Cantanhede. Dentro de cada zona existem várias rotas, em que cada uma representa uma zona de atuação, zonas estas que estão demonstradas mais à frente.

| | | | | |
|------------------------|---|-------------------|---|------------------|
| Nomenclatura das Rotas | { | GG01 (Aveiro) | { | B03 - 45-XX-62 |
| | | | | B04 - 76-XX-48 |
| | | | | B05 - 13-XX-10 |
| | | | | B06 - 38-XX-00 |
| | | | | B07 - 39-XX-23 |
| | | | | B08 - 12-XX-88 |
| | | | | Apoio - 48-XX-46 |
| | | GG03 (Cantanhede) | { | P01 - 25-XX-05 |
| | | | | P02 - 51-XX-38 |
| | | | | P03 - 04-03-XX |

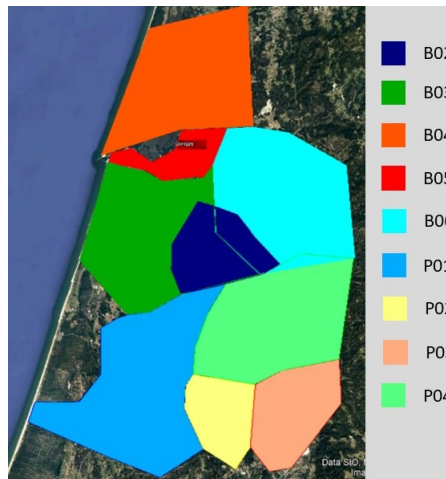


Figura 4.2: Definição das áreas de atuação

Para além do já explicado, cada rota é ainda dividida pelos vários dias da semana, conforme o número de clientes a ela associados e a periodicidade de passagem pelos mesmos.

De notar que a tabela 4.1 contém valores muito importantes relativamente ao desempenho das viaturas utilizadas na distribuição do gás em garrafa. No entanto, é de salientar a importância que tem a análise dos $L/\text{ton} \cdot \text{km}$. Este indicador vai adequar-se à área em questão, transporte de mercadorias, permitindo retirar conclusões mais precisas quanto à prestação de cada veículo. Comparativamente aos $L/100\text{km}$'s, é de notar que um valor baixo deste último, não significa uma maior rentabilidade no que diz respeito ao transporte de cargas. Para isto é forçosamente necessário avaliar os $L/\text{ton} \cdot \text{km}$, que tem em conta o peso da quantidade de carga transportada, nos consumos de combustível.

Através dos dados levantados, foi possível verificar que certas viaturas embora apresentem valores de $L/100\text{km}$ mais baixos relativamente a outras, quando analisados os $L/\text{ton} \cdot \text{km}$, a tendência invertia-se, e verificava-se assim que não se poderiam tirar conclusões realistas analisando apenas o primeiro indicador. Em seguida demonstra-se dois casos verificados entre as viaturas que compõem a frota de distribuição de gás em garrafa.

Para a obtenção deste indicador foi importante efetuar o levantamento da carga

média diária para cada veículo. A explicação deste passo encontra-se mais à frente onde se explica também como foi feita a contabilização das taras recolhidas.

As figuras que se seguem representam a comparação dos indicadores referidos nos parágrafos anteriores. Lado a lado estarão a ser retratados litros por quilómetro (L/km) e litros por tonelada quilómetro (L/ton*km). Foram escolhidos dois pares de viaturas com características distintas para se retirarem conclusões quanto à influência que a capacidade de carga tem nos indicadores.

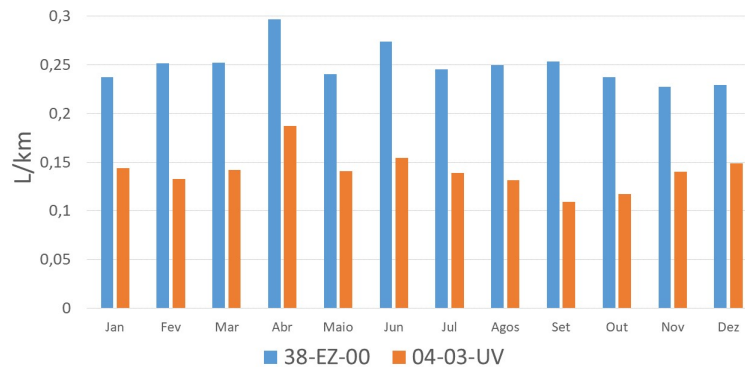


Figura 4.3: Consumos relativos ao ano de 2018 (L/km)

Na figura 4.3 equiparam-se para o indicador de L/Km, as viaturas 38-XX-00 e 04-03-XX. Estas viaturas têm características distintas, enquanto que a primeira se refere a um veículo de 12 toneladas a segunda refere-se a uma de 3.5 toneladas.

Através da observação do gráfico, é perceptível que o veículo mais pesado é um maior consumidor de combustível relativamente à viatura mais pequena.

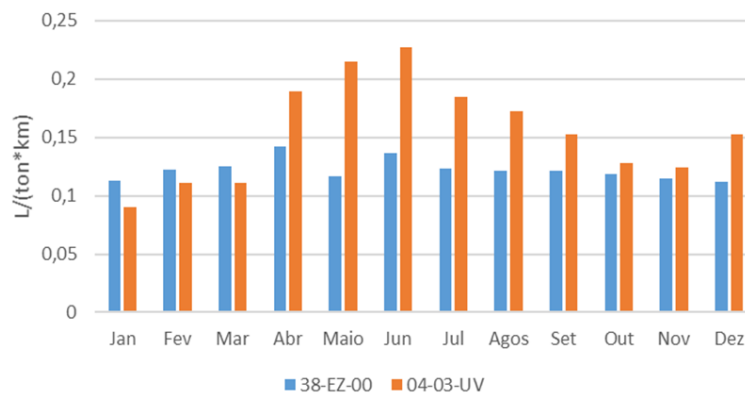


Figura 4.4: Consumos relativos ao ano de 2018 (L/(Ton*km))

A figura anterior compara o já falado indicador litros por tonelada quilómetro. A sua obtenção foi indispensável para interpretar a importância que o aproveitamento ao máximo das capacidades de carga de cada veículo tem, nos custos de movimentação da mesma. Primeiramente, via-se que a viatura ligeira de mercadorias seria mais económica que a pesada. No entanto quando comparando a carga transportada por cada uma, os papéis invertem-se e no âmbito do transporte de mercadorias, o veículo pesado é bastante

mais eficaz. Tirando os primeiros meses, o resultado observado é concordante com o que foi dito anteriormente. A razão pela qual o mesmo não se verificou nos primeiros três meses do ano, deve-se ao facto de o veículo ligeiro ter sido carregado além do limite legal, o que fez descer o consumo relativamente à carga transportada, situação esta que não se deve procurar obter dadas as penalizações a que a empresa se sujeita.

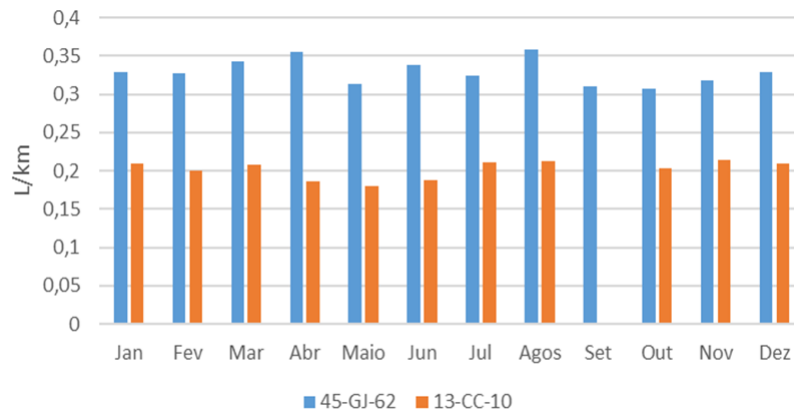


Figura 4.5: Consumos relativos ao ano de 2018 (L/km)

Neste segundo caso, representado na figura 4.5, comparam-se dois veículos também eles distintos. A azul está a maior viatura da frota, uma 16 de toneladas com a matrícula 45-XX-62, já a laranja representa um veículo de 7.5 toneladas com a matrícula 13-XX-10.

Tal como no caso anterior, é evidente que a viatura com menos capacidade, ou seja mais pequena, apresenta menores consumos.

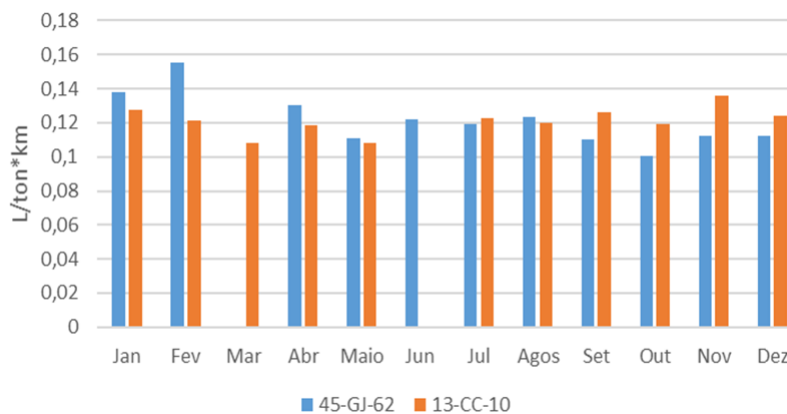


Figura 4.6: Consumos relativos ao ano de 2018 (L/(Ton*km))

À semelhança do caso anterior, voltou a acontecer que o veículo com maior capacidade de carga, no que toca à movimentação de carga, sai beneficiado e vê-se a sua rentabilidade elevada se compararmos os dois indicadores.

Seria de esperar que a viatura de 16 toneladas visse os seus valores em litros por tonelada quilómetro, inferiores ao veículo de 7.5 toneladas. Pela análise do gráfico, vê-se que o mesmo não acontece. Os valores deste indicador encontram-se relativamente

equilibrados entre os dois veículos, verificando-se que por vezes é a viatura que consegue albergar uma maior quantidade de carga a ter este indicador mais degradado.

Após uma análise mais atenta da capacidade efetiva de ambas as viaturas, identificou-se a causa para esta irregularidade. De facto e como se pode observar na tabela 1 dos anexos, o veículo 45-XX-62, que tem uma capacidade de carga útil de cerca de 9.75 toneladas, não utiliza nem de perto o total da sua carga útil, apenas cerca de 27% está em uso. Pelo contrário, o veículo 13-XX-10, utiliza cerca de 35% da sua capacidade. Com isto, justifica-se a pequena discrepância do indicador.

Esta análise não só foi importante para realçar a necessidade de analisar ambos os indicadores, como também para perceber que veículos poderão estar sobre-dimensionados para a tarefa que lhes está atribuída. Para isto mais tarde também se avaliou a quantidade de carga inútil que este transportaram.

4.2 Modelos numéricos de análise de emissões

A ferramenta adotada para realizar a análise de emissões foi o Copert, cuja utilização é feita a nível Europeu sendo este o calculador standard de emissões.[31][32]

O Copert tem em consideração o número de veículos, a norma Euro, os quilómetros efetuados, as velocidades de circulação, as percentagens de carga transportada e ainda outros factores externos ao veículo como por exemplo as condições atmosféricas, calculando assim as emissões e o consumo de energia para um determinado propósito. A sua biblioteca cobre todas as gamas de veículos importantes para a área em questão.[33]

O desenvolvimento desta ferramenta é coordenado pela Agência Europeia do Ambiente, com uma metodologia baseada em inventários de emissões incluídos nos guias *European Monitoring and Evaluation Programme* (EMEP/AEA) para a estimativa de emissões de vários tipos de veículos existentes.[31] O programa permite adquirir estimativas sobre a emissão de vários poluentes atmosféricos regulamentados tais como: CO, NOx, podendo ser óxido nítrico e dióxido de azoto (NO e NO2), VOC e PM produzidos pelas diferentes categorias de veículos escolhidas pelo utilizador bem como os GEE, tendo por base o consumo de combustível.

Para o cálculo destas estimativas, o software tem em consideração vários aspetos como por exemplo a velocidade média, a tipologia da estrada em que circula, (por exemplo meio urbano, rural ou autoestrada), a categoria do veículo, a tara, a norma europeia de regulamentação de emissões e cilindrada, entre outros.

Tracking Diary

Para o trabalho que se seguiu, a utilização da plataforma de monitorização dos veículos foi bastante importante. Esta plataforma, é desenvolvida pela *THINKDIGITAL Telematics, SA*, e contém ferramentas muito úteis para a monitorização da atividade dos veículos e também para o acompanhamento de todas as despesas, e futuras manutenções, de cada viatura registada. Com uma correta integração com as restantes plataformas utilizadas pela empresa, (*SAGE* e *Routyn*), será possível fazer um acompanhamento em tempo real de cada rota e o estado das entregas.

4.3 Análise de Emissões

De forma a caracterizar as emissões totais referentes ao caso de estudo, foi utilizado um *software* de macro-simulação de referência, o Copert. Para a utilização do mesmo, foi necessário detalhar as condições de utilização de toda a frota alocada à distribuição de gás.

Foi necessário proceder ao levantamento de informações como velocidades médias e percentagens de distâncias percorridas nos vários contextos de condução.

Na tabela 4.2, estão identificadas todas as normas euro presentes na frota em análise, bem como o número de veículos de cada categoria.

Tabela 4.2: Distribuição dos veículos pelas normas Euro no Copert

| Categoria | Segmento | Norma Euro | Nº de veículos |
|-------------------|------------|------------|----------------|
| Veículos Ligeiros | N1-III | 3 | 1 |
| | N1-III | 5 | 1 |
| | N1-III | 6 | 1 |
| Veículos Pesados | <= 7,5 t | IV | 2 |
| | | V | 1 |
| | 7,5 - 12 t | IV | 3 |
| | | V | 1 |
| | 14 - 20 t | V | 1 |

Após classificar cada veículo segundo a norma euro, tem-se como o próximo passo, definir o perfil de velocidades dos veículos. Através do *software* de roteamento, *Tracking Diary*, foi possível a extração de relatórios de atividade diária de cada veículo, no entanto os mesmos apenas contêm a velocidade média global. Esta última é a combinação das diferentes velocidades nos vários contextos. Conforme a equação 4.1, é possível através de algumas aproximações, determinar o perfil de velocidades para cada viatura.

$$Vmd_{Global} = (\%km_{AE} \times Vmd_{AE}) + (\%km_{Rural} \times Vmd_{Rural}) + (\%km_{Urbano} \times Vmd_{Urbano}) \quad (4.1)$$

Valores como a percentagem de utilização em cada contexto ou mesmo as velocidades médias em cada um dos mesmos, é algo que não consta na base de dados, o que levou a que certos pressupostos tivessem que ser assumidos. Conhecendo o funcionamento da frota, conhecendo as regiões onde a mesma atua e através da análise dos já referidos relatórios, retirados do sistema de gestão de frota, foi possível caracterizar estes parâmetros.

Após analisar os relatórios e observar as viaturas através do sistema de gestão de frotas, definiu-se que seriam apenas necessários definir dois perfis de velocidade, um correspondente aos veículos ligeiros de mercadorias, e outro, para os pesados de mercadorias.

Ainda que tenham sido utilizadas as ferramentas já referidas, os pressupostos tomados provêm do conhecimento de algumas das regiões, doutra forma não seria possível, com o equipamento disponibilizado, calcular a velocidade média nas regiões pretendidas.

Tabela 4.3: Informação relativa à circulação dos veículos

| Categoria | Velocidades (km/h) | | | % de circulação | | |
|-------------|--------------------|-------|-------------|-----------------|-------|-------------|
| | Urbano | Rural | Autoestrada | Urbano | Rural | Autoestrada |
| V. Ligeiros | 30 | 60 | 100 | 60 | 35 | 5 |
| V. Pesados | 20 | 40 | 80 | 60 | 35 | 5 |

Para além do perfil de velocidade e de utilização das estradas, foi ainda necessário avaliar a percentagem de carga utilizada nos veículos. Através de uma análise cuidada das folhas de carregamentos mensais, folhas estas onde a cada dia, se registava o peso da carga dos veículos à saída do armazém, e também à entrada.

Com isto foi retirada uma média de carga útil durante todo o ano. Para se perceber esta etapa, a tabela que se segue apresentará as características dos produtos vendidos pela Bongás.

Tabela 4.4: Características das garrafas de gás

| Artigo | kg gás | Tara | Peso total (kg) |
|--------------------|--------|------|-----------------|
| Garrafa minigás | 2,7 | 3,3 | 6 |
| Propano (FL) 11Kg | 11 | 14 | 25 |
| Propano 11 Kg | 11 | 14 | 25 |
| Pluma 12 Kg | 12 | 9 | 21 |
| Butano 13 Kg | 13 | 14 | 27 |
| Propano 45 Kg | 45 | 45,6 | 90 |
| Propano 45 Kg (FL) | 45 | 45,6 | 90 |

FL - Gás em fase líquida

Na tabela 4.4, pode-se ver algumas informações cruciais para a determinação de um valor da carga média útil ao longo do ano de 2018.

A Bongás energias, perante cada cliente, para além de entregar um certo número de garrafas, recolhe também o mesmo número de garrafas vazias, a tara. Esta situação foi tida em conta para as simulações no Copert. Considerou-se uma média de 52% do peso para a tara. Este valor provém de uma média relativa à percentagem que a tara representa nas garrafas representadas na tabela anterior. Com isto, por cada garrafa entregue, considera-se que 52% do peso da mesma permanece no veículo. Este valor corresponde à garrafa vazia recolhida ao cliente.

Relativamente ao cálculo, a fórmula considerada mais adequada para o cálculo da carga média diária é a que se segue:

$$C_M = \text{Media}[C_i ; C_f + 0.52 \times C_V] \quad (4.2)$$

Relativamente à equação anterior, C_M corresponde à carga média considerada para um dado dia; C_i é a carga ao início desse mesmo dia, ou seja aquela à saída do armazém; C_f corresponde ao retorno no fim do dia sem contar com a tara recolhida em cada passagem; ou seja, foi a mercadoria carregada mas que não foi vendida (excesso). Por último tem-se C_V , que representa o peso em garrafas vendidas. É através desta última

que se contabilizou o peso das taras recolhidas, pois como já foi explicado, por cada garrafa entregue, recolhe-se uma semelhante vazia. Posto isto, a equação 4.2 faz a média entre o peso da carga no início do dia, com aquele com que retorna ao armazém no fim do mesmo, tendo em atenção a recolha das taras.

Reunida toda a informação necessária, foi utilizado o Copert para obter as emissões da frota referentes ao ano de 2018.

Tabela 4.5: Emissões da frota no ano de 2018, em toneladas

| Categoria | Segmento | Euro | FC (TJ) | CO ₂ (ton) | NO _x (ton) | CO (ton) |
|-------------------------|------------------------|------------|---------|-----------------------|-----------------------|----------|
| Veículos Ligeiros | N1 - III | 3 | 0.0758 | 5.6306 | 0.024 | 0.0096 |
| | | 5 | 0.045 | 3.3408 | 0.0176 | 0 |
| | | 6 até 2017 | 0.1037 | 7.7008 | 0.0328 | 0 |
| Total Veículos Ligeiros | | | 0.2245 | 16.6723 | 0.0745 | 0.0096 |
| Veículos Pesados | Rígido <= 7,5 t | IV | 0.367 | 27.2621 | 0.1535 | 0.0275 |
| | | V | 0.0783 | 5.816 | 0.0303 | 0.0108 |
| | Rígido 12 - 14t | IV | 0.688 | 51.1067 | 0.3105 | 0.0598 |
| | | V | 0.2217 | 20.9789 | 0.1013 | 0.0314 |
| | Rígido 14 - 20 t | V | 0.2502 | 18.5873 | 0.1286 | 0.0362 |
| | Total Veículos Pesados | | | 1.6052 | 141.3193 | 0.7242 |

FC - Consumo de combustível

Na tabela 6.6 mais à frente na página 57, estão representados os valores relativos às emissões para 3 dos principais poluentes atmosféricos, para cada categoria de veículo e o consumo de combustível em terajoule dado pelo Copert. No ano de 2018, a frota interveniente na distribuição de gás engarrafado da Bongás Energias, foi responsável pela emissão de 157.9916 toneladas de CO₂, 0.7987 toneladas de NO_x, cerca de 0.1754 toneladas de CO e pelo consumo energético simulado de 1.8297 TJ. Este consumo de combustível corresponde a 43.70 tep, valor que se aproxima bastante da realidade.

4.4 Análise Logística das Rotas

Para introduzir este capítulo, apresenta-se na figura 4.7 um resumo do ano de 2018 para cada uma das regiões analisadas a GG01 e GG03. É possível verificar a disparidade do volume de trabalho entre estas duas regiões, sendo que 75 % das vendas no ano de 2018 provêm da GG01 - Aveiro. Relativamente aos recursos disponibilizados e respetivos custos no ano de 2018, a sua distribuição obedece ao volume de trabalho existentes, ou seja, 75 % dos veículos da frota trabalham na zona de Aveiro, tal como 75 % dos quilómetros contabilizados no ano de 2018 foram realizados na GG01. Os restantes recursos estão alocados à GG03.



Figura 4.7: Comparação dos recursos entre regiões

Para iniciar a apreciação sobre a qualidade das rotas praticadas, foi primeiro necessário identificar, quais os indicadores logísticos mais representativos da situação atual, com base no tipo de informação disponibilizada. Em primeiro lugar, e devido à sua simplicidade, tem-se os quilómetros percorridos. De seguida, a empresa sugeriu a análise dos quilómetros por tonelada, ou seja quantos quilómetros são necessários percorrer para que se venda uma tonelada. Por ultimo, e após a análise detalhada dos carregamentos das viaturas, tornou-se importante referir a percentagem de carga inútil por forma a alertar para este problema, e definir valores limite por forma a minimizar ao máximo as taxas de retorno por veículo.

Tabela 4.6: Indicadores relativos à atividade anual de cada rota

| Rota | Quilómetros anuais | Ton/Ano | Ton Carregados | Ton Devolvidos | Percentagem Carga Inútil | Km/Ton |
|------|--------------------|---------|----------------|----------------|--------------------------|--------|
| B03 | 21799 | 412.02 | 661.316 | 249.29 | 37.7 | 52.91 |
| B04 | 23580 | 396.36 | 744.511 | 348.15 | 46.8 | 59.49 |
| B05 | 23300 | 267.811 | 461.568 | 193.76 | 41.9 | 87.00 |
| B06 | 34950 | 343.30 | 632.884 | 289.58 | 45.8 | 101.81 |
| B07 | 32681 | 131.86 | 199.189 | 67.33 | 33.8 | 247.85 |
| B08 | 24392 | 188.03 | 328.655 | 115.35 | 35.1 | 129.72 |
| P01 | 22168 | 225.72 | 382.479 | 156.76 | 41.0 | 98.21 |
| P02 | 14178 | 130 | 150.74 | 20.74 | 13.8 | 126.30 |
| P03 | 22875 | 181.11 | 272.73 | 91.62 | 33.6 | 129.72 |

B03 - Ílhavo/Vagos/Oliveira do Bairro/Aveiro; B04 - Estarreja/Murtosa; B05 - Aveiro; B06 - Águeda; B07 - Murtosa; B08 - Todas; P01 - Cantanhede/Tocha; P02 - Cantanhede; P03 - Mealhada;

Na tabela 4.6 é possível, através da análise dos indicadores calculados, verificar a qualidade em termos logísticos de cada rota. Estes valores permitiram identificar as rotas

com pior comportamento em termos de aproveitamento dos recursos a elas associados, dados importantes para se decidir quais as rotas a dar prioridade de reformulação.

Estes valores foram obtidos após o levantamento dos quilómetros percorridos por cada veículo no ano de 2018. Em seguida procedeu-se à contabilização dos movimentos das garrafas de gás ao longo de todo o ano, tendo sido verificadas as toneladas de garrafas carregadas diariamente, as vendidas e também aquelas que foram retornadas.

Em termos das decisões logísticas foi visível em primeiro lugar que na maior parte das ocorrências, os veículos à saída do armazém, transportam mais garrafas do que aquelas que seriam necessárias, apresentando taxas de retorno na ordem dos 40%. Estes dados foram obtidos através da análise das folhas de ocorrências feitas diariamente, onde é efetuado um levantamento da quantidade de carga à saída (início do dia) e à entrada (fim do dia). Após a recolha destes dados mensais foi calculada a média anual considerada nas simulações com o *software Copert*.

Este excesso de carga tem consequências negativas nos consumos dos veículos. No entanto torna-se difícil a anulação deste fator na sua totalidade, visto que ao longo do dia, entram na Bongás encomendas inesperadas que devem ser satisfeitas de maneira a reduzir os custos de movimentação dos veículos, pelo que não é aconselhável o abastecimento dos mesmos apenas com a carga referente às encomendas programadas.

Outra questão que também foi relatada como um possível problema, foi o número de clientes por rota. A contabilização do número de entregas nas rotas B, evidenciou esse mesmo problema apresentando valores elevados para a B03, com 176 entregas por semana e a B04 com 144.

Foi estipulado que, por forma a assegurar que as rotas não se prolonguem para além do horário laboral, as mesmas não devessem ter mais do que 25 clientes diários, pois a partir deste número, começa a ser difícil cumprir o serviço dentro das horas normais de trabalho. Desde já é visível a necessidade de alteração, pois tanto a rota B03 como a B04 têm em média 35,2 e 28,8 clientes por dia, respetivamente, que é o que se obtém ao dividir os valores representados na tabela anterior pelos vários dias da semana.

A forma mais sensata, e já utilizada pela Bongás, para avaliar cada rota, é contabilizar o número de quilómetros que são necessários percorrer para vender uma tonelada de gás engarrafado. A razão pela qual este indicador é importante, reside no facto de demonstrar o quão coesos estão os pontos de interesse das rotas, e permitem definir quais as rotas mais problemáticas.

Através da tabela 4.6 observa-se que de longe o caso mais crítico reside na rota B07, onde para se vender apenas uma tonelada, é necessário percorrer cerca de 247 quilómetros. Seguindo esta rota, identificam-se também as rotas P03, P02 e B08, estando as três num patamar idêntico, onde é necessário percorrer cerca de 130 quilómetros para se vender uma tonelada.

Por forma a arranjar valores que representem os dias da semana para cada rota, foi retirado um relatório de atividades da plataforma de monitorização de veículos. Este relatório contemplava dados relativos aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Abril. Nas tabelas que se seguem poder-se-á observar o resumo dessa atividade. A primeira tabela contém valores relativos às rotas praticadas na região de Aveiro. Para este caso, foi possível comparar os quilómetros reais com os previstos pelo *software TrackingDiary*. A segunda tabela, com as rotas de Cantanhede, já não contempla a previsão dada pelo programa de monitorização devido ao facto de após a sua utilização para otimizar as rotas de Aveiro, os resultados terem sido considerados inviáveis, após uma tentativa de

os implementar, o que descontinuou a sua utilização.

Tabela 4.7: Quilómetros previstos e percorridos nos primeiros 4 meses

| Matricula | Rota | Dia | km Previstos | km Efetuados |
|-----------|------|------------------|--------------|--------------|
| 48-XX-46 | B03 | 2 ^a f | 103.4 | 130.77 |
| | | 3 ^a f | 72.1 | 85.1 |
| | | 4 ^a f | 66.9 | 82.19 |
| | | 5 ^a f | 162.9 | 129.17 |
| 45-GJ-62 | | 6 ^a f | 80.5 | 68.97 |
| 76-XX-48 | B04 | 2 ^a f | 52 | 54.21 |
| | | 3 ^a f | 78.5 | 112.04 |
| | | 4 ^a f | 192.6 | 71.36 |
| | | 5 ^a f | 104.7 | 66 |
| | | 6 ^a f | 109.5 | 46.11 |
| 13-XX-10 | B05 | 2 ^a f | 35.6 | 56.76 |
| | | 3 ^a f | 53.4 | 58.65 |
| | | 4 ^a f | 97.5 | 69.12 |
| | | 5 ^a f | 162.9 | 71.9 |
| | | 6 ^a f | 119.3 | 53.33 |
| 38-XX-00 | B06 | 2 ^a f | 108.1 | 117.2 |
| | | 3 ^a f | 126.3 | 127.7 |
| | | 4 ^a f | 101.3 | 128.4 |
| | | 5 ^a f | 87.8 | 113.842 |
| | | 6 ^a f | 119.3 | 118.8 |

Os desvios entre os quilómetros previstos e os efetuados na tabela 4.7, podem facilmente ser justificados através da introdução de pontos de passagem em clientes com encomendas não programadas. Outros aspetos verificados, foi também a liberdade do colaborador por vezes decidir e alterar a ordem de passagem, ou por encontrar pontos indisponíveis para receber a encomenda sem aviso prévio. Relativamente aos relatórios de atividade retirados da plataforma de monitorização dos veículos, verificou-se que, pelo facto dos colaboradores usarem as viaturas fora das rotas planeadas, estas deslocações estavam também incluídas nestes relatórios de atividades, o que se demonstrou um entrave na validação dos resultados. Para atenuar este factor, os relatórios que foram retirados apenas incluíam as deslocações efetuadas entre as 8 horas e 30 minutos, e as 18 horas e 30 minutos. Apesar de se ter melhorado os resultados, verificou-se ainda assim alguns desvios excessivos pela simples razão de que as horas de início e término das atividades, não serem constantes para o mesmo veículo e também entre os vários veículos.

Na tabela 4.8, à semelhança do que foi feito na tabela 4.7, foram também retirados do relatório de atividades, uma média diária dos quilómetros efetuados por viatura. Neste caso não foi feita a comparação com a previsão, pois a utilização do programa de monitorização, para este efeito, foi abandonada na altura pois os resultados obtidos não eram representativos da realidade, ou seja, os percursos indicados pelo otimizador não eram viáveis.

Tabela 4.8: Quilómetros efetuados nos primeiros 4 meses

| Matrícula | Rota | Dia | km Efetuados |
|-----------|------|------------------|--------------|
| 25-XX-05 | P01 | 2 ^a f | 84.1 |
| | | 3 ^a f | 62.2 |
| | | 4 ^a f | 77.92 |
| | | 5 ^a f | 78.73 |
| | | 6 ^a f | 71.11 |
| 51-XX-38 | P02 | 2 ^a f | 83 |
| | | 3 ^a f | 69.2 |
| | | 4 ^a f | 83.3 |
| | | 5 ^a f | 81.60 |
| | | 6 ^a f | 93.66 |
| 04-03-XX | P03 | 2 ^a f | 50.8 |
| | | 3 ^a f | 59 |
| | | 4 ^a f | 61.6 |
| | | 5 ^a f | 58.2 |
| | | 6 ^a f | 64.2 |

5. Cenários e medidas propostas

As medidas que foram propostas à Bongás atuam em três áreas distintas:

- Rota
 - Limitar cada rota a cerca de 25 clientes (questões de tempo);
 - Redefinir as zonas de atuação de cada rota;
 - Atualizar os pontos de cada rota conforme a zona de atuação;
 - Implementar a utilização de Otimizador de Rotas.
 - * Simulação para a situação pré integração de Anadia;
 - * Simulação após a integração de Anadia.
- Frota
 - Abate e substituição das viaturas mais antigas;
 - Abate e substituição das viaturas mais consumidoras;
 - Substituição de viaturas com capacidade inadequada.
- Carga
 - Redução da carga inútil/taxa de retorno.

Para este ponto, foi efetuada uma análise de sensibilidade da carga transportada para contabilizar as alterações nos consumos dos veículos, fazendo esta alteração. Os valores testados, conforme explicado no capítulo 5.3, provêm da tabela 4.6 relativos à percentagem de carga inútil.

- Promoção e incentivos para a eco-condução
 - Utilização de dispositivos para a avaliação da condução.

Neste capítulo vai ser explicada a metodologia utilizada para se proceder à avaliação das medidas propostas. Os resultados provenientes destas alterações serão apresentados ao longo do capítulo 6.

5.1 Otimização das Rotas

Com vista à otimização dos KPI's, *Key Performance Indicator's*, das rotas representados na tabela 4.6, foi elaborado um trabalho que constou na reformulação tanto nas áreas geográficas de atuação correspondentes a cada rota, como na limitação dos pontos de interesse inerentes a cada dia da semana, para cada rota.

Na figura 4.2 tal como nas figuras 5.1a e 5.1b, estão representadas no mapa, as diferentes regiões de atuação das rotas.

Para que fosse possível cumprir a limitação de 25 pontos por rota, foi necessária a criação de duas novas rotas, a B02 e a P04, por forma a retirar a sobrecarga observada nas rotas iniciais.

Tendo estabelecido as diferentes regiões, foi necessário introduzir todos os pontos de interesse no *software Google Earth Pro*, tendo sido para isso, necessário fazer a georreferenciação dos mesmos. Para isto, foi utilizada uma folha de cálculo do Google Forms, onde através da introdução das informações das moradas na folha de cálculo, o mesmo devolvia as coordenadas geográficas de cada ponto. Ao longo deste processo, foram encontrados vários entraves, tal como moradas incompletas e campos vazios o que tornou o processo mais demorado e manual, tendo sido necessária a confirmação de cada ponto.

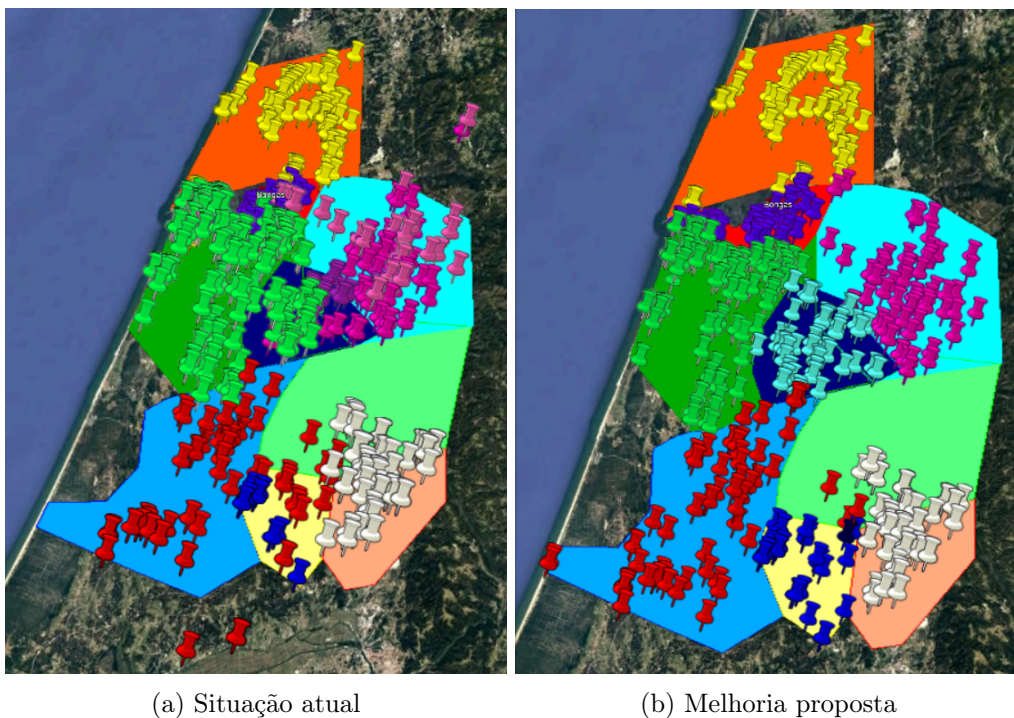


Figura 5.1: Disposição dos pontos antes e após as alterações

Após esta primeira etapa, obteve-se o panorama demonstrado na figura 5.1a.

Com a análise da disposição inicial dos POI's ou pontos de interesse, que representam cada cliente, verificou-se a existência de vários erros de georreferenciação, derivados a moradas de faturação erradas ou mesmo devido aos já referidos erros. Apesar de ter já sido feito um levantamento das coordenadas geográficas logo no início do estágio, esses pontos estavam já na altura desatualizados. Isto voltou-se a repetir uma vez mais, devido ao facto da constante entrada de novos clientes no sistema e de várias atualizações dos códigos dos mesmos, o que impossibilitava a sua localização sem antes existir um cruzamento de dados para o caso dos clientes cujo código tenha sido alterado. Isto causou um atraso excessivo na correta obtenção da localização dos clientes, o que fez adiar por várias vezes a otimização das rotas.

Tendo a reestruturação das rotas validadas pelos responsáveis, procedeu-se à otimização das mesmas e analisou-se a poupança obtida em quilómetros que esta permitiria.

É importante referir que o tipo de negócio que é a distribuição de gás, não permite com toda a certeza verificar se as medidas implementadas garantem ou não uma poupança, isto porque no período que decorreu desde o início do trabalho até ao momento da otimização, o número de clientes e também as áreas de atuação da Bongás sofreram alterações significativas, sendo que o número de pontos de interesse aumentou. Com isto, o facto de não se verificar uma redução do número de quilómetros por rota, não significa que a mesma não seja agora mais viável.

Posto isto, e com o propósito de quantificar as vantagens que advêm da utilização de um otimizador de rotas, foram efetuadas simulações utilizando uma plataforma online designada por *Routyn*.

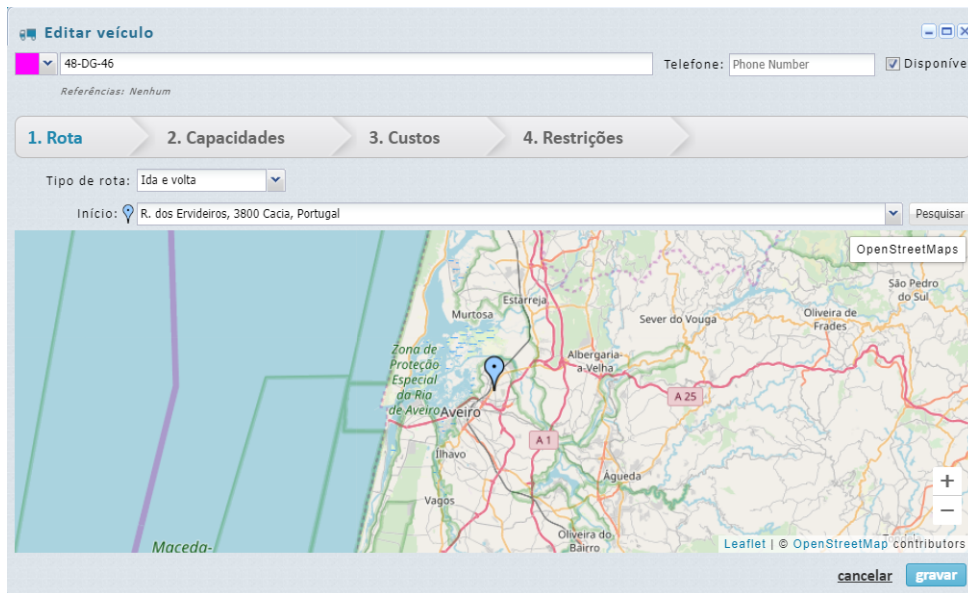
Antes mesmo da utilização deste programa, já haviam sido feitas otimizações com um programa na posse da Bongás, no entanto o mesmo foi considerado pouco fiável após a tentativa de implementar as rotas otimizadas em ambiente real. Para além desta lacuna, este *software* não se adequa aos requisitos da atividade para o qual está direcionado, isto pelo facto de não ter em conta variáveis cruciais, tais como a capacidade dos veículos, o tempo de atividade e as janelas temporais entre as quais os clientes têm disponibilidade de receber as encomendas.

Para a utilização do *software Routyn*, foi necessário proceder à sua prévia configuração, cujos passos vitais serão demonstrados aqui, de seguida.

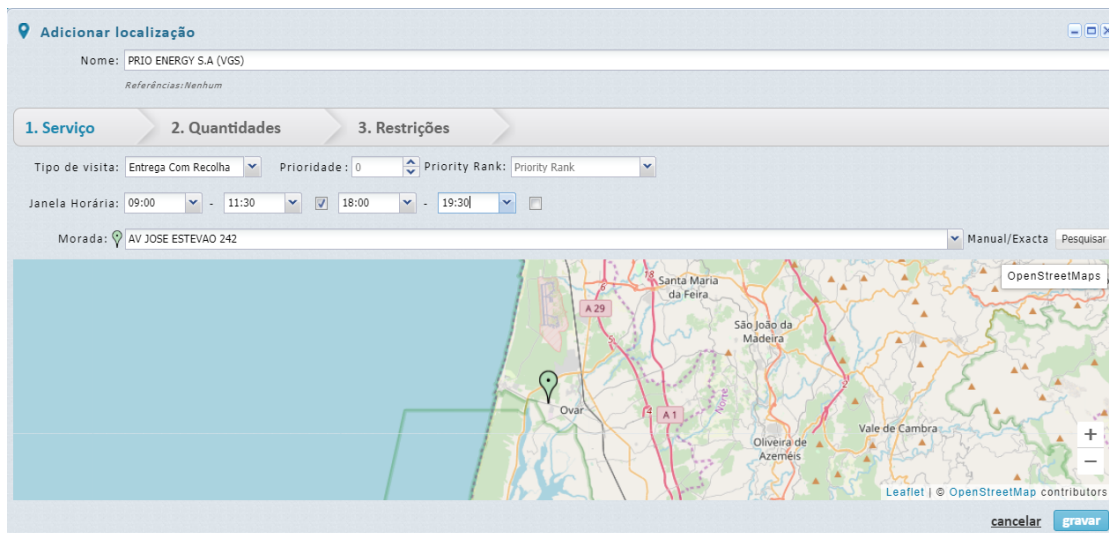
5.1.1 Implementação da Plataforma Routyn

Contrariamente à plataforma de monitorização dos veículos, *TrackingDiary*, a função do *Routyn* cinge-se à otimização das rotas. Este programa é muito importante pois tem em conta fatores vitais que permitem a validação das rotas, entre os quais estão a capacidade de carga dos veículos, as janelas temporais de cada cliente e o número de horas de trabalho.

O primeiro passo para utilizar este programa foi criar e definir as características dos veículos alocados à frota, introduzindo a informação como a capacidade do veículo, os custos por quilómetro do mesmo obtido no início dos trabalhos, e a localização do armazém a que está associado e que será considerado como ponto inicial e final de cada rota.



(a) Configuração dos veículos



(b) Configuração dos POI's

Figura 5.2: Configuração do otimizador *Routyn*

O que se poderá configurar em cada menu da figura 5.2a está apresentado de seguida:

1. Rota

- Matrícula do veículo;
- Tipo de rota (Ida e volta, Rota aberta, Destino específico);
- Local inicial (Armazém).

2. Capacidades

- Definição da capacidade da viatura.

3. Custos

- Custo do veículo por dia;
- Custo do veículo por km;
- Matrizes de custos.

4. Restrições

- Horário de trabalho;
- Paragens;
- Períodos para almoço e duração;
- Zonas de atividade (*Tags*)

Em seguida foram importadas numa folha de excel as rotas que foram sendo criadas e atualizadas ao longo do estágio. Esta folha continha todos os dados referentes a cada cliente, sendo eles a quantidade de carga encomendada, todas as informações referentes à morada do ponto de visita tal como, a morada, o concelho, o código postal, as coordenadas geográficas e por fim o intervalo horário de passagem no cliente caso este o exigisse. Nos menus da figura 5.2b encontram-se as configurações que se seguem.

1. Serviço

- Nome e Morada;
- Tipo de visita (Entrega, Entrega e Recolha, Recolha);
- Prioridade;
- Janela Horária.

2. Quantidades

- Volume de encomendas;
- Quantidades de retorno.

3. Restrições

- Duração do Serviço;
- Tempo de carregamento e descarregamento.

Reunidas as condições anteriores, resta apenas simular e retirar o ficheiro das rotas atualizadas. Este ficheiro vem em formato PDF e contém a ordem de passagem para os vários clientes, bem como toda a informação necessária relativa à entrega, entre as quais está a carga exata com que deverá ser carregado o veículo, tendo em conta os pedidos.

5.2 Substituição de Veículos

Tendo em conta o cruzamento de dados apresentados nas tabelas 3.1 e 4.1, foi sugerido o abate e substituição entre 3 a 4 veículos.

Para esta decisão foram consideradas 3 variáveis: a idade do veículo, o seu consumo em l/ton*km e por último os gastos em manutenção no ano de 2018.

Após a análise individual de cada veículo, foram escolhidos aqueles que se consideraram mais penalizadores para a empresa.

Foram propostos e analisados dois cenários. No primeiro, foi considerada a substituição de uma percentagem da frota que não ultrapassasse a ordem dos 30%, isto porque, para que isso acontecesse, estariam a ser eliminados veículos cuja norma Euro é ainda recente e com uma prestação aceitável. No entanto, a empresa demonstrou a intenção de, em 3 anos, reformular toda a frota da distribuição de gás, contando já com a mais recente reestruturação logística da empresa com a integração de Anadia. Com isto, o segundo cenário teve em conta esta perspetiva, escolhendo fazer a substituição de um número considerável de viaturas, para perceber as poupanças que as mesmas poderão trazer. Aproveitando esta situação, surgiu a oportunidade de testar a utilização de veículos mais pequenos, podendo então posteriormente fazer-se a comparação entre os dois cenários propostos e o cenário atual.

Em ambos os cenários, e à semelhança dos veículos já utilizados, as viaturas de substituição são também todas elas movidas a Diesel.

5.2.1 Cenário I

Neste cenário, o primeiro veículo cuja substituição foi considerada, trata-se do veículo com a matrícula 04-03-UV, pois para além de apresentar cerca de 330,000 km's, pertence à EURO 3 que é já uma norma obsoleta no que diz respeito aos valores de emissões e consumos de combustível.

Em seguida, e pelo facto de os restantes veículos pertencerem a normas Euro já aceitáveis, foram observados os veículos com mais quilómetros realizados e cujos custos em circulação se apresentam superiores à média da frota. Assim se destacou a viatura 38-EZ-00, com 422,360 km e com um custo de 0.489 €/km.

Para além destas duas, também houve a necessidade de retirar a viatura de 16 toneladas da frota, visto que, pela análise dos dados referentes à carga transportada pela mesma, se verificou que este veículo pesado estava sobre-dimensionado, e que portanto a sua substituição por um veículo mais pequeno, traria maiores poupanças.

Tabela 5.1: Veículos para substituição

| Veículo | Substituído por: | Combustível |
|----------|-----------------------------------------|-------------|
| 04-03-XX | N1 - III, Euro 6 2018 - 2020 3.5 ton | Diesel |
| 38-XX-00 | Rígido 12 ton, Euro IV | |
| 45-XX-62 | Rígido 12 ton, Euro IV | |

Através de dados cedidos pela Bongás e outros obtidos juntos dos próprios fabricantes, apresenta-se em seguida o plano de investimento para as viaturas em causa.

Tabela 5.2: Características dos veículos de substituição

| Marca | Modelo | Capacidade (ton) | Custo de aquisição € |
|-------|---------------|---------------------|-------------------------|
| DAF | LF 230 FA | 12 | 59,192.5 |
| Isuzu | NPR 150.75/3 | 7.5 | 35,067.35 |
| Isuzu | NLR 120.35/25 | 3.5 | 25,839 |

Os valores apresentados na tabela anterior referentes ao custo de aquisição das viaturas, inclui já a normalização da carroçaria e plataforma segundo as normas referentes ao documento ADR.

Posto isto, serão necessários investir cerca de 129,327.2 € para a requalificação da frota neste cenário.

5.2.2 Cenário II

Como já explicado, este cenário servirá como uma base do investimento pretendido pela Bongás. As viaturas escolhidas são aquelas que independentemente do novo modelo de negócio da empresa, seriam, mais cedo ou mais tarde, substituídas. Uma das principais orientações para este cenário foi a redução ao máximo do peso bruto das viaturas. Para isto, foi analisado ao pormenor as cargas transportadas em cada viatura e também a percentagem de carga inútil, para que assim se pudesse averiguar uma possível substituição por veículos mais pequenos sem que tal afetasse o cumprimento e distribuição das encomendas.

Tendo analisado as tabelas 3.1 e a 1 apresentada nos Anexos, foram escolhidas 5 viaturas com valores obsoletos de carga útil para substituir. A tabela 5.3 demonstra os veículos escolhidos e a carga útil em excesso ou em falta.

Tabela 5.3: Veículos para substituição

| Veículo | Caraterísticas: | Carga útil (ton) | Carga máxima (ton) | Carga média (ton) |
|----------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 04-03-XX | N1 - III, Euro 3 3.5 ton | 0.945 | 1.60 | 0.97 |
| 48-XX-46 | Rígido 12 ton, Euro IV | 7.04 | 2.27 | 1.64 |
| 38-XX-00 | Rígido 12 ton, Euro IV | 6.94 | 2.10 | 1.87 |
| 76-XX-48 | Rígido 12 ton, Euro IV | 6.94 | 2.88 | 1.27 |
| 45-XX-62 | Rígido 16 ton, Euro V | 9.75 | 3.04 | 2.50 |

Com os dados da tabela anterior, é visível que os veículos representados, se encontram inadequados para as atividades que executam. As últimas três colunas, têm como objetivo demonstrar a quantidade de carga útil de cada veículo que não está a ser utilizada, ou no caso do veículo de 3.5 toneladas, o excesso de carga com que o mesmo circula, algo que não deve acontecer tanto por razões legais, sujeitando-se a multas, mas principalmente por razões de segurança.

Com isto, foram propostas as alterações dos veículos de 12 e 16 toneladas, por veículos de 7.5 toneladas e a de 3.5 toneladas por uma de 5 toneladas que, segundo o que pôde ser

observado na tabela 5.4, têm capacidade suficiente para transportar as cargas necessárias.

Tabela 5.4: Características dos veículos de substituição EURO VI

| Marca | Modelo | Peso Bruto (ton) | Carga útil (ton) | Peso da Carroceira (Kg) | Custo de aquisição € |
|-------|---------------|---------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| Isuzu | NLR 150.55/34 | 5.5 | 3.21 | 700 - 750 | 33,210.00 |
| Isuzu | NMR 150.75/38 | 7.5 | 4.845 | 800 - 850 | 35,067.35 |

Os valores obtidos para o peso da carroceira foram obtidos diretamente junto do fabricante. O seu acréscimo não está contemplado na carga útil das fichas técnicas de cada veículo, logo é necessário ter em conta este parâmetro na escolha dos veículos, pois a sua adição poderá inviabilizar a viatura.

Para a execução deste cenário, será então necessário adquirir três viaturas de 7.5 toneladas e uma de 5.5 toneladas. Tudo isto com um custo total de 138,412.05 €.

5.3 Análise à sensibilidade da carga

Um dos aspetos a ter em conta, é a diminuição da carga transportada por cada veículo. Como pôde ser observado na tabela 4.6, as percentagem de carga inútil na maioria das viaturas era superior aquela considerada adequada. Devido ao facto do volume de encomendas da empresa se apresentar como um fator difícil de prever diariamente, foi feita uma análise de sensibilidade com o fim de perceber a sua influência nos custos de movimentação de cada categoria de veículo.

Para isto recorreu-se uma vez mais ao *software* Copert, onde para cada categoria de veículo considerado, se efetuaram simulações para três percentagens de carga diferentes, (0%, 50% e 100%). Primeiramente foram utilizados intervalos mais curtos, 10%. No entanto a sensibilidade do software demonstrou-se bastante limitada, o que dificultou o estudo no âmbito da redução da carga.

Para averiguar a influência da percentagem de carga para cada uma das categorias de veículo, foram mantidos todos os parâmetros definidos inicialmente. Parâmetros como a percentagem de circulação nos vários meios e as velocidades de circulação, foram mantidos inalterados. Já a percentagem de carga e os quilómetros percorridos foram alterados. As simulações foram efetuadas para uma percentagem de carga de 0%, 50% e 100%, tendo sido escolhida uma atividade média de 10,000 quilómetros anuais transversal a toda a frota, para se conseguir obter valores significativos de consumos e emissões, mas também para que se possam comparar os resultados entre as várias categorias.

Os gráficos que se seguem, demonstram a evolução dos consumos com o aumento de carga para cada categoria de peso.

A figura 5.3 representa os resultados obtidos para a categoria de veículos de 7,5 toneladas. Após a obtenção dos pontos, foi feita uma regressão linear para se obter a equação das retas e fazer o cálculo das poupanças, segundo as percentagens pretendidas.

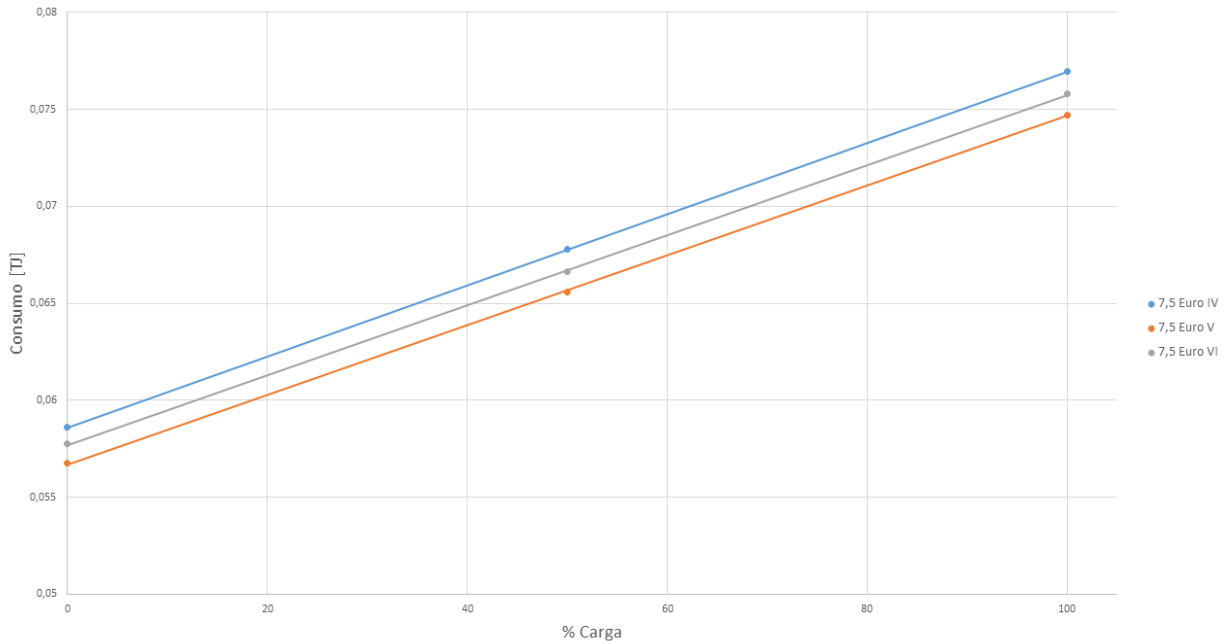


Figura 5.3: Simulação para a categoria 7,5 toneladas

As equações das retas anteriores são as seguintes:

$$\text{Consumo} = 0.0002 \cdot \text{carga} + 0.0586, \quad 7.5 \text{ ton EuroIV} \quad (5.1)$$

$$\text{Consumo} = 0.0002 \cdot \text{carga} + 0.0567, \quad 7.5 \text{ ton EuroV} \quad (5.2)$$

$$\text{Consumo} = 0.0002 \cdot \text{carga} + 0.0577, \quad 7.5 \text{ ton EuroVI} \quad (5.3)$$

Onde o consumo de combustível está expresso em terajoule e considera uma circulação de 10,000 km para cada viatura. A "carga" é a percentagem de carga a transportar.

O mesmo procedimento foi feito para averiguar os efeitos nas emissões de CO_2 , tendo resultado nas equações que se seguem:

$$[CO_2] = 0.0136 \cdot \text{carga} + 4.3506, \quad 7.5 \text{ ton EuroIV} \quad (5.4)$$

$$[CO_2] = 0.0133 \cdot \text{carga} + 4.2125, \quad 7.5 \text{ ton EuroV} \quad (5.5)$$

$$[CO_2] = 0.0134 \cdot \text{carga} + 4.2869, \quad 7.5 \text{ ton EuroVI} \quad (5.6)$$

Onde CO_2 é a quantidade emitida do mesmo, em toneladas, e x a percentagem de carga.

Na figura 5.4 estão demonstrados os resultados que provêm das simulações para os veículos das categorias 12 e 16 toneladas. Foi aplicada a mesma metodologia das simulações apresentadas anteriormente, onde novamente se verificou a limitação do software no que diz respeito à sensibilidade.

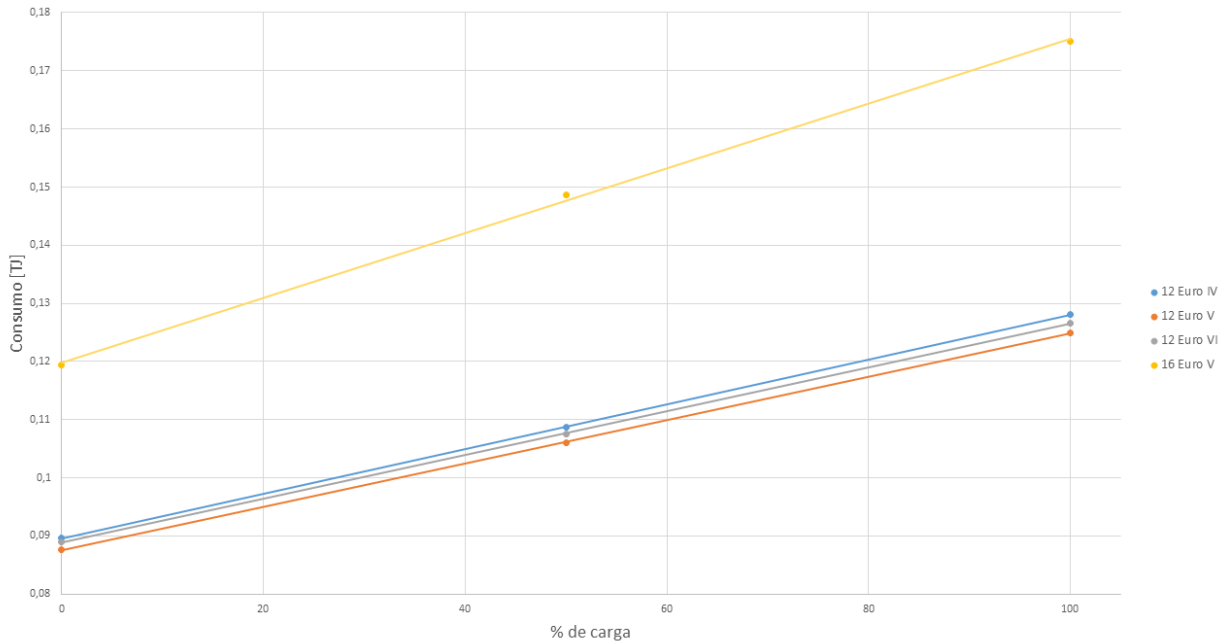


Figura 5.4: Simulação para a categoria de 12 e 16 toneladas

Em seguida demonstram-se as respetivas equações das retas:

$$\text{Consumo} = 0.0004 \cdot \text{carga} + 0.0896, \quad 12 \text{ ton EuroIV} \quad (5.7)$$

$$\text{Consumo} = 0.0004 \cdot \text{carga} + 0.0876, \quad 12 \text{ ton EuroV} \quad (5.8)$$

$$\text{Consumo} = 0.0004 \cdot \text{carga} + 0.0890, \quad 12 \text{ ton EuroVI} \quad (5.9)$$

$$\text{Consumo} = 0.0006 \cdot \text{carga} + 0.1198, \quad 16 \text{ ton EuroVI} \quad (5.10)$$

Onde o consumo de combustível está expresso em terajoule e "carga" é a percentagem de carga a transportar.

Para este caso, as equações relativas à emissão de CO_2 são as seguintes:

$$[CO_2] = 0.0287 \cdot \text{carga} + 6.8116, \quad 12 \text{ ton EuroIV} \quad (5.11)$$

$$[CO_2] = 0.0279 \cdot \text{carga} + 6.6657, \quad 12 \text{ ton EuroV} \quad (5.12)$$

$$[CO_2] = 0.0281 \cdot \text{carga} + 6.7684, \quad 12 \text{ ton EuroVI} \quad (5.13)$$

$$[CO_2] = 0.0417 \cdot \text{carga} + 9.2123, \quad 16 \text{ ton EuroV} \quad (5.14)$$

Com isto, reúnem-se agora as condições necessárias para calcular as poupanças estimadas com a redução na quantidade de carga transportada por tipologia de veículo.

No que diz respeito aos veículos ligeiros de mercadorias, as viaturas de 3.5 toneladas, o Copert não considera para as suas simulações a percentagem de carga transportada por estes veículos, o que neste caso, se demonstrou um limitação que impediu uma análise à sensibilidade da carga.

5.4 Incentivos à eco-condução

Por forma a tirar partido do software já adquirido pela Bongás, a aplicação de acelerómetros implementados na centralina dos veículos, permite avaliar o nível da eco-condução de cada veículo/colaborador. Medidas como estas, aliadas a formações que permitam fazer ver aos trabalhadores a importância de uma condução económica e mais cuidada permitem, sem dúvida alguma, reduzir os gastos em combustível, mas também ajudam em larga escala à preservação de vários componentes das viaturas, tais como pneus e pastilhas de travões. Estas últimas peças dos veículos são alguns dos exemplos de componentes bastante penalizados, aquando uma condução agressiva e imprudente.

Relativamente aos incentivos, que irão certamente ajudar os colaboradores em termos de motivação, o valor dos mesmos deverá ser estipulado consoante o número de prémios que a empresa queira entregar, dependendo também das poupanças que este tipo de condução poderá trazer. No capítulo dos resultados estará indicado um possível intervalo de poupança com a implementação desta medida.

6. Resultados

Em seguida vão ser apresentados e discutidos todos os resultados obtidos relativos aos cenários propostos no capítulo anterior.

6.1 Otimização das Rotas

Os resultados apresentados são relativos às rotas utilizadas antes da reestruturação, tendo sido utilizados como referência os meses de Fevereiro, Março e Abril de 2019, contendo os clientes que naquela altura usufruíam dos serviços da Bongás. O intervalo considerado de 3 meses foi escolhido pelo facto de ter sido o único período para o qual foram fornecidos os dados necessários para a análise.

Na tabela 6.1, estão demonstrados os resultados das rotas antes e depois da otimização, permitindo averiguar o quão importante é a utilização de um programa de otimização de rotas para esta área de negócio.

Tabela 6.1: Resultados da Otimização B

| Rota | Dia | Quilómetros iniciais | Otimização (km) | Variação % |
|------|----------------|----------------------|-----------------|------------|
| B03 | 2 ^a | 103.4 | 75.43 | -27.05 |
| | 3 ^a | 85.1 | 69.5 | -18.3 |
| | 4 ^a | 82.19 | 58.67 | -28.6 |
| | 5 ^a | 129.17 | 91.16 | -29.4 |
| | 6 ^a | 80.5 | 74.7 | -7.2 |
| B04 | 2 ^a | 52 | 61.04 | -17.1 |
| | 3 ^a | 78.5 | 68.12 | -14.3 |
| | 4 ^a | 87.43 | 153.59 | +34.35 |
| | 5 ^a | 102.4 | 93.13 | -8.9 |
| | 6 ^a | 46.11 | 88.2 | +38.4 |
| B05 | 2 ^a | 56.76 | 39.32 | -10.75 |
| | 3 ^a | 58.65 | 36.24 | -38.21 |
| | 4 ^a | 69.12 | 42.9 | -37.93 |
| | 5 ^a | 65.83 | 48.43 | -26.43 |
| | 6 ^a | 53.33 | 46.55 | -5.68 |
| B06 | 2 ^a | 117.16 | 125.51 | +7.127 |
| | 3 ^a | 127.65 | 101.49 | -20.5 |
| | 4 ^a | 128.4 | 106.98 | -16.68 |
| | 5 ^a | 113.8 | 72.32 | -36.45 |
| | 6 ^a | 118.8 | 128 | -7.74 |

No levantamento dos quilómetros efetuados diariamente, foram eliminadas amostras que não representavam a realidade. Por vezes verificou-se a presença de valores muito inferiores à média esperada, e outros onde o número de quilómetros era muito superior ao esperado.

No que diz respeito aos resultados da otimização das rotas relativas à zona de Aveiro, B03 até B06, inicialmente contavam-se cerca de 1791.10 quilómetros por semana. Após a otimização, os mesmos reduziram para 1581.30 quilómetros. Isto representa uma redução de cerca de 11.7%.

Na tabela 6.4, estão os valores resultantes da otimização, individualizando cada rota. Os resultados das poupanças monetárias foram analisados por rota a nível individual, isto porque cada rota tem um veículo associado, e os mesmos têm custos de movimentação diferentes.

Tabela 6.2: Poupanças por rota B

| Rota | Variação % | Poupança Litros | Poupança km |
|------|------------|-----------------|-------------|
| B03 | -25.54 | 1745.4 | 6590.5 |
| B04 | +20.41 | -1244.5 | -4090 |
| B05 | -29.71 | 1449.5 | 4693 |
| B06 | -11.80 | 1031.2 | 3718.5 |

Em termos monetários a otimização das rotas B, permitirá obter poupanças anuais na ordem dos 3049.8 € se as condições de operação de cada rota se mantiverem conforme o verificado durante os trabalhos, ou seja, se as rotas se mantiverem idênticas e forem efetuadas pelos mesmos veículos. Na rota B04 como indicam os valores negativos, verificou-se um aumento do número de quilómetros logo, um aumento no consumo de combustível.

Nas tabelas que se seguem, vão ser verificados os valores referentes à otimização das rotas relativas à zona de Cantanhede, P01, P02 e P03.

Tabela 6.3: Resultados da Otimização P

| Rota | Dia | Início | Otimização | Variação% |
|------|----------------|--------|------------|-----------|
| P01 | 2 ^a | 84.1 | 87.9 | +4.5 |
| | 3 ^a | 62.2 | 57.9 | -6.9 |
| | 4 ^a | 77.9 | 77.2 | -0.8 |
| | 5 ^a | 78.7 | 77.1 | -2.0 |
| | 6 ^a | 71.1 | 64.82 | -8.8 |
| P02 | 2 ^a | 83 | 58.4 | 29.6 |
| | 3 ^a | 69.2 | 47.92 | -30.8 |
| | 4 ^a | 83.3 | 52.71 | -36.7 |
| | 5 ^a | 78.7 | 58.02 | -26.3 |
| | 6 ^a | 93.6 | 60.21 | -35.7 |
| P03 | 2 ^a | 50.84 | 53.71 | +5.6 |
| | 3 ^a | 59.07 | 55.71 | -5.9 |
| | 4 ^a | 61.64 | 62.74 | +1.7 |
| | 5 ^a | 58.23 | 54.77 | -5.9 |
| | 6 ^a | 64.18 | 53.7 | -16.3 |

Uma vez mais, os valores negativos, representam rotas onde se verificou um aumento de quilómetros após a otimização.

Tabela 6.4: Poupanças por rota P

| Rota | Variação % | Poupança Litros | Poupança km |
|------|------------|-----------------|-------------|
| P01 | -2.83 | 138 | 627.35 |
| P02 | -31.8 | 698 | 4395 |
| P03 | -4.11 | 179 | 1339.93 |

Em termos monetários a otimização das rotas P, permitirá obter poupanças na ordem dos 1160.5€ se as condições de operação de cada rota se mantiverem conforme o verificado durante os trabalhos, ou seja, se as rotas se mantiverem idênticas e forem efetuadas pelos mesmos veículos.

No somatório de ambas as regiões, a otimização trará uma redução de 17,273.3 quilómetros, 3996.2 litros de combustível, com uma poupança associada de 4210.3€ anuais. O consumo energético irá baixar 3.43 tep e as emissões de CO_2 11.46 ton. O investimento necessário na compra do programa de otimização é de 15,000€, pelo que o retorno do investimento se dará em 3.6 anos.

6.2 Abate e substituição dos veículos

As poupanças referentes aos cenários propostos na substituição dos veículos serão aqui apresentadas. Para isto, foram feitas simulações no Copert, com o objetivo de verificar quais as poupanças registadas.

Para se perceber como foi feito o cálculo das poupanças, será feita uma pequena explicação em seguida.

Os resultados obtidos na simulação que representa a situação inicial, não representam com exatidão os valores retirados da informação cedida pela empresa. Portanto os valores relacionados com as poupanças foram primeiro obtidos comparando as simulações da situação inicial e as simulações dos cenários pretendidos, obtendo a percentagem em poupanças. Só depois, já com o valor calculado, se aplicou o mesmo ao caso real.

6.2.1 Cenário I

Comparativamente à simulação que diz respeito ao cenário atual da empresa, para o caso aqui proposto a única alteração feita diz respeito aos veículos em circulação, mantendo a categoria e alterando a norma Euro para a mais recente, tal como descrito na tabela anteriormente.

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 6.5:

Tabela 6.5: Emissões e consumos da frota no cenário I

| Categoria | Segmento | Euro | FC (MJ) | CO ₂ (ton) | NOx (ton) | CO (Kg) |
|-------------------------|-----------------|-------------|---------|-----------------------|-----------|---------|
| Veículos Ligeiros | N1 - III | 5 | 45.0 | 3.3408 | 0.0176 | 0.0018 |
| | | 6 até 2017 | 103.7 | 7.7008 | 0.0328 | 0.0042 |
| | | 6 até 18-20 | 72.6 | 5.3902 | 0.0120 | 0.0029 |
| Total Veículos Ligeiros | | | 221.2 | 16.4318 | 0.0624 | 0.0089 |
| Veículos Pesados | Rígido <= 7,5 t | IV | 367.0 | 27.2621 | 0.1535 | 7.52 |
| | | V | 78.3 | 5.816 | 0.0303 | 3.21 |
| | Rígido 12 - 14t | IV | 355.2 | 26.3845 | 0.1603 | 8.43 |
| | | V | 221.7 | 16.4691 | 0.1013 | 7.95 |
| | | VI | 515.2 | 38.2699 | 0.0171 | 2.32 |
| Total Veículos Pesados | | | 1537.4 | 114.2016 | 0.4625 | 29.43 |

Nota: FC - Consumo de combustível

Comparativamente às simulações efetuadas para o cenário inicial encontrado na Bon-gás, os resultados da simulação do presente cenário correspondem a uma redução de consumo energético de 1.17 tep, o que se traduz numa decréscimo no consumo de combustível de cerca de 1370.47 litros com um valor de poupança de 1576.31€. Relativamente à emissões de CO₂, emitem-se menos 27.36 toneladas do que no cenário inicial.

Sendo que foram investidos 129,372.2 € e se poupam anualmente cerca de 1567.31€, o payback calculado ronda os 82 anos o que é excessivo e bastante desadequado.

6.2.2 Cenário II

Este cenário é, em termos de resultados, o mais relevante. Nestas simulações foram de encontro às perspetivas futuras da empresa em renovar toda a frota alocada à distribuição do gás em garrafa. Com isto, e comparativamente ao cenário anterior, foi-se mais longe, tendo dado prioridade à substituição dos veículos por outros cuja categoria se adequa-se mais ao trabalho realizado. Devido a este facto, foi necessário fazer os acertos para a simulação relativamente à carga transportada dos novos veículos.

Na tabela que se segue encontram-se os resultados das simulações.

Tabela 6.6: Emissões da frota para o cenário II

| Categoria | Segmento | Euro | FC (MJ) | CO ₂ (ton) | NOx (ton) | CO (Kg) |
|-------------------------|------------------|------------|---------|-----------------------|-----------|---------|
| Veículos Ligeiros | N1 - III | 5 | 45.0 | 3.3408 | 0.0176 | 0.0058 |
| | | 6 até 2017 | 103.7 | 7.7008 | 0.0328 | 0.0135 |
| Total Veículos Ligeiros | | | 148.6 | 11.0416 | 0.0505 | 0.0194 |
| Veículos Pesados | Rígido <= 7,5 t | IV | 367 | 27.2621 | 0.1535 | 27.5231 |
| | | V | 78.3 | 5.8160 | 0.0303 | 10.7888 |
| | | VI | 602.0 | 44.7201 | 0.0282 | 11.5092 |
| | Rígido 12 - 14 t | V | 292.0 | 21.6941 | 0.1054 | 40.6518 |
| Total Veículos Pesados | | | 1339.4 | 99.4923 | 0.3174 | 90.4730 |

Os resultados da simulação do presente cenário correspondem a uma redução de consumo energético de 8.16 tep, o que se traduz numa decréscimo no consumo de combustível de cerca de 9518.10 litros com um valor de poupança de 10885.19€. Relativamente às emissões de CO_2 , emitem-se menos 47.46 toneladas do que no cenário inicial.

Com um investimento total de 138,412.05€ e uma poupança anual de cerca de 10885.19€, o payback associado será de 12 anos.

É necessário ter em atenção que para ambas as simulações onde se consideram a substituição de veículos, o software não considera o desgaste das viaturas usadas. Com isto, estes retornos de investimento poder-se-ão dar um pouco mais cedo.

6.3 Redução da Carga

Após a análise de sensibilidade da carga, foram calculadas as possíveis poupanças com as reduções de peso em cada veículo. De notar que os valores obtidos através dos gráficos 5.3 e 5.4 contemplam apenas uma atividade média de 10,000 quilómetros, sendo ainda necessário calculá-las para a atividade real de cada veículo.

Na tabela 4.6, encontram-se os valores relativos à percentagem de carga em excesso presente em cada viatura. Para se calcularem as possíveis poupanças com a redução deste fator, o mesmo foi feito reduzindo a percentagem até a um mínimo de 15 %, objetivo estipulado e explicado pela necessidade de responder a pedidos de encomendas tardios. Com isto, a tabela seguinte demonstra, para cada veículo, a sua redução de carga e as consequências dessa redução nos consumos e emissões de CO_2 .

Poupanças por veículo na redução de carga

| Veículo | Redução de carga % | Redução Consumo (GJ) | Redução Litros | Poupança € | Redução CO_2 (ton) |
|----------|--------------------|----------------------|----------------|------------|----------------------|
| 45-XX-62 | 11.7 | 13.424 | 373.9 | 427.62 | 0.93 |
| 76-XX-48 | 20.0 | 18.864 | 525.5 | 600.93 | 1.31 |
| 13-XX-10 | 18.4 | 8.574 | 238.8 | 273.15 | 0.58 |
| 38-XX-00 | 13.0 | 18.174 | 506.24 | 578.95 | 1.30 |
| 12-XX-88 | 14.23 | 9.926 | 276.485 | 316.20 | 0.47 |
| 25-XX-05 | 20.7 | 4.925 | 137.208 | 156.92 | 0.33 |

A eliminação da quantidade de carga em excesso, para o caso dos veículos pesados de mercadorias, poderá proporcionar poupanças significativas. Através da simulação utilizando o Copert, os resultados indicam que se irão verificar reduções de consumo de combustível na ordem dos 2058.15 litros, o que corresponde a uma poupança de 2353.76€. Relativamente ao consumo energético, este irá reduzir cerca de 1.76 tep sendo que as emissões de CO_2 vão sofrer um decréscimo de 4.93 ton.

6.4 Incentivos à Eco-Condução

Após a leitura de documentação relativa à eco-condução, considerou-se que a mesma pode trazer uma redução entre 5 a 10% do consumo de combustível, o que é representado pelas seguintes poupanças.

Tabela 6.7: Poupanças com Eco-condução

| Percentagem | Redução Combustível (Litros) | Redução de CO_2 (ton) | Poupança € | Redução TEP |
|-------------|---------------------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| 5% | 2670.6 | 6.70 | 3054.1 | 2.28 |
| 10% | 5341.1 | 13.4 | 6108.3 | 4.58 |

Se as reduções nos gastos com a eco-condução se verificarem dentro do intervalo indicado na tabela 6.7, haverá uma margem bastante apelativa para a atribuição de prémios aos melhores condutores. De relembrar que esta avaliação poderá ser feita através da plataforma de monitorização dos veículos, após a implementação dos acelerómetros nas centralinas dos veículos.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este capítulo é o culminar de todo o estudo efetuado no decorrer do estágio. Serão resumidos as medidas e resultados obtidos, mas também a sugestão de possíveis desenvolvimentos para trabalhos futuros.

O objetivo desta estágio consistiu num estudo de medidas que permitam a uma empresa de distribuição de gás em vasilha, reduzir os seus custos com a frota de veículos e diminuir também a sua pegada ambiental.

As medidas propostas após a análise da atividade da frota durante o ano de 2018, dizem respeito à substituição de veículos, à redução da carga transportada, à otimização de rotas e à adoção de comportamentos de eco-condução.

Quando se equacionou substituição de veículos foram vários os factores que influenciaram a decisão de quais os veículos a retirar. Em primeiro lugar, pretendeu-se eliminar aqueles que apresentavam idades significativas, pois a sua norma já estaria bastante ultrapassada. Por outro lado, havia veículos já com elevada atividade e muitos quilómetros percorridos, o que significava que a sua manutenção era cada vez mais dispendiosa e imprevisível. Por último, um dos aspetos considerados mais importantes foi o facto de a dimensão de algumas viaturas não estar em concordância com a quantidade de carga que a sua rota exigia, logo foi necessário identificar estes casos e perceber que tipologia de veículo seria a melhor opção para proceder à substituição. Após a escolha dos veículos, foi utilizado o Copert para simular estas hipóteses e obter os valores relativos aos novos consumos energéticos e emissões de poluentes. Com isto, a substituição de veículos representada no capítulo 5.2.2, nas tabelas 5.3 e 5.4 permitirá uma poupança de 10,885 €, com uma redução de 8.1 toneladas equivalentes de petróleo e 47.5 toneladas de dióxido de carbono. Será necessário investir cerca de 138,412.05 €, que estarão pagos em cerca de 12 anos.

Para a proposta da redução de carga, foi necessário observar os registos de carregamentos diários de cada veículo. Nestas folhas estavam representadas as toneladas de carga carregadas e as toneladas de carga que voltavam para o armazém no fim do dia. Com isto, foram calculadas as toneladas em excesso ao nível diário, e posteriormente mensal e anual, para que até mesmo nas simulações da situação inicial e na proposta de substituição se pudesse indicar no *software* Copert a percentagem de carga por veículo. Obtendo uma média da carga em excesso por viatura, foi simulado no Copert, quais os resultados de emissões e consumos energéticos associados a essas reduções. Para isto foi primeiramente efetuada uma análise à sensibilidade da carga, tendo-se obtido o seu comportamento e aproximando-o a uma reta cujas equações se encontram no capítulo 5.3. Observando a tabela 4.6, é possível ver os valores de carga em excesso. Eliminando por completo a carga em excesso, a redução, nos casos em que a mesma foi possível de analisar, rondou os 11% a 21%. Esta proposta poderá trazer poupanças na ordem dos 2353.76€, reduções de 1.76 tep e 4.93 ton de CO_2 .

A otimização das rotas foi algo que demonstrou ter uma extrema importância para empresa, não só devido aos valores que permite poupar, mas também para alterar os métodos e a forma como a empresa trabalha no âmbito da logística da distribuição. Em primeiro lugar, foi tentada uma reestruturação das rotas, com a ajuda do *Google Earth*

Pro. No entanto, devido ao facto de a informação estar desatualizada, não se prosseguiu com a utilização desse método. Outro aspecto muito importante, foi o de manter um número de clientes visitados por rota diariamente que não excedesse os 25. Com isto, foram testados dois otimizadores de rotas. O primeiro já pertencia à empresa no início do estágio e fazia parte do *software* de monitorização, mas os resultados que propôs foram considerados inviáveis pela empresa. Contudo e já após o termino do estágio, a empresa adquiriu um novo programa destinado à otimização das rotas, o *Routyn*. Foi necessário configurar o *software* e realizar algumas simulações. Posto isto, esta proposta poderá trazer poupanças na ordem dos 4570€ e a redução em cerca 17,274 quilómetros anuais. Em termos de consumo energético trará uma redução de 3.4 Tep, já no que diz respeito às emissões de CO_2 , poderá reduzir 11.5 toneladas. Outra redução muito importante, será a do tempo despendido no planeamento destas mesmas rotas, sendo que anteriormente à introdução deste último programa, o mesmo era feito com ferramentas inadequadas ao processo, o que o tornava difícil e bastante lento.

Por último, foi estudada a eficiência da implementação da eco-condução. Esta proposta faz já parte da proposta de trabalhos futuros. Recomenda-se a instalação de acelerómetros nos veículos, que em conjunto com a plataforma de monitorização, será capaz de classificar cada condutor no que diz respeito à eficiência da condução. Para que isto surta efeito, será necessário instruir os condutores com os novos comportamentos em estrada, onde se aconselha que o mesmo seja feito por instrutores certificados. Ainda assim, os resultados provenientes desta medida está inteiramente dependente da disponibilidade dos colaboradores e da sua motivação para o efeito. Portanto, aconselha-se que se confirmem possíveis valores de poupança, e se decidam se será ou não viável a atribuição de prémios por mérito aos melhores desempenhos.

Outra recomendação é a de associar as três principais plataformas utilizadas e são elas o Sage, o *Tracking Diary* e o por último o *Routyn*. Com isto pretende-se que passe a existir maior uniformidade da informação que circula pela empresa, algo que se verificou um entrave durante o estágio. Com esta integração das três aplicações, a utilização de terminais (telemóveis) por parte dos distribuidores, onde estes pudessem atualizar o estado das encomendas e das suas rotas no terreno, evitando o aparecimento de erros na informação diária e evitando também que a atualização dessa informação tivesse que ser feita manualmente.

Para concluir, o resultado da implementação das propostas referentes à substituição de veículos, de redução da carga e de otimização de rotas, irá trazer poupanças anuais na ordem dos 17,807€, e obtendo reduções de 13.3 Tep, 63.9 Ton CO_2 , 17,274 quilómetros e um decréscimo de consumo de gasóleo de perto de 15,572 litros.

Bibliografia

- [1] Oil demand distribution by sector OECD 2017 | Statista;. Available from: <https://www.statista.com/statistics/307194/top-oil-consuming-sectors-worldwide/>.
- [2] Energy Information Administration (EIA). Annual Energy Outlook 2018; 2018. Available from: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf).
- [3] Agência Portuguesa do Ambiente. Emissões de Gases com Efeito de Estufa | Relatório do Estado do Ambiente;. Available from: <https://rea.apambiente.pt/content/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa>.
- [4] Share of transport greenhouse gas emissions — European Environment Agency;. Available from: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-transport-ghg-emissions-1#tab-chart_1.
- [5] Toth P, Vigo D. The Vehicle Routing Problem - Livro; 2002.
- [6] União Europeia. DieselNet: Engine Emission Standards;. Available from: <https://www.dieselnet.com/standards/#eu>.
- [7] Energy Information Administration. International Energy Outlook 2016-World energy demand and economic outlook. May; 2016. Available from: [www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf).
- [8] European Commission. Eurostat;. Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [9] European Commission. EU Transport in figures – Statistical Pocketbook 2018. Luxembourg; 2018.
- [10] European Commission. EU action at international level - Transport;. Available from: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris_protocol/transport_en.
- [11] European Commission. Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles | Climate Action;. Available from: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles_en.
- [12] Carvalho J. Logística e Gestão Logística. In: Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento. vol. 2ª Edição; 2017. p. 29.
- [13] Ballou RH. Business logistics: importance and some research opportunities. Gestão & Produção. 1997;4(2):117–129.

- [14] Schmidt CE, Silva ACL, Darvish M, Coelho LC, Tecnologia GD, Federal U, et al. The time-dependent location-routing problem. *Transportation Research Part E*. 2019;128(December 2018):293–315. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.015>.
- [15] Kallehauge B, Solomon MM. Chapter 3 Vehicle Routing Problem with Time Windows. In: *Column Generation*; 2005. p. 67–98.
- [16] Öztürk N, Küçükoglu I. Computers & Industrial Engineering An advanced hybrid meta-heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls and time windows. *Computers & Industrial Engineering*. 2015;86:60–68.
- [17] Zhou M, Jin H, Wang W. A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D*. 2016;49(5):203–218. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008>.
- [18] Symmons MA, Rose G. Ecodriving Training Delivers Substantial Fuel Savings for Heavy Vehicle Drivers. *PROCEEDINGS of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design stream*. 2009;000:46–53.
- [19] Barić D, Zovak G, Periša M. Effects of Eco-Drive Education on the Reduction of Fuel Consumption and CO2 Emissions. *PROMET - Traffic&Transportation*. 2013;25(3):265–272.
- [20] DZENISIUK K. Changing truck driver behavior to achieve long-term sustainability results; 2017.
- [21] Barkenbus JN. Eco-driving: An overlooked climate change initiative. In: *Energy Policy*; 2010. p. 762–769.
- [22] Agatep PMG. Making Eco-driving Work: Best Practices and Success Factors (Workshop); 2017.
- [23] Barla P, Gilbert-gonthier M, Antonio M, Castro L, Miranda-moreno L. Eco-driving training and fuel consumption : Impact , heterogeneity and sustainability. *Energy Economics*. 2017;62:187–194. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2016.12.018>.
- [24] Wengraf I. The effectiveness of eco-driving, Report RAC Foundation. 2012;(August):60.
- [25] Department for Transport. Fuel efficiency training in a full-mission truck simulator. In: *Behavioural Research in Road Safety 2005: Fifteenth Seminar*; 2005. p. 135 – 146.
- [26] Isuzu Commercial Truck of America sponsored “Fuel Economy Challenge;”. Available from: https://www.fleetowner.com/management/isuzu_fuel_economy_1221.
- [27] Levenson B, Chiang KH. Study of the Impact of a Telematics System on Safe and Fuel-efficient Driving in Trucks. U.S. Department of Transportation; 2014. April.

-
- [28] Boriboonsomsin K. Reducing the Carbon Footprint of Freight Movement through Eco Driving Programs for Heavy-Duty Trucks. In: A White Paper from the National Center for Sustainable Transportation; 2015. p. 19.
- [29] DGEG. Despacho nº17313, 2ªSérie - n.122. Diário da República. 2008;p. 27912–27913.
- [30] Hofstrand D. Liquid Fuel Measurements and Conversions. Iowa State University. 2008;(October):1–4. Available from: <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/pdf/c6-87.pdf>.
- [31] emisia. COPERT 5 - Introduction;. Available from: <https://copert.emisia.com>.
- [32] Ahlvik P, Eggleston S, Gorißen N. COPERT 4 - Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport; 1997. 6.
- [33] Kouridis C, Ntziachristos L, Papageorgiou T. Calculating emissions from road transport on a street - Emisia Workshop; 2016.

Anexos

Fluxograma e Cronograma dos Trabalhos

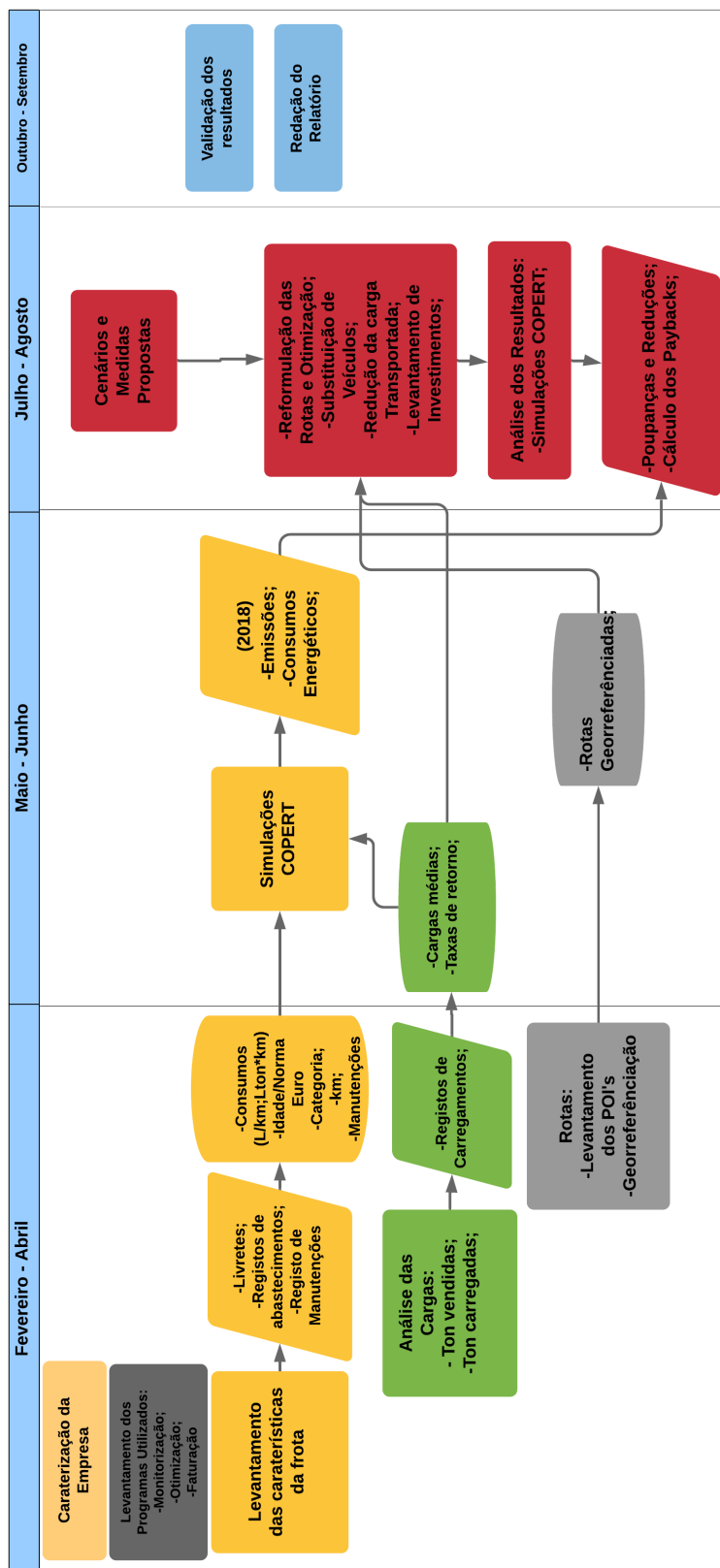


Figura 1: Fluxograma e Cronograma dos Trabalhos

A tabela que se segue, contém os dados utilizados nos gráficos das figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, bem como os dados relativos a todos os restantes veículos utilizados para a distribuição de gás em garrafa.

Tabela 1: Dados referentes à carga transportada, L/km e L/ton*km

| | Indicador | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Agos | Set | Out | Nov | Dez |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 45-GJ-62 | L/km | 0.329 | 0.327 | 0.342 | 0.355 | 0.313 | 0.338 | 0.324 | 0.359 | 0.310 | 0.307 | 0.318 | 0.329 |
| | ton | 2.378 | 2.105 | 0 | 2.722 | 2.810 | 2.775 | 2.709 | 2.907 | 2.818 | 3.040 | 2.832 | 2.931 |
| | L/ton*km | 0.138 | 0.155 | 0 | 0.130 | 0.111 | 0.122 | 0.119 | 0.123 | 0.110 | 0.101 | 0.112 | 0.112 |
| 13-CC-10 | L/km | 0.209 | 0.200 | 0.207 | 0 | 0.180 | 0.187 | 0.211 | 0.213 | 0 | 0.203 | 0.214 | 0.210 |
| | ton | 1.635 | 1.654 | 1.922 | 1.727 | 1.664 | 0 | 1.720 | 1.773 | 1.596 | 1.702 | 1.573 | 1.689 |
| | L/ton*km | 0.128 | 0.121 | 0.108 | 0 | 0.108 | 0 | 0.123 | 0.120 | 0 | 0.119 | 0.136 | 0.124 |
| 38-EZ-00 | L/km | 0,237 | 0,252 | 0,252 | 0,297 | 0,240 | 0,274 | 0,246 | 0,250 | 0,253 | 0,238 | 0,227 | 0,229 |
| | ton | 2,104 | 2,058 | 2,010 | 2,083 | 2,068 | 2,000 | 1,995 | 2,062 | 2,092 | 2,000 | 1,977 | 2,041 |
| | L/ton*km | 0,113 | 0,122 | 0,125 | 0,143 | 0,116 | 0,137 | 0,123 | 0,121 | 0,121 | 0,119 | 0,115 | 0,112 |
| 04-03-UV | L/km | 0,144 | 0,133 | 0,142 | 0,187 | 0,141 | 0,155 | 0,139 | 0,132 | 0,109 | 0,117 | 0,140 | 0,149 |
| | ton | 1,601 | 1,200 | 1,279 | 0,987 | 0,656 | 0,680 | 0,754 | 0,762 | 0,714 | 0,915 | 1,126 | 0,979 |
| | L/ton*km | 0,090 | 0,111 | 0,111 | 0,190 | 0,215 | 0,227 | 0,184 | 0,173 | 0,153 | 0,128 | 0,124 | 0,152 |
| 76-IQ-48 | L/km | 0,263 | 0,286 | 0,276 | 0,270 | 0,278 | 0,267 | 0,270 | 0,279 | 0,301 | 0,286 | 0,277 | 0,292 |
| | ton | 2,292 | 2,185 | 2,423 | 2,347 | 2,342 | 2,884 | 2,618 | 2,843 | 2,697 | 2,682 | 2,547 | 2,533 |
| | L/ton*km | 2,338 | 0,131 | 0,114 | 0,115 | 0,119 | 0,092 | 0,103 | 0,098 | 0,112 | 0,107 | 0,109 | 0,115 |
| 12-CC-88 | L/km | 0,190 | 0,184 | 0,145 | 0,193 | 0,182 | 0,187 | 0,178 | 0,188 | 0,193 | 0,206 | 0,200 | 0,181 |
| | ton | 1,695 | 1,544 | 1,645 | 1,418 | 1,527 | 1,466 | 0,923 | 1,302 | 1,317 | 1,754 | 1,558 | 1,597 |
| | L/ton*km | 0,112 | 0,119 | 0,088 | 0,136 | 0,119 | 0,127 | 0,193 | 0,145 | 0,146 | 0,117 | 0,128 | 0,114 |
| 51-JO-38 | L/km | 0,127 | 0,090 | 0,190 | 0,160 | 0,140 | 0,147 | 0,158 | 0,163 | 0,000 | 0,000 | 0,148 | 0,153 |
| | ton | 0,894 | 0,803 | 0,912 | 0,959 | 0,862 | 0 | 0,819 | 1,041 | 0,000 | 1,466 | 0,828 | 1,056 |
| | L/ton*km | 0,141 | 0,112 | 0,209 | 0,167 | 0,162 | 0 | 0,193 | 0,157 | 0,000 | 0,000 | 0,179 | 0,144 |
| 39-QI-23 | L/km | 0,139 | 0,136 | 0,126 | 0,125 | 0,121 | 0,108 | 0,116 | 0,120 | 0,128 | 0,119 | 0,164 | 0,125 |
| | ton | 0,598 | 0,630 | 0,586 | 0,572 | 0,496 | 0,475 | 0,505 | 0,568 | 0,560 | 0,513 | 0,483 | 0,720 |
| | L/ton*km | 0,232 | 0,216 | 0,214 | 0,218 | 0,245 | 0,227 | 0,229 | 0,211 | 0,229 | 0,231 | 0,340 | 0,174 |
| 25-HS-05 | L/km | 0,000 | 0,000 | 0,201 | 0,191 | 0,183 | 0,193 | 0,185 | 0,196 | 0,216 | 0,236 | 0,248 | 0,256 |
| | ton | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,414 | 1,321 | 1,048 | 0,923 | 1,959 | 1,586 | 1,602 | 1,672 | 1,719 |
| | L/ton*km | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,135 | 0,139 | 0,184 | 0,201 | 0,100 | 0,136 | 0,147 | 0,148 | 0,149 |
| 48-DG-46 | L/km | 0,278 | 0,237 | 0,249 | 0,246 | 0,256 | 0,235 | 0,259 | 0,255 | 0,258 | 0,295 | 0,281 | 0,265 |
| | ton | 1,890 | 1,891 | 1,645 | 1,983 | 2,272 | 0,000 | 0,000 | 2,136 | 1,853 | 2,122 | 1,862 | 2,139 |
| | L/ton*km | 0,147 | 0,125 | 0,151 | 0,124 | 0,113 | 0,000 | 0,000 | 0,120 | 0,139 | 0,139 | 0,151 | 0,124 |