



Projeto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Análise energética, económica e ambiental de
utilização de combustíveis alternativos em veículos***

João Luís Ramalho Lúcio

Leiria, *Março* de 2015



Projeto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Análise energética, económica e ambiental de
utilização de combustíveis alternativos em veículos***

João Luís Ramalho Lúcio

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Luís Serrano, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Paulo Matos de Carvalho, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Março de 2015

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

À minha Família

Por todo o esforço e motivação dado ao longo do percurso académico

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Um grande agradecimento ao orientador deste trabalho, o Doutor Luís Serrano, por todo o apoio dado, pela dedicação e pelos conhecimentos transmitidos. Um outro especial agradecimento ao coorientador Doutor Paulo Carvalho por toda a ajuda prestada.

Ao Departamento de Reparação e Manutenção Mecânica da Câmara Municipal de Lisboa, especialmente nas pessoas da Doutora Raquel Águas e do Engenheiro Alberto Almeida, um grande obrigado por toda a informação disponibilizada.

Ao Engenheiro Jorge Nabais da Carris, por todos os esclarecimentos na fase inicial deste trabalho e ainda pela disponibilização dos dados para estudo da frota da Carris.

Para finalizar um agradecimento ao Engenheiro António Leitão da empresa Cisterpor, por facultar os resultados e informações relativas ao estudo feito em parceria com a GalpEnergia.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Os aumentos do preço do petróleo no mercado internacional têm consequências económicas prejudiciais para os países dependentes deste bem como é o caso de Portugal. O crescimento do setor dos transportes tem sido exponencial, provocando assim um aumento do consumo de combustíveis derivados do petróleo e por conseguinte dos níveis de poluição. Desta forma torna-se inevitável encontrar opções, daí os combustíveis alternativos apresentarem-se hoje como um assunto de elevada importância a ser estudado. As questões ambientais e económicas são dois fatores bastante importantes no que à utilização dos combustíveis alternativos diz respeito.

Neste trabalho pretende-se efetuar um estudo à utilização de combustíveis alternativos, essencialmente aplicado a frotas de pesados, assim consegue-se obter dados suficientes para tirar conclusões acerca da viabilidade da utilização dos combustíveis alternativos.

Iniciar-se-á este trabalho com uma descrição geral dos vários sistemas existentes no mercado para utilização de combustíveis alternativos, bem como das vantagens e desvantagens da sua utilização.

Na segunda parte serão analisados resultados práticos de vários casos de estudo, nos quais será feita a analogia para a teoria abordada nos primeiros capítulos e tiradas as respetivas conclusões.

Serão analisadas três frotas distintas, duas utilizando o gás natural como combustível e uma que utiliza o GPL como combustível secundário.

Palavras-chave: combustíveis alternativos, GPL, gás natural, dual-fuel

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The raising prices of fuel in the world market have a negative impact for the countries that depend on it, which is the case of Portugal. The exponential raising of the transportation market also means a raise in the fuel consumption, which also means higher pollution levels. For this reason it is inevitable to find other options, and the study alternative fuels is becoming of great importance, both for economical and for environmental issues.

In the presented work, the goal is to study the usage of alternate fuels in fleets of heavy duty trucks by obtaining enough data to conclude about the liability of the usage of alternative fuels.

At first, there is a general description of some systems that can be found in the market for the usage of alternative fuels, as well as their advantages and disadvantages.

Next, experimental results will be analyzed from various case studies, according to the reviews and theoretical studies referred in the previous chapters, discussing the conclusions at the end.

Three different fleets will be studied, in which 2 of them use natural gas as fuel and the other uses GPL as secondary fuel.

Keywords: *alternative fuels, LPG, natural gas, dual-fuel*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 – Limites de emissões para as normas EURO IV, EURO V e EURO VI [5].....	3
Figura 2 – Tecnologias utilizadas na redução de emissões poluentes [5]	4
Figura 3 – Molécula de gás natural [2].....	9
Figura 4 – Exemplo de veículo ligeiro a gás natural [17]	13
Figura 5 –Instalação de sistema GN em autocarro [19]	14
Figura 6 – Comparação de desempenho GNC - Carris [45].....	76
Figura 7 – Viabilidade económica sistema dual fuel.....	83

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Análise ao consumo de combustíveis no sector dos transportes em Portugal no ano de 2013 [1].....	1
Gráfico 2 – Emissões CO ₂ em Portugal entre 1990 e 2012 no sector dos transportes [3]	2
Gráfico 3 – Consumo de combustíveis nos transportes para os anos entre 2000 e 2012 [13]	11
Gráfico 4 – Reservas de gás natural[14].....	12
Gráfico 5 - Emissões de CO ₂ para autocarros ao longo dos anos GNC e Diesel [22]	16
Gráfico 6 – Concentração de CO, CO ₂ e O ₂ em WOT para motor de 4 cilindros em laboratório [24].....	17
Gráfico 7 – Emissões poluentes para veículos pesados de passageiro - Volvo (2004) [6] .	18
Gráfico 8- Emissões NO _x e HC em “WOT” para motor de 4 cilindros em laboratório [24]	19
Gráfico 9 – Emissões de NO _x para diferentes temperaturas do coletor de admissão [20] ..	19
Gráfico 10 – Análise “Well to wheel” para motores Diesel e GNC [23].....	20
Gráfico 11 – Consumo específico para gasolina e GN em WOT para motor 4 cilindros em laboratório.....	22
Gráfico 12 – Consumo GPL em Portugal para os anos de 2012 a 2014 no setor rodoviário [1]	28
Gráfico 13 - Taxa de calor libertado em função do ângulo de cambota para combustão dual-fuel [26]	29
Gráfico 14 - Emissões NO _x dual-fuel para motor de dois cilindros em laboratório [28]....	31
Gráfico 15 – Comparação de emissões NO _x “dual-fuel” vs Diesel [26].....	31
Gráfico 16 – Emissões HC para motor dual-fuel [30].....	32
Gráfico 17 - Emissões CO para motor dual-fuel [30]	33
Gráfico 18 – Emissões de partículas para diferentes velocidades de motor e diferentes quantidades de GPL [20]	34
Gráfico 19 - Emissões de partículas para diversas velocidades e carga [30]	34
Gráfico 20 - Consumo específico combustível dual – fuel em dois estudos distintos [26][31]	35

Gráfico 21 - Distribuição de Veículos Pesados da frota da CML [32]	37
Gráfico 22 – Total de kms percorridos pelas viaturas Volvo para os três anos analisados - CML	44
Gráfico 23 – Consumos médios das viaturas Volvo para os três anos analisados - CML..	44
Gráfico 24 – Gastos de manutenção viaturas Volvo para os três anos analisados – CML .	45
Gráfico 25 – Dias de imobilização das viaturas Volvo para 2011, 2012 e 2013 - CML	45
Gráfico 26 - Total de kms percorridos durante os três anos pelas viaturas Mercedes-Benz - CML	46
Gráfico 27 - Consumos médios de combustível para viaturas Mercedes-Benz durante os três anos analisados - CML.....	46
Gráfico 28 - Custos de manutenção viaturas Mercedes-Benz para 2012 e 2013 - CML....	47
Gráfico 29- Dias de imobilização viaturas Mercedes-Benz para os três anos estudados - CML	47
Gráfico 30 – Comparativo consumos por marca para veículos a gasóleo - CML	48
Gráfico 31 – Comparativo custos manutenção por marca para veículos a gasóleo - CML	48
Gráfico 32 – Kms percorridos por viaturas a gás natural durante os três anos em análise - CML	49
Gráfico 33 – Comparativo de consumos para as viaturas a GN 2012 e 2013 - CML.....	50
Gráfico 34 - Dias de imobilização para as viaturas a GN 2012 e 2013 - CML	51
Gráfico 35 - Custos manutenção para as viaturas a gás natural 2013- CML.....	51
Gráfico 36 – Comparação de consumos mássicos médios para todas as viaturas em análise - CML	52
Gráfico 37 – Comparação consumo energético médio para todas as viaturas em análise – CML	53
Gráfico 38 – Comparação de consumos médios combustíveis 2012 e 2013 - CML	54
Gráfico 39 – Manutenção média para todas as viaturas estudadas - CML	55
Gráfico 40 – Regressão linear custos vs tempo - CML.....	56
Gráfico 41 – Emissões poluentes Carris (2003-2013) pela análise de sustentabilidade [41]	65
Gráfico 42- Kms percorridos pelos autocarros Volvo (Diesel) - Carris	69

Gráfico 43 - Consumos médios autocarros Volvo (Diesel) – Carris.....	69
Gráfico 44 – Evolução mensal consumo médio de Diesel - Carris	70
Gráfico 45 – Distâncias percorridos pela totalidade dos autocarros MAN (GNC) – Carris	71
Gráfico 46 – Consumos de combustíveis médios para os autocarros MAN (GNC) - Carris	71
Gráfico 47 – Evolução dos consumos médios de GN por mês para os autocarros analisados - Carris	72
Gráfico 48– Consumos médios mensais para o ano de 2013 para autocarros Diesel e GNC - Carris	73
Gráfico 49 – Comparativo consumo energético médio autocarros Diesel e GN para o ano de 2013 – Carris	73
Gráfico 50 – Comparativo mensal de consumos médios de combustível entre autocarros a GNC e Diesel – Carris	74
Gráfico 51 – Consumo médio de combustível anual para os autocarros a GNC e Diesel - Carris	74
Gráfico 52 – Distâncias percorridas para os 5 meses analisados – Cisterpor.....	81
Gráfico 53 – Litros de GPL e Diesel consumidos durante os cinco meses em análise - Cisterpor	82
Gráfico 54 - Consumo médio Diesel e GPL para os cinco meses em análise - Cisterpor...	82
Gráfico 55 - Comparativo energético dual-fuel e mono-fuel – Cisterpor	83
Gráfico 56 – Análise de custos por km para veículo Dual-fuel - Cisterpor	84

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo EURO V e EURO VI.....	3
Tabela 2 – Gases poluentes e efeitos para a saúde [6].....	4
Tabela 3 – Composição GN em Portugal, Itália e América do Sul (% molar) [12].....	10
Tabela 4 – Rácio C/H para diferentes combustíveis [22].....	16
Tabela 5 - Consumos médios de combustível para as viaturas de recolha de RSU em Madrid [23]	21
Tabela 6 - Preços combustíveis Diesel e GN para os três anos em estudo [27].....	21
Tabela 7- Diferença de custos por quilómetro Diesel e GN.....	22
Tabela 8 – Vantagens veículos a GN [19].....	23
Tabela 9- Desvantagens dos veículos a gás natural [19].....	23
Tabela 10 – Resultados de alguns estudos com motores a GN para pesados [21].....	24
Tabela 11 - Composição do GPL para vários países [28]	27
Tabela 12 - Iveco Stralis AD190S27 C GNC [32], [33]	39
Tabela 13 – Iveco Eurotech MP 190E26P C GNC [15], [32].....	40
Tabela 14 - Volvo FL6[34].....	41
Tabela 15 – Mercedes-Benz Atego 1823 L.....	42
Tabela 16 - Resumo das especificações dos diferentes modelos.....	42
Tabela 17 – Características comuns veículos CML	43
Tabela 18 - Custos totais por marca para viaturas Volvo e Mercedes - CML	49
Tabela 19- Comparativo de consumos GN por modelos – CML (m ³ N/100km).....	50
Tabela 20 – Massa volúmica Diesel e GN [35][36][37]	52
Tabela 21 - PCI para os vários combustíveis (valores médios) [38].....	53
Tabela 22 - Especificações IVECO EURO CARGO EURO VI [39]	57
Tabela 23 - Volvo FLE vs EURO VI.....	58
Tabela 24 - Poupança EURO III vs EURO VI.....	59

Tabela 25 - Custos em €/km para viaturas a gás natural da frota e EURO VI semelhantes (valores teóricos).....	59
Tabela 26 – Limites EURO III e EURO VI em g/kWh [40].....	60
Tabela 27 – Diferença entre EURO II e EURO VI em g/km.....	60
Tabela 28 – Comparativo anual de emissões de CO ₂ para a frota da CML	61
Tabela 29 – Emissões de CO ₂ por km - CML.....	61
Tabela 30 – Emissões de CO ₂ para a substituição de Diesel por GN	62
Tabela 31 – Especificações do autocarro VOLVO B7R [43]	67
Tabela 32 – Especificações autocarro MAN 18.310 GNC[44].....	67
Tabela 33 – Manutenções por veículo Volvo - Carris	70
Tabela 34 – Resumo anual de manutenção MAN (GNC) - Carris.....	72
Tabela 35 - Veiculo testado com tecnologia dual-fuel – DAF [46][47]	80

Lista de siglas

GPL	Gás de petróleo liquefeito
GN	Gás Natural
NO _x	Óxidos de Azoto
HC	Hidrocarbonetos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
GNC	Gás Natural Comprimido
λ	Coefficiente excesso de ar
WTT	“well to tank”
WTW	“well to wheel”
WOT	“wide open throttle”
PM	“particulate matter”
nmHC	“non methane hydrocarbons”
EEV	“Enhanced environmentally friendly vehicle”
PCI	Poder Calorífico Inferior
DPF	“Diesel Particulate Filter”
SCR	“Selective Catalytic Reduction”
SFC	“Specific Fuel Consumption”
GNL	Gás Natural Liquefeito
CML	Câmara Municipal de Lisboa

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Lista de figuras	xi
Lista de gráficos.....	xiii
Lista de tabelas	xvii
Lista de siglas	xix
Índice	xxi
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Estrutura do trabalho	6
2. Gás Natural.....	9
2.1. Introdução ao Gás Natural	9
2.2. Veículos a gás natural	12
2.2.1. Mistura pobre vs estequiométrica.....	14
2.2.2. Emissões.....	15
2.2.3. Consumos de combustível	21
2.2.4. Vantagens e desvantagens.....	23
2.2.5. Veículos GN - resumo.....	24
3. GPL.....	27
3.1. Introdução ao GPL	27
3.2. Tecnologias disponíveis	28
3.2.1. <i>Dual-fuel</i> – descrição	29
3.2.1.1. <i>Emissões</i>	30
3.2.1.2. <i>Consumo de combustível</i>	34
3.2.2. Veículos GPL “ <i>dual-fuel</i> ” - resumo	35
4. Apresentação de resultados – GN (CML).....	37
4.1. Introdução aos dados em estudo	37
4.2. Caracterização da frota	38
4.2.1. Iveco Stralis AD190S27 C GNC.....	38
4.2.2. Iveco Eurotech MP 190E26P C GNC	39
4.2.3. Volvo FLE 1940	40
4.2.4. Mercedes-Benz Atego 1823 L	41
4.3. Caracterização dos dados.....	42
4.4. Análise de dados / apresentação de resultados	43
4.4.1. Análise por marcas - DIESEL	43

4.4.2.	Análise Gás Natural	49
4.4.3.	GNC vs Diesel.....	52
4.4.4.	Comparação com EURO VI	56
4.4.5.	Emissões.....	59
4.5.	Conclusões.....	62
5.	Apresentação de resultados – Carris	65
5.1.	Introdução aos dados em estudo	65
5.2.	Caracterização da frota.....	66
5.2.1.	Volvo B7R LE MK3	66
5.2.2.	MAN 18.310 HOCL-NL GNC	67
5.3.	Caracterização dos dados	68
5.4.	Análise de dados / apresentação de resultados.....	68
5.4.1.	Análise <i>Diesel</i> – Carris	68
5.4.2.	Análise Gás Natural - Carris.....	70
5.4.3.	Comparação GNC e Diesel - Carris	72
5.4.4.	Emissões CO₂.....	75
5.5.	Estudos anteriores	75
5.6.	Conclusões.....	77
6.	Apresentação de resultados – <i>dual-fuel</i> - Cisterpor.....	79
6.1.	Introdução aos dados em estudo	79
6.2.	Caracterização da frota.....	79
6.3.	Caracterização dos dados	80
6.4.	Análise de dados / apresentação de resultados.....	81
6.5.	Conclusões.....	85
7.	Discussão de resultados.....	87
7.1.	Discussão - CML.....	87
7.2.	Discussão - Carris	89
7.3.	Discussão - Cisterpor	90
8.	Conclusões	93
8.1.	Trabalho futuro.....	95
	Bibliografia	97

1. Introdução

Com os atuais preços dos combustíveis derivados de petróleo e com a possibilidade de escassez deste recurso, é inevitável começar a pensar em alternativas viáveis ao petróleo.

Em Portugal, o consumo no setor dos transportes ainda se concentra bastante nos tradicionais combustíveis (gasóleo e gasolina) como mostra o gráfico seguinte.

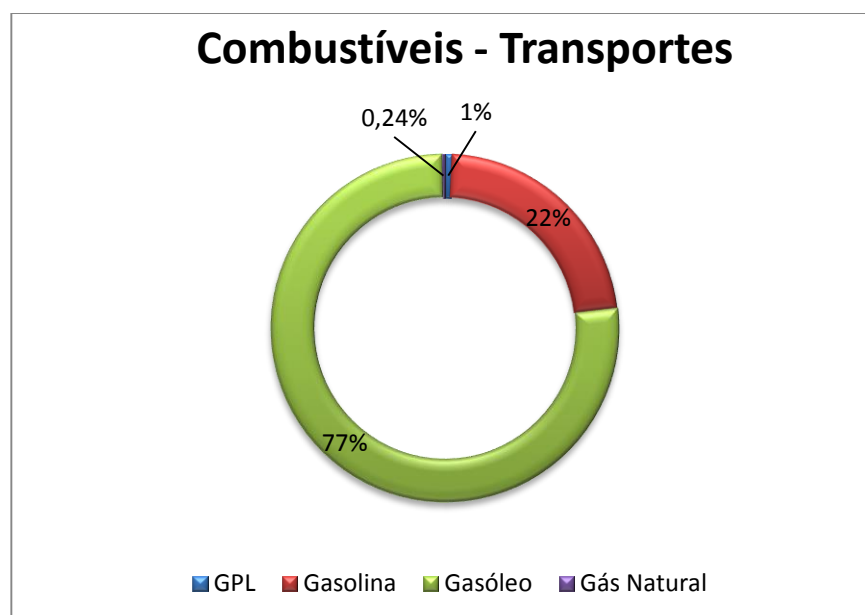


Gráfico 1 – Análise ao consumo de combustíveis no sector dos transportes em Portugal no ano de 2013 [1]

Tal como se pode constatar no Gráfico 1, os combustíveis gasosos têm uma pequena contribuição para o panorama do consumo total de combustíveis em Portugal, com uma fraca proporção inferior a 2%.

Atualmente já existem algumas propostas no mercado automóvel que utilizam combustíveis alternativos gasosos como fonte energética principal, ou até mesmo a junção de dois combustíveis diferentes. Entre eles podemos contar: GPL, Gás Natural, H₂ entre outros.

A abordagem deste tema torna-se cada vez mais importante, devido às atuais imposições das normas europeias, e pela grande contribuição do setor dos transportes nas emissões de CO₂ para a atmosfera, 23 % aproximadamente. Para se reduzir esta percentagem uma das hipóteses será optar-se por combustíveis que permitam a diminuição destes níveis de emissões de dióxido de carbono, quer por permitirem uma maior eficiência energética, quer por apresentarem uma maior relação Hidrogénio/Carbono. [2]

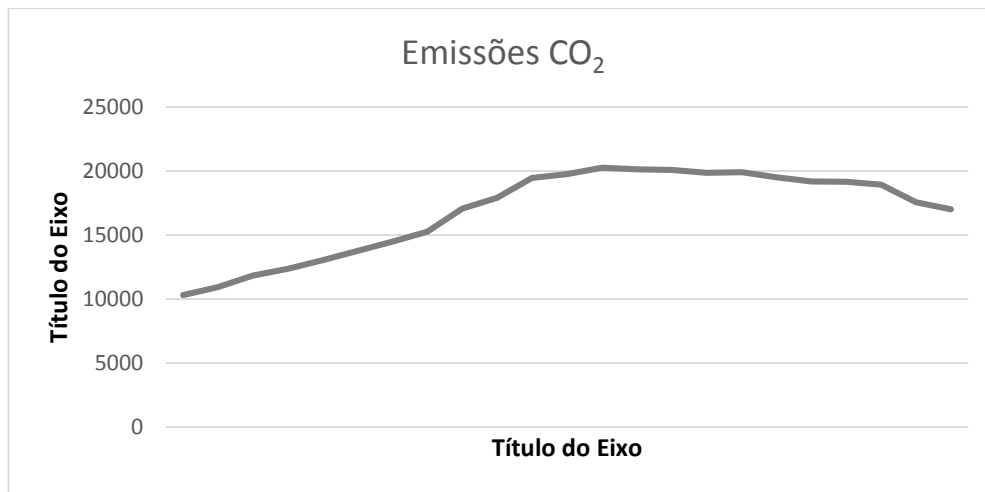


Gráfico 2 – Emissões CO₂ em Portugal entre 1990 e 2012 no sector dos transportes [3]

Em Portugal as emissões de CO₂ tiveram o seu pico máximo em 2002. Daí até ao ano de 2012 tem-se verificado uma redução das emissões de CO₂, salientando-se a redução significativa de 8% do ano 2010 para 2011 (Gráfico 2), que pode ser justificada com a modernização das frotas que se confirma pela existência de muitos veículos EURO V, bem com a crise económica que Portugal enfrentou.

Com este trabalho pretende-se analisar a viabilidade e eficácia de alguns combustíveis gasosos alternativos como é o caso do GPL e do Gás Natural.

Para além das questões económicas e ambientais encontram-se os assuntos políticos. Os governantes de cada país vêm-se obrigados a adotar este tipo de veículos essencialmente por duas razões: as imposições a nível ambiental e “o exemplo que tem de ser dado” para comprovar a viabilidade destes meios energéticos alternativos, uma vez que os cidadãos comuns ainda se mostram pouco recetivos quanto à fiabilidade e funcionalidade de veículos que utilizam combustíveis não tradicionais.

Ao longo deste trabalho dar-se-á maior ênfase a duas tecnologias distintas, aplicadas a tipos de motores distintos que podem equipar veículos pesados, em que ambas utilizam combustíveis alternativos. Primeiramente estudar-se-á uma solução de motores ciclo Otto utilizando Gás Natural, a outra solução a ser estuada é o *dual-fuel* conjugando o Diesel com um combustível gasoso, no caso de estudo analisado o combustível secundário será o GPL.

1.1. Enquadramento

Atualmente, há uma grande exigência a nível ambiental para com os construtores de veículos automóveis. Com o objetivo de limitar a poluição causada pelos veículos rodoviários, a partir de 1 de Janeiro de 2014 todos os veículos novos terão de obedecer aos limites impostos pela mais recente norma ambiental EURO VI. [4]

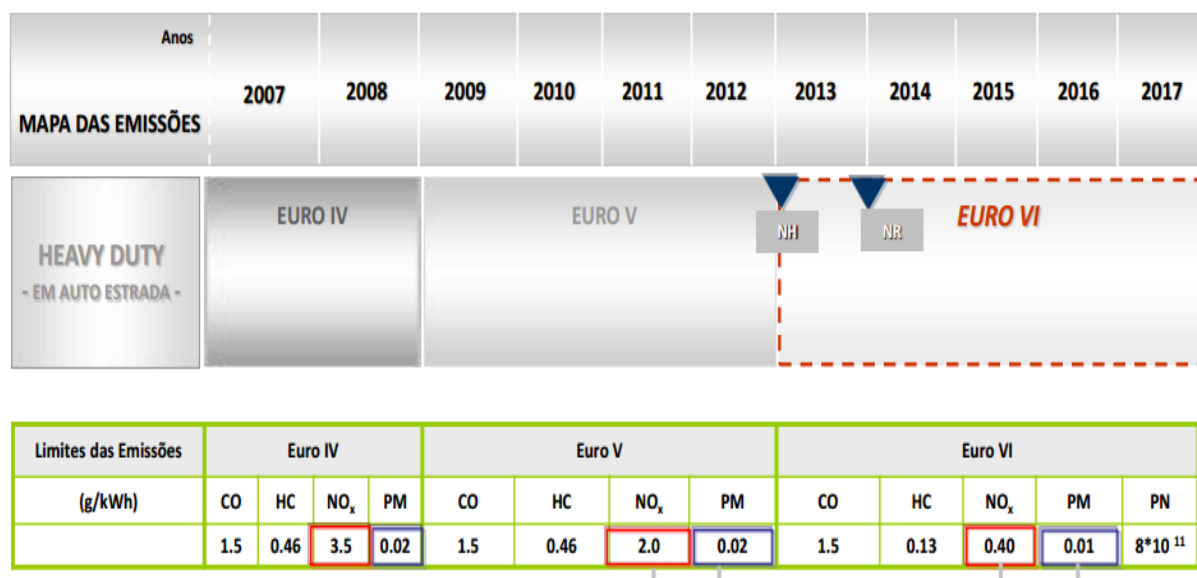


Figura 1 – Limites de emissões para as normas EURO IV, EURO V e EURO VI [5]

A Figura 1 ilustra os limites da norma EURO VI e das suas antecessoras. São apresentados os valores limite para o monóxido de carbono (CO), para os hidrocarbonetos não queimados (HC), para os óxidos de azoto (NO_x) e por fim para as partículas. Para melhor ilustrar a redução que foi imposta com a nova norma EURO VI (apresenta-se abaixo a Tabela 1).

Tabela 1 – Comparativo EURO V e EURO VI

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
EURO V	1,5	0,46	2	0,02
EURO VI	1,5	0,13	0,4	0,01
Dif (%)	0%	72%	80%	50%

Como se pode verificar, a maior redução regista-se ao nível das partículas e dos óxidos de azoto, registando estes uma diminuição de 80% relativamente à norma anterior.

Para realçar a importância de controlar as emissões de gases de escape, apresenta-se de seguida a tabela com os vários constituintes típicos e mais significativos dos gases de escape evidenciando os efeitos para a saúde bem como a origem dos mesmos.

Tabela 2 – Gases poluentes e efeitos para a saúde [6]

Gases	Efeitos para a saúde	Origem
NO_x	- Diminuição da resistência a infecções e agravamento de doenças respiratórias crônicas	Reação do O ₂ com N ₂ a alta temperatura durante a combustão
HC	- Problemas respiratórios - Os hidrocarbonetos mais completos são cancerígenos	Combustível não queimado e resíduos de óleo
CO	- Interfere na absorção do O ₂ pela hemoglobina - Alterações cardíacas - Letal em espaços fechados	Combustão incompleta especialmente em motores que operem com mistura rica (falta de O ₂)
SO₂	- Asma - Bronquite - Enfisema	Combustão de combustíveis com enxofre e da reação com o O ₂
Partículas	- Nocivas quando inaladas - Problemas cardíacos - São cancerígenas	Combustão incompleta

Como forma de solucionar estes problemas foi necessário encontrar e estudar tecnologias que permitissem reduzir as emissões poluentes provocadas pelos gases de escape. Assim sendo, serão apresentadas algumas tecnologias e soluções que permitem reduzir os valores de emissões gasosas satisfazendo os limites impostos pelas normas.

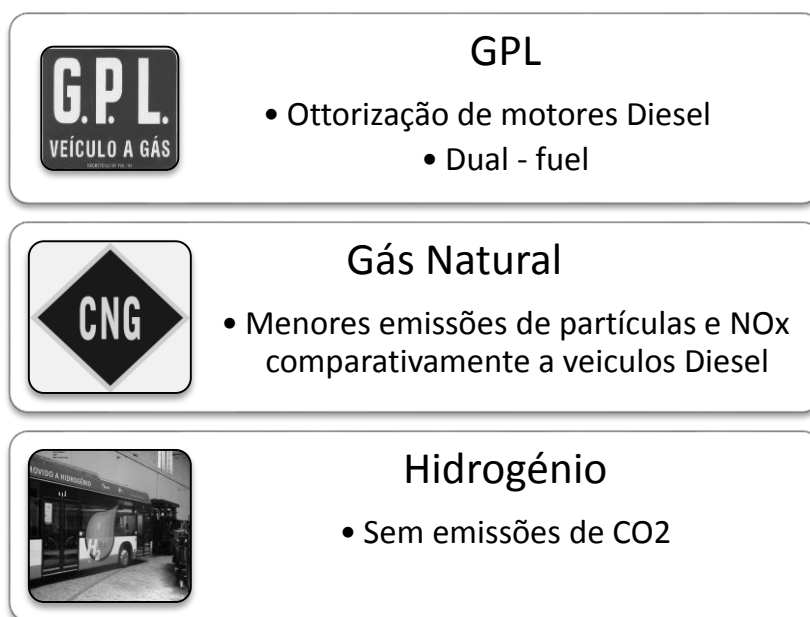


Figura 2 – Tecnologias utilizadas na redução de emissões poluentes [5]

Os construtores optam na sua maioria pelas duas tecnologias representadas na Figura 2, em conjunto com filtros de partículas e catalisadores. A utilização de EGR – recirculação de gases de escape, com taxas cada vez mais elevadas de recirculação é uma das opções. Outra mais recente é o sistema SCR – “Selective Catalytic Reduction”, em que se utiliza a injeção de ureia para fazer a redução catalítica seletiva do NO_x. O outro sistema cada vez mais utilizado em veículos Diesel essencialmente, são os filtros de partículas, estes filtros são constituídos por paredes cerâmicas porosas que retêm as partículas de fuligem, com o

aumento de temperatura dos gases de escape são feitas as regenerações ao filtro servindo assim de limpeza às partículas acumuladas. A maior parte dos filtros mais recentes vêm integrados com um catalisador. Estes normalmente encontram-se perto do motor para beneficiarem das elevadas temperaturas. Com a utilização dos catalisadores consegue-se uma redução de CO e HC. A conjugação de SCR+EGR é uma técnica bastante utilizada para a redução das emissões de NO_x. [5][7]

Outra forma de solucionar os problemas das emissões será a utilização de combustíveis menos poluentes, evitando assim a formação destes compostos a montante da linha de escape. Na figura abaixo apresentam-se três dos possíveis combustíveis a serem utilizados, dois serão analisados neste trabalho sendo que o terceiro (hidrogénio) ainda não tem uma aplicabilidade significativa de modo a resultarem valores concretos de consumo que permitam uma análise da sua implementação em casos concretos de frotas de veículos.



Quanto ao Gás Natural a tecnologia analisada será a que utiliza um motor de ciclo Otto, substituindo a habitual gasolina por Gás Natural. Para esta variante serão analisados dois casos de estudo de duas frotas distintas, uma de veículos pesados de recolha de resíduos da Câmara Municipal de Lisboa (CML), a outra de viaturas pesadas de transporte coletivo de passageiros da Carris. Em ambos os casos utilizam-se os valores dos consumos das viaturas a Gás Natural e comparam-se com os valores relativos a viaturas Diesel.

No que diz respeito ao GPL, será estudada ao longo deste trabalho a tecnologia de *dual-fuel* que consiste na utilização de dois combustíveis em simultâneo, um líquido e outro gasoso. Será primeiramente abordado o funcionamento geral da tecnologia e de seguida será analisado um caso de estudo utilizando esta tecnologia. Esse caso de estudo consiste num teste realizado com um veículo pesado da firma Cisterpor em conjunto com a GalpEnergia, nesta análise abordar-se-á sobretudo os consumos em modo *dual-fuel* e em modo Diesel.

1.2. Estrutura do trabalho

Apresenta-se agora a forma como será estruturado todo o trabalho.

- 2 - Gás Natural
- 3 - GPL
- 4 - Apresentação resultados – CML
- 5 – Apresentação resultados – Carris
- 6 – Apresentação resultados – Cisterpor
- 7 – Discussão de resultados
- 8 - Conclusões

Nos capítulos 2 e 3 serão apresentadas as tecnologias de forma teórica, explicando o funcionamento das tecnologias analisadas nos casos reais de estudo.

Relativamente à análise dos dados da Câmara Municipal de Lisboa esta será a mais completa de todo este trabalho, uma vez que foi recolhido o conjunto de valores mais completo (consumos de combustível, quilómetros percorridos, custos de manutenção, preços de aquisição, dias de imobilização, entre outros), para três anos de utilização. Desta forma será feita uma análise entre veículos Diesel por marcas e de seguida analisar-se-ão os valores dos veículos a gás natural. Para finalizar este quarto capítulo serão comparados os resultados dos veículos Diesel e GN e apresentam-se as devidas conclusões.

O quinto capítulo irá centrar-se nos autocarros Diesel e GN da Carris. Para elaborar este estudo foram recolhidos consumos médios de combustível para alguns autocarros utilizando os dois tipos de combustíveis. Os valores disponibilizados dizem respeito ao ano de 2013, com estes dados tentar-se-á fazer uma análise idêntica ao capítulo antecedente, apresentando os resultados finais comparativos entre combustíveis e respetivas conclusões.

Os capítulos 4 e 5 deste trabalho analisam os dados de pesados de transporte de mercadorias, de autocarros de transporte de passageiros. Os veículos das duas frotas movidos a gás natural utilizam motores de ignição por faísca e ciclo Otto.

O último capítulo de análise de dados é dedicado exclusivamente à análise da tecnologia *dual-fuel*, em que são utilizados dois combustíveis em simultâneo GPL+Diesel. Para esta análise foram utilizados valores provenientes de um estudo em parceria com a GalpEnergia e uma empresa de transportes a Cisterpor, neste caso foram recolhidos os valores de consumos de combustível, quilómetros percorridos e custo de modificação de motor, será feita uma análise semelhante às anteriores.

Na globalidade dos dados, não houve lugar para valores relativos às emissões de gases poluentes, assim a análise ambiental será feita sempre que possível recorrendo à bibliografia ou a partir da química de combustão dos combustíveis.

No capítulo 7 será feita uma análise crítica dos valores obtidos nos três capítulos anteriores, aqui pretende-se cruzar os resultados obtidos com os apresentados durante a revisão bibliográfica.

Para finalizar apresentar-se-ão as conclusões finais relativas à utilização dos combustíveis alternativos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Gás Natural

O gás natural é uma fonte de energia primária de origem fóssil, tal como o petróleo e o carvão. É constituído maioritariamente por metano (CH_4) que é o hidrocarboneto com maior relação H/C, uma vez que cada molécula tem apenas um átomo de carbono (C) para 4 de Hidrogénio (H).

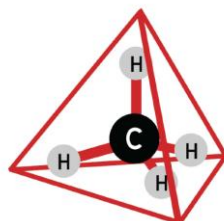


Figura 3 – Molécula de gás natural [2]

Ao utilizar-se o gás natural como combustível alternativo para o setor dos transportes rodoviários, são introduzidos benefícios na sua utilização. A redução de custos, o decréscimo das emissões de gases poluentes e por conseguinte da melhoria da qualidade do ar, são vantagens inerentes à utilização de GN nos transportes.

Na Europa e em todo o mundo são cada vez mais numerosos os programas para alterar o atual panorama no que aos consumos de combustíveis diz respeito, sendo de realçar que muitos desses programas preveem a utilização de Gás Natural para o setor dos transportes. Esta é uma alternativa viável para a redução da fatura energética no setor dos transportes, no ano de 2013 em Portugal cerca de 20% do combustível importado foi consumido neste setor. [8]

No Gás Natural há ainda uma vertente bastante interessante a nível ambiental que é a utilização de biometano. Este combustível apresenta a mesma composição química que o GN mas tem a vantagem de ser uma energia renovável e pouco poluente a nível de obtenção. Aliás, em grande parte das situações, se não for utilizado este gás acaba por se libertar para a atmosfera com grande prejuízo devido ao elevado efeito deste gás no aquecimento global. Com este tipo de aproveitamento energético em pleno funcionamento e desenvolvimento prevê-se que a maior parte dos países tenha aqui uma fonte energética que permitirá garantir o abastecimento de mais de 50% das necessidades do setor dos transportes. [9]

2.1. Introdução ao Gás Natural

Do ponto de vista da produção, o gás natural é extraído tal qual como se encontra na natureza, minimizando assim a fase de processamento a um nível muito baixo. É um gás extraído de jazidas naturais subterrâneas, tendo um baixo custo de produção comparativamente ao petróleo e com grande dispersão geográfica. Este tipo de gás pode ser de origem fóssil ou não fóssil. A partir de resíduos é possível produzir biometano que é constituído

maioritariamente também por CH₄. Quanto aos recursos verifica-se uma maior distância do *Pico de Hubbert*, para o Gás Natural, estimando-se um pico máximo de produção para daqui a aproximadamente 40 anos. Este pico é um modelo matemático que explica a taxa de extração e esgotamento a longo prazo de petróleo e restantes combustíveis fósseis [2] [10]

É considerado um combustível seguro, devido ao limite de inflamabilidade no ar, ao facto de não ser tóxico e de ser menos denso que o ar fazendo assim que, em caso de fuga, se disperse para a atmosfera.

O gás natural tem uma baixa densidade energética, e a forma encontrada para ultrapassar esse entrave foi o armazenamento a pressão elevada (200 bar). Os reservatórios de armazenamento ocupam em média um volume cinco vezes superior comparativamente com os tanques dos combustíveis tradicionais para gasolina e gasóleo. Este aspeto aumenta a tara do veículo entre os 600 e 900 kg, com reflexos negativos na eficiência energética e na autonomia dos veículos. [6]

Atualmente o gás natural é utilizado preferencialmente no setor da indústria, a nível doméstico e maioritariamente na produção de energia elétrica. Tem vindo a ocorrer uma utilização cada vez maior do gás natural como fonte energética em veículos, essencialmente para grandes frotas que, pela falta de postos públicos de abastecimento, vêm-se obrigadas a criar as suas próprias infraestruturas de abastecimento.

Em Portugal continental existem cerca de 1,3 milhões de consumidores de gás natural, sendo a maior parte consumida a baixa pressão. Apenas 21 consumidores recebem o GN a alta pressão. Em 2011 foram consumidos 4,7 milhares de milhões de metros cúbicos representando o equivalente a 57 mil milhões de kWh. O GN que chega ao terminal de Sines chega sob a forma líquida (GNL) em navios apropriados, sendo posteriormente armazenado em tanques intermédios. De seguida é re-gaseificado e distribuído através da rede nacional de transporte de gás natural (RNTGN), passando por várias estações de medição e redução de pressão. [11]

Tabela 3 – Composição GN em Portugal, Itália e América do Sul (% molar) [12]

Componentes	Portugal	Itália	América do Sul
CH₄	84,4	96,3	70,7
C₂H₆	9,7	1,4	9,6
C₃H₆	2,0	0,5	12,2
i-C₄H₁₀	0,2	0,2	1,3
n-C₄H₁₀	0,2	0,1	4,3
CO₂	1,6	0,9	0,5
Outros	1,9	0,6	-

A Tabela 3 apresenta a composição do GNC em Portugal comparativamente com Itália e América do Sul. Tal como já foi referido, o GN tem como constituinte maioritário o metano

(CH₄), no entanto o que é consumido em Portugal apresenta uma percentagem inferior de metano quando comparado com o consumido em Itália, tendo uma maior percentagem de outros constituintes (Etano e Propano).

Como o caso de estudo abordado neste trabalho é o setor dos transportes apresenta-se de seguida um gráfico com a evolução do consumo de gás natural no setor dos transportes em Portugal no século XXI.

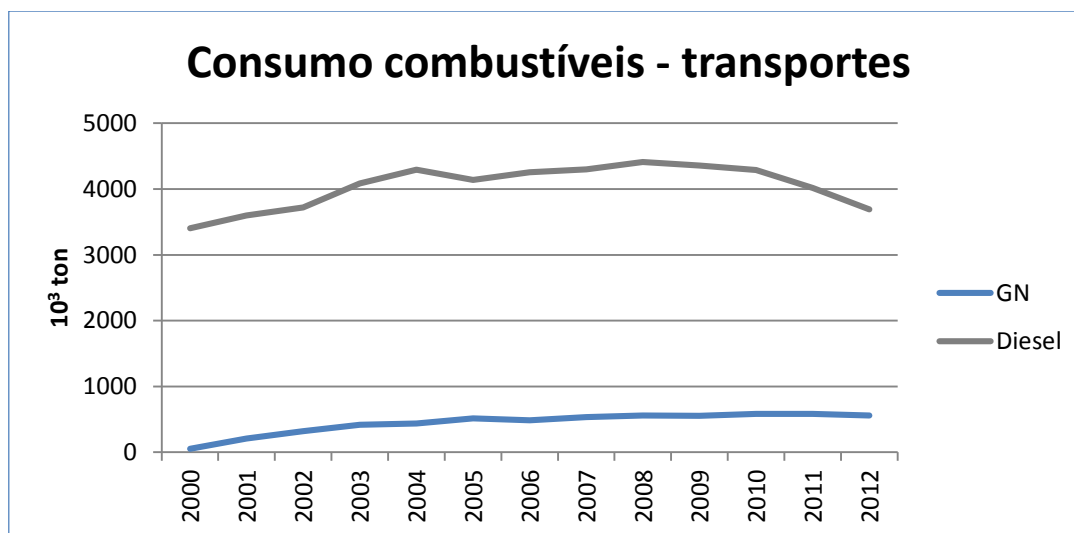


Gráfico 3 – Consumo de combustíveis nos transportes para os anos entre 2000 e 2012 [13]

Interpretando o Gráfico 3, pode-se ver que o consumo de gás natural no setor dos transportes tem vindo a aumentar a partir do ano 2000. No ano de 2011 registou-se o pico de consumo sendo que no ano seguinte se verificou uma pequena quebra. De um modo geral regista-se o crescimento do consumo de GN no setor dos transportes ao longo dos anos, comprovando assim a eficiência deste combustível, ainda que com valores muito inferiores quando se compara com o consumo do *Diesel*. Neste caso o crescimento não é tão linear apresentando algumas variações, registando-se ainda o decréscimo nos últimos anos o que poderá ser explicado pela introdução de novos veículos mais eficientes e pela utilização de combustíveis alternativos, como por exemplo o GN.

No que diz respeito às reservas mundiais existentes, estas encontram-se sobretudo nos países do Médio Oriente, e da Europa de Leste. Desta forma será previsível um maior crescimento de veículos a gás natural nestes países devido às suas grandes reservas de gás natural. No gráfico seguinte mostram-se os 10 países do mundo com maiores reservas de gás natural.

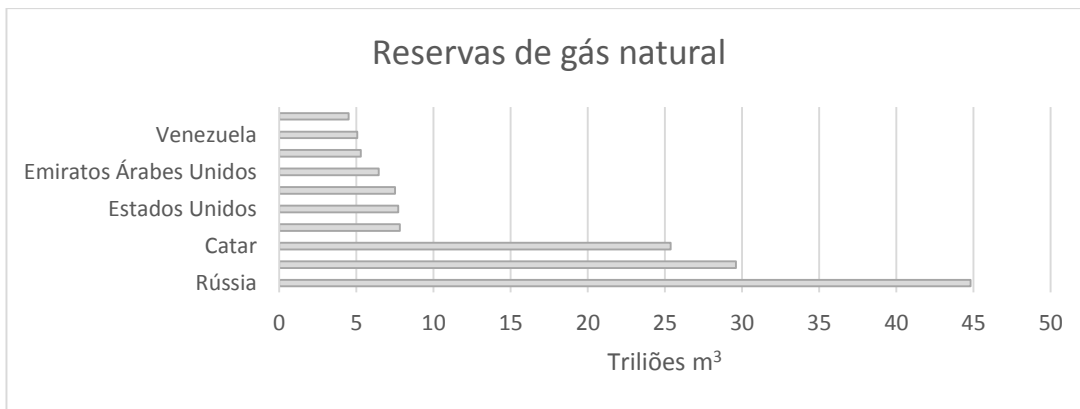


Gráfico 4 – Reservas de gás natural[14]

Como se vê, a Rússia era em 2011 (ano da publicação) o país com maiores reservas de gás natural, seguida do Irão e do Catar. Este é sem dúvida um fator importante no desenvolvimento e utilização de veículos a gás natural devido à facilidade de obtenção do gás face a outros países.

2.2. Veículos a gás natural

O gás natural é dos combustíveis alternativos mais utilizados em veículos pesados maioritariamente de transporte de passageiros, uma vez que estes têm uma grande contribuição nas emissões de gases poluentes das grandes cidades.[12]

Na Europa, com exceção da Itália, não há uma grande contribuição de veículos a gás natural, muito devido à necessidade de importação de gás e pelo défice de infraestruturas de abastecimento. Dessa forma apenas grandes empresas adotaram este combustível como alternativa ao petróleo tendo que assegurar por conta própria a sua rede de abastecimento. Por outro lado em países da América Latina e da Ásia os veículos a gás natural são objeto de maiores incentivos muito devido ao aproveitamento dos seus próprios recursos. [12]

Em 2014 estavam registados em Portugal 365 autocarros, 44 veículos pesados de mercadorias e aproximadamente 64 ligeiros, todos eles utilizando o gás natural como combustível.[15]

Desde 31 de janeiro de 2013 foi aprovada em Portugal a Lei nº 13/2013, que introduziu bastantes alterações à utilização de veículos que consomem o gás (GPL e GN) como combustível principal. Destaca-se a possibilidade de estacionar em parques subterrâneos e a supressão do tradicional dístico traseiro. [16]

Através de uma análise dos sistemas de combustível propriamente ditos, constata-se que a única grande diferença para um veículo movido a gasolina é que nos veículos alimentados com gás natural o combustível é injetado e armazenado a alta pressão. Esta característica de armazenamento obriga a que o gás seja conduzido através de tubos rígidos de alta pressão, até ao regulador de pressão que reduz a pressão para valores mínimos que permitam vencer

as perdas de carga até à admissão onde a pressão é próxima da pressão atmosférica. A saída do gás para o sistema de injeção é controlada por uma electroválvula que tem ainda a função de suspender o fluxo quando é comutado para outro tipo de combustível se assim for possível.[15]

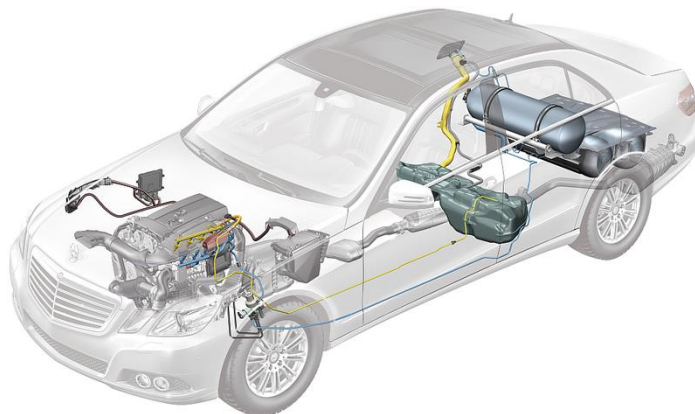


Figura 4 – Exemplo de veículo ligeiro a gás natural [17]

Comparativamente aos motores convencionais de ignição por faísca utilizando gasolina, estes mesmos motores utilizando GN conseguem trabalhar com uma razão de compressão mais alta sem ocorrer o fenómeno de “*knock*” devido ao elevado índice de octano deste combustível. Esta diferença permite alcançar assim eficiências térmicas mais elevadas, produzindo menos CO₂, menos hidrocarbonetos não queimados e menos monóxido de carbono. Um motor que funcione de acordo com o ciclo Otto utilizando gás natural como combustível produz menos potência comparando com motores a gasolina. Esta situação é motivada por diversos fatores: redução da eficiência volumétrica devido à injeção do gás no coletor de admissão, menor razão estequiométrica ar/combustível em relação à gasolina e à baixa razão de equivalência que estes motores têm de obedecer para se conseguir reduzir as emissões de NO_x. Por outro lado os motores a GN operam com pressões de admissão superiores aos veículos a gasolina resultando assim em menores perdas.[18]

A utilização de gás natural num motor ciclo *Otto* dispensa grandes alterações técnicas ao nível do motor, sendo apenas necessário alterar os reservatórios de combustível. No caso do gás natural estes têm de suportar uma pressão na ordem de 200 bar.

A Figura 5 mostra a instalação de um sistema gás natural comprimido (GNC) num autocarro da Carris (um dos casos de estudo apresentado mais à frente). É possível ver as válvulas reguladoras de pressão e as diferentes pressões do gás nos vários pontos do sistema. Os sete reservatórios de gás utilizados para armazenamento do combustível encontram-se dispostos na parte superior do autocarro.



Instalação de Gás Natural

Reg. ECE R110

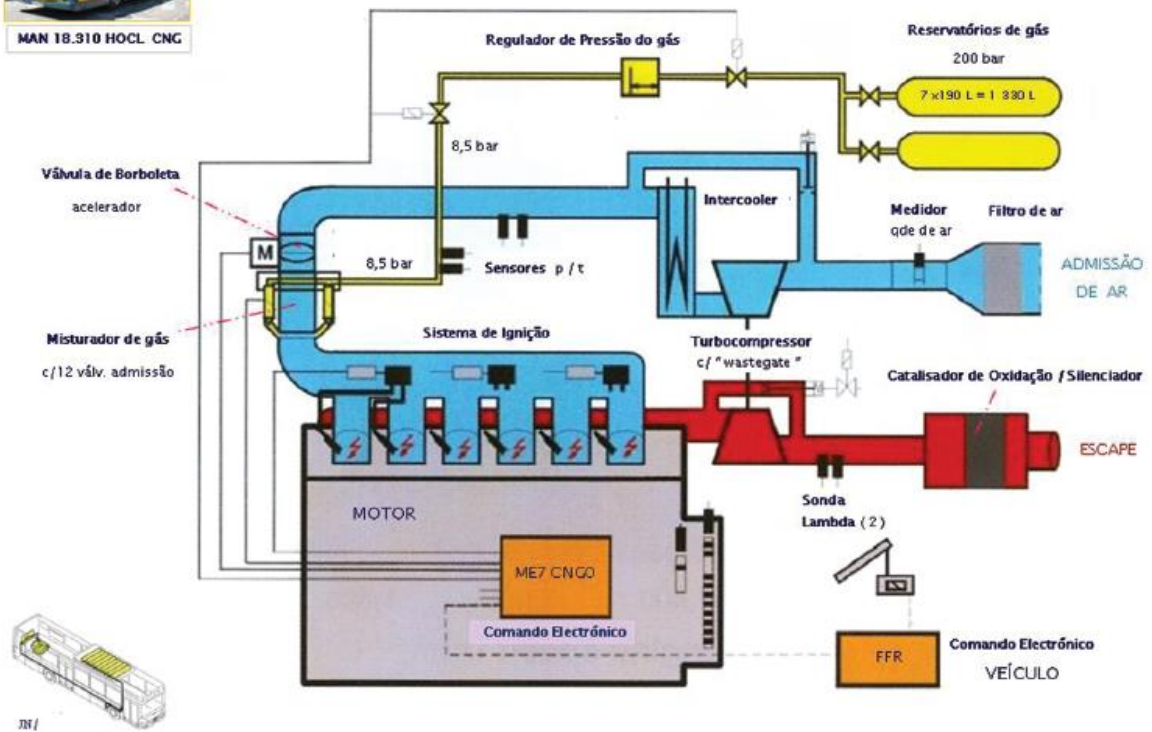


Figura 5 – Instalação de sistema GN em autocarro [19]

Uma grande vantagem é a possibilidade de utilizar biogás ao invés de gás natural de origem fóssil, passando dessa forma a ser abastecido por uma fonte energética renovável.

O gás natural pode ainda ser utilizado como combustível secundário num veículo *dual-fuel*. Neste método de funcionamento dos motores dois combustíveis são utilizados em simultâneo, um combustível líquido principal e um gasoso secundário, sendo que o primeiro promove a ignição e o segundo inicia a combustão devido à temperatura e pressão existente. O funcionamento deste tipo de motores será explicado mais à frente no capítulo 3.

2.2.1. Mistura pobre vs estequiométrica

Os motores a gás natural podem operar com misturas pobres ou estequiométricas com diferentes condições de combustão e emissões associadas. Utilizando taxas de compressão elevadas, mistura pobre e elevadas taxas de recirculação de gases de escape será expectável alcançar eficiências perto das dos motores a gasolina, sendo ainda possível uma redução nas emissões poluentes. De modo a obterem-se níveis de emissões baixos poder-se-á optar por misturas pobres ou estequiométricas em conjunto com o catalisador de 3 vias. [20]

A maior parte das marcas que têm motores a gás natural, essencialmente em veículos pesados, utilizam motores de ignição por faísca com mistura pobre. Como o GN apresenta

uma ampla gama de razão ar-combustível em que a combustão se mantém eficiente, comparativamente aos restantes combustíveis, torna-se mais flexível a utilização de mistura pobre neste tipo de motores. Neste tipo de motores consegue-se facilmente atingir elevados valores de eficiência térmica, no entanto, para alcançar os fortes estrangimentos a nível de emissões poluentes, são necessários sistemas de pós tratamento que requerem a adição de substâncias redutoras.

Em misturas demasiado pobres, a velocidade de chama torna-se tão baixa que nalguns casos é extinta mesmo antes de toda a mistura ar-combustível ser consumida. [20][21]

O principal benefício da utilização de motores a gás natural com mistura estequiométrica é a possibilidade de utilização de um catalisador de três vias que permitirá obter bons resultados na redução das emissões de CO, HC e NO_x. Para este tipo de motores é necessária uma válvula para controlar a quantidade de ar introduzido no motor em todas as cargas, resultando numa quebra de eficiência. Com a utilização de elevadas taxas de EGR conseguem-se alcançar eficiências ao nível de motores Diesel. [21]

2.2.2. Emissões

Uma das principais razões para a utilização de veículos a gás natural são as menores quantidades de emissões poluentes para a atmosfera. O GN é considerado uma alternativa promissora neste campo essencialmente devido à combustão associada a estes motores. O gás natural apresenta também um baixo rácio de carbono-hidrogénio resultando em menores emissões de CO₂ por energia libertada. O metano (CH₄), sendo o principal constituinte e não contendo ligações moleculares carbono-carbono, reduz a formação de benzeno (C₆H₆) substancialmente o que resulta numa diminuição de formação de PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons), para além da significativa redução de fuligem e partículas com origem na conjugação de moléculas de carbono. [21]

Marcas como MAN, John Deere e Cummins-Westport, dispõem de motores para veículos pesados com ignição por faísca e que operam com mistura pobre. Os motores de 8,1L da John Deere com potências entre 187 e 209 kW estão certificados e regulados com baixas emissões de NO_x limitando-as a 1,6 g/kWh. Dispõem também de um catalisador de oxidação para o CO e controlo de nmHC (“non-methane hydrocarbons”). A Cummins-Westport tem uma série de motores a GN com diversas cilindradas entre 5,9 L e 8,9L e níveis de potência entre 145 e 239 kW. Todos estes motores têm catalisadores de oxidação e são certificados com baixos níveis de emissões de NO_x, e valor limite para a emissão de partículas de 0,013 g/kWh. [21]

Dióxido de Carbono (CO₂):

O dióxido de carbono é o principal responsável pelo efeito estufa. Um autocarro urbano emite cerca de 300 kg de CO₂ diariamente, este é provocado pela reação de oxidação do combustível durante a combustão. [22]

As emissões de CO₂ estão directamente relacionadas com o rácio entre Carbono e Hidrogénio. No quadro seguinte é mostrado esse rácio para diferentes combustíveis.

Tabela 4 – Rácio C/H para diferentes combustíveis [22]

	C/H	g de CO ₂ /MJ	%
Diesel / Gasolina	1:1.85	73	100
GPL (50 % propano 50% butano)	1:2.52	66	90
CH₄	1:4	56	77

Analisando a tabela acima pode-se verificar que as emissões de CO₂ são reduzidas em 23% por cada MJ de energia obtido quando é efetuada a substituição do gasóleo por Gás Natural.

Esta análise pode ser ainda estendida aos tipos de motores. Os motores de ignição por faísca têm aproximadamente a mesma eficiência quer utilizem Gasolina ou GN, e a substituição da gasolina por GN reduz em cerca de um quarto as emissões de CO₂. No que toca aos motores Diesel, estes apresentam uma eficiência em média 25% superior comparativamente aos de ciclo Otto. Desta forma será expectável que a redução nas emissões de motores utilizando GN seja compensada pela melhoria de eficiência dos motores Diesel. O Gráfico 5 complementa estas afirmações, gerando de certa forma alguma controvérsia. [22]

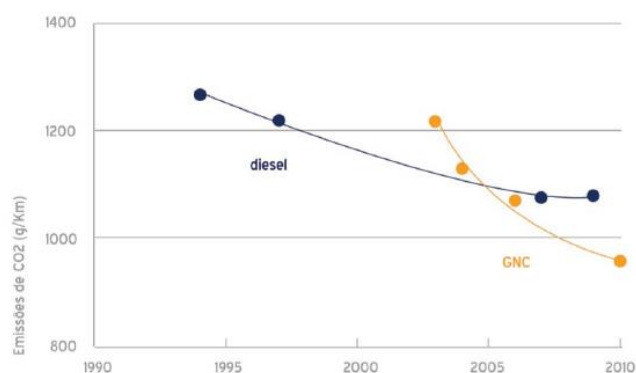


Gráfico 5 - Emissões de CO₂ para autocarros ao longo dos anos GNC e Diesel [22]

Analisando o gráfico acima pode-se constatar que ao longo do tempo a redução mais significativa de emissões de CO₂ verificou-se nos veículos a Gás Natural Comprimido, o que poderá significar que com o decorrer da evolução dos motores se consiga uma maior redução das emissões de CO₂, uma vez que os motores Diesel já são utilizados há muito mais tempo estando muito mais desenvolvidos comparativamente aos motores a GNC.

Segundo um estudo feito na cidade de Madrid com veículos de recolha de resíduos, em que se analisaram emissões e consumos de motores a GNC e Diesel, obtiveram-se os seguintes resultados de emissões de CO₂: 2,03 kg/km para o Diesel e 1,76 kg/km para o GN. Ambos os motores tinham 9500 cm³ de cilindrada e turbocompressores, sendo que o motor a GN

tem injeção multiponto e o Diesel injeção direta. Foram analisadas 3 rotas com distâncias médias de 120 km e diferentes cargas (entre 6400 e 817 kg de resíduos). [23]

Monóxido de Carbono (CO):

Quanto ao CO este é reduzido em 80% num motor a gás natural comparando com o abastecimento a gasolina. A formação de monóxido de carbono resulta da combustão incompleta no cilindro e está muito associada ao facto de o valor de λ ser inferior a 1. Os motores de ignição por faísca apresentam maior tendência para emitir CO quando trabalham com misturas ricas ou perto da estequiometria, o que não acontece em motores Diesel. Ao utilizar-se motores com mistura pobre esse fator torna-se preponderante para a menor emissão de CO em conjunto com a utilização de catalisadores de oxidação é possível melhorar em muito as emissões de monóxido de carbono. A gasolina é tipicamente representada por C_8H_{18} e o gás natural por CH_4 . A partir do equilíbrio químico, torna-se evidente que para um rácio de H/C maior as emissões de CO e CO_2 são proporcionalmente reduzidas. [24]

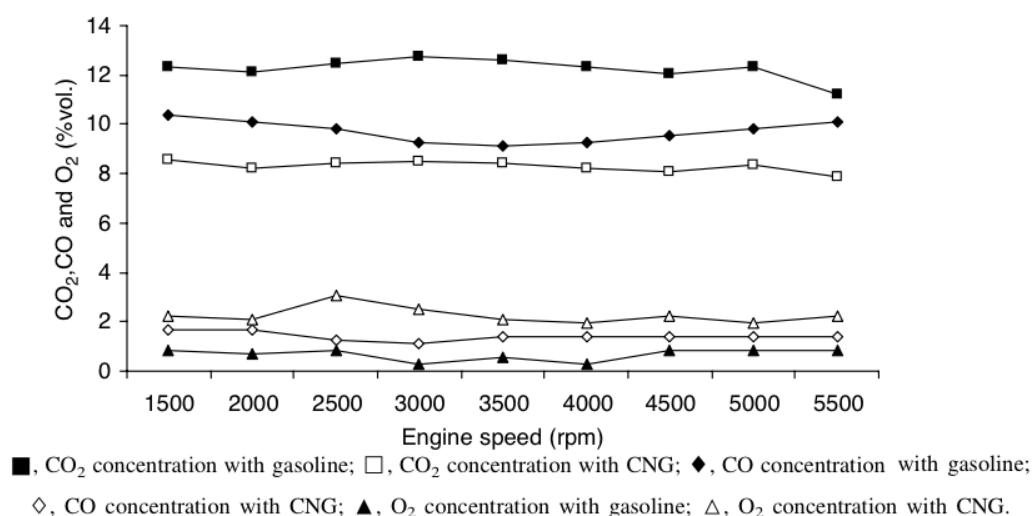


Gráfico 6 – Concentração de CO, CO₂ e O₂ em WOT para motor de 4 cilindros em laboratório [24]

O Gráfico 6 vem comprovar o que foi dito no parágrafo anterior. Estes dados foram obtidos pelo ensaio de um motor de 1463 cm³ de 80 cv com ignição por faísca, em banco de ensaio. Os valores de concentrações de CO e CO₂ são claramente inferiores na situação em que o motor utiliza GNC.

Partículas (PM):

No que diz respeito às emissões de partículas num motor a GN, estas são inferiores comparando às dos motores Diesel, desde que o gás natural não contenha compostos como o benzeno e que contenha menos impurezas dissolvidas como acontece nos derivados do petróleo. Cumpridos estes requisitos as partículas emitidas resultam diretamente da combustão de pequenas quantidades de óleo lubrificante do motor. Sendo o gás natural um

combustível gasoso, ao contrário do Diesel, mistura-se melhor durante a combustão evitando assim a formação de zonas ricas em combustível. O GN é composto maioritariamente por metano e também tem um menor peso molecular e uma estrutura mais simples que qualquer hidrocarboneto. Como não contém outros compostos, a sua combustão produz baixos níveis de emissões de partículas. Para um motor de 8300 cm³ sem qualquer tipo de tratamento dos gases de escape, em banco de ensaio e segundo o ciclo de condução “*Refuse Truck Cycle*” obtiveram-se valores entre o 1 e 3 mg/km para as partículas emitidas. A norma ambiental EURO VI limita as emissões para veículos pesados Diesel a 4,5 mg/km, tendo estes que optar por sistemas de tratamento eficazes para alcançar estes valores. [20] [25][4]

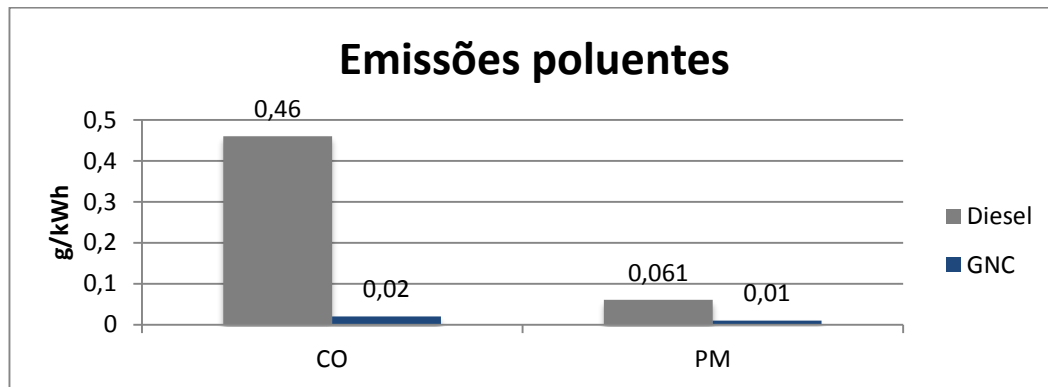
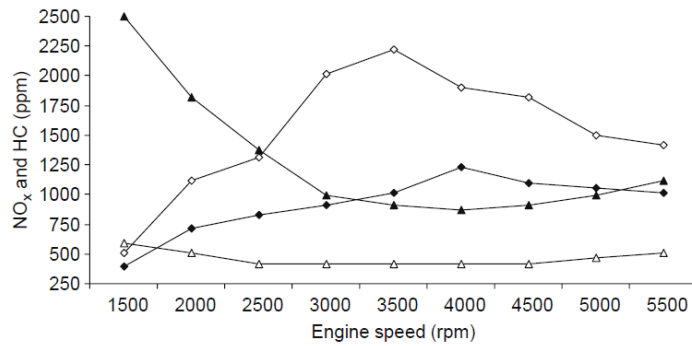


Gráfico 7 – Emissões poluentes para veículos pesados de passageiro - Volvo (2004) [6]

Como mostra o gráfico acima, as emissões de CO e de partículas são significativamente inferiores para os motores a GNC, mais um exemplo que comprova o que foi referido anteriormente.

Óxidos de Azoto (NO_x)

O aparecimento do NO_x deve-se maioritariamente à reação do O₂ com o N₂ a elevadas temperaturas durante a combustão. A maior parte da bibliografia aponta para uma redução nas emissões de NO_x para os motores de ignição por faísca utilizando GNC como combustível face aos convencionais gasóleo e gasolina. A baixa velocidade de chama e a temperatura inferior de combustão ajudam a baixar a presença de NO_x nos gases de escape, com a utilização de razões de equivalência baixas é possível atingirem-se níveis de emissões muito baixos no que ao NO_x diz respeito. [20]



◆, NO_x concentration with gasoline; ◇, NO_x concentration with CNG; ▲, HC concentration with gasoline; △, HC concentration with CNG.

Gráfico 8- Emissões NO_x e HC em "WOT" para motor de 4 cilindros em laboratório [24]

No estudo feito a um motor de 4 cilindros preparado para poder funcionar com gasolina ou GN (impondo assim o valor de relação de compressão de 9,2) os resultados obtidos são visíveis no Gráfico 8. Observa-se que as emissões de NO_x são superiores nos gases de escape quando se utiliza gás natural como combustível. O motor utilizado neste estudo foi convertido para utilizar GN, o que poderá explicar em parte estes valores elevados de emissões. Como o motor não foi projetado inicialmente para utilizar gás natural a razão de compressão é mais baixa comparativamente a um motor de raiz que utiliza GN. Assim com o motor a operar com mistura pobre em conjunto com a maior temperatura de chama do GNC resulta na formação de maiores quantidades de NO_x. Estes valores de emissões podem facilmente ser diminuídos com recirculação de gases de escape não comprometendo a eficiência térmica. No entanto as taxas de recirculação acima de um valor máximo poderão resultar em falhas de ignição no motor. Utilizando baixas razões de equivalência também se conseguem alcançar valores baixos de emissões de NO_x. Utilizando misturas estequiométricas e aumentando o avanço de ignição é possível obter emissões mais baixas do que em motores a gasolina, devido à baixa velocidade de combustão. Uma técnica importante para a redução de NO_x é a utilização de catalisadores de oxidação, estes conseguem reduzir no máximo 90% das emissões de NO_x. O estudo do qual resultou o Gráfico 8 também não dispunha de qualquer sistema de tratamento resultando assim em emissões superiores.[15] [20]

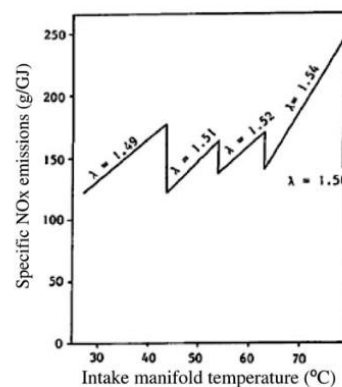


Gráfico 9 – Emissões de NO_x para diferentes temperaturas do coletor de admissão [20]

Analisando o Gráfico 9 percebe-se que é possível manter o valor de emissões NO_x constante na ordem dos 140 g/GJ para a gama de temperaturas de admissão entre os 25 e 80 ° C, variando apenas o valor de λ . Este fato realça a importância de gestão eletrônica do motor, especialmente para controlar o arranque a frio em que é necessário um enriquecimento da mistura para evitar falhas de ignição. [20]

Hidrocarbonetos (HC):

Nos motores de ciclo Otto, a origem de HC não queimados são as micro-cavidades existentes entre as paredes do cilindro e o pistão. Durante a compressão a mistura não queimada é forçada para as cavidades e arrefece pela transferência de calor através das paredes do cilindro. Durante a combustão a mistura não queimada é forçada para as cavidades, então a chama propaga-se nessas regiões e queima apenas parcialmente a mistura. Com o combustível em estado gasoso é evitado o “efeito molhado” do coletor de admissão e do próprio cilindro. [26]

Ao utilizar-se GNC em vez de gasolina, as emissões de HC são inferiores devido também ao GN ser composto maioritariamente por metano. Conforme o estudado em [24], as emissões são 50% inferiores que em motores a gasolina.

Emissões associadas:

Fazendo agora uma análise WTT – “from well to tank” podemos facilmente concluir que o gás natural é de uma maior eficiência, devido ao combustível primário dispensar refinação como é o caso do Diesel. Quanto ao transporte, regra geral este é feito através de gasodutos internos. Para o GN são emitidas 7,9 g de CO_2 para cada MJ de combustível, enquanto para o caso do Diesel esse valor aumenta para 10,2 g. [23]

Pode-se ainda estender esta análise ao tipo WTW – “well to wheel” em que para além das emissões contabilizadas na análise WTT são inseridas as emissões dos veículos durante o seu funcionamento. O Gráfico 10 mostra essa comparação. Como se pode ver há uma menor quantidade de CO_2 emitido para os veículos utilizando GNC em vez de Diesel.

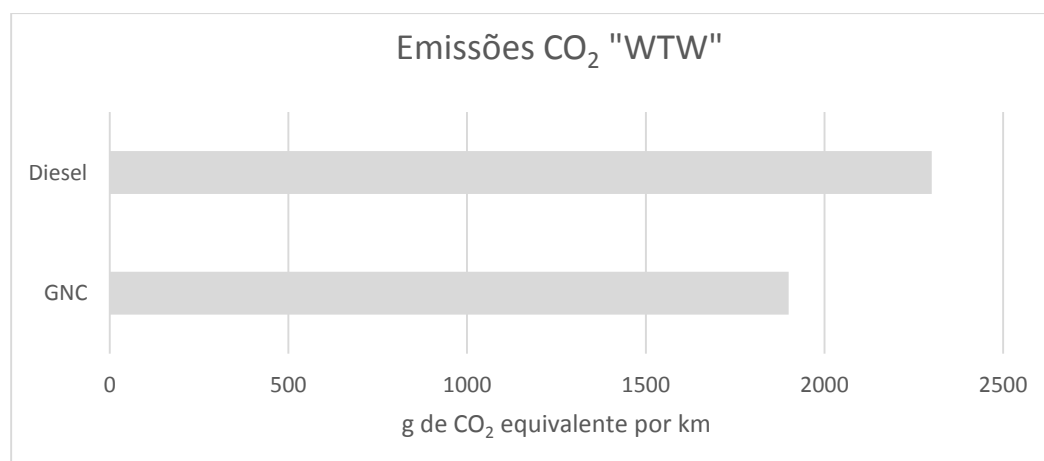


Gráfico 10 – Análise “Well to wheel” para motores Diesel e GNC [23]

2.2.3. Consumos de combustível

No que diz respeito à economia de combustível nos veículos a GN essa é maior em motores que utilizam misturas pobres pelo aumento do calor específico. A eficiência térmica nos motores que utilizam gás natural depende fortemente da razão de compressão, do valor de λ , da velocidade de combustão e da taxa de emissões de NO_x . Para se conseguir obter os melhores consumos não abdicando de minimizar as emissões de NO_x os motores operam com misturas pobres no limite da ocorrência de falhas de ignição, com excesso de ar no escape é possível aplicarem-se catalisadores de oxidação para oxidar os HC.

Apresentam-se seguidamente alguns estudos efetuados anteriormente com veículos a gás natural. Estes valores servirão para ter uma melhor percepção e um maior poder de argumentação para os resultados obtidos nos capítulos de análise de dados do presente estudo.

Os resultados obtidos num estudo feito na cidade de Madrid, com viaturas de recolha de resíduos no ano de 2007:

As características das viaturas deste estudo são descritas de seguida:

- IVECO 240 E 26 GNC com um motor de 9500 cm^3 e uma capacidade de carga de 25 m^3
- IVECO 240 E 25 Diesel com um motor de 9500 cm^3 e uma capacidade de carga de 25 m^3

Tabela 5 - Consumos médios de combustível para as viaturas de recolha de RSU em Madrid [23]

	g/km	MJ/km	l/km
Diesel	646,7	27,39	0,77
GNC	637,5	28,56	0,85 m^3 N/km

A Tabela 5 apresenta o consumo médio de combustível das viaturas utilizando os dois tipos de combustível. Repara-se que em termos mássicos as viaturas a GN são mais económicas, no entanto em termos energéticos necessitam de maior quantidade energética comparativamente às viaturas Diesel. Para melhor se perceber a economia da utilização serão convertidos os valores para custos económicos, utilizando o custo médio dos dois combustíveis para os três anos do estudo que será feito mais à frente.

Tabela 6 - Preços combustíveis Diesel e GN para os três anos em estudo [27]

	Diesel	GN
2011	1,37 €/l	0,83 €/m ³
2012	1,48 €/l	1,01 €/m ³
2013	1,40 €/l	1,04 €/m ³
Média	1,41 €/l	0,96 €/m ³

A análise que será feita dos casos práticos tem como objeto os 3 anos descritos na Tabela 6.

Por uma questão de coerência entendeu-se utilizar o valor médio dos custos de combustível para esta conversão, que é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7- Diferença de custos por quilómetro Diesel e GN

Diesel	GN	Diferença
1,08 €/km	0,81 €/km	33%
108,57 €/100 km	81,6 €/100 km	

Tal como se constata na tabela acima há uma diferença de 33% favorável à utilização de GN nos veículos de recolha de resíduos na cidade de Madrid.[23]

Apresentando agora o ensaio para um motor de 4 cilindros com 1463 cm³ de 12 válvulas, que opera a gasolina e a GN. Os resultados foram obtidos em banco de ensaio. [24]

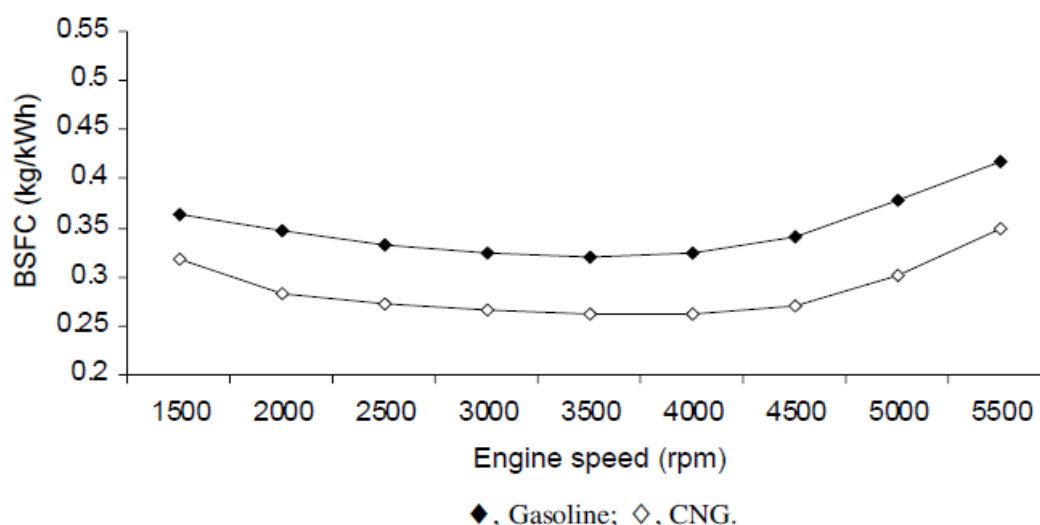


Gráfico 11 – Consumo específico para gasolina e GN em WOT para motor 4 cilindros em laboratório

Como se vê no Gráfico 11, o consumo específico é elevado em baixa rotação decrescendo até os regimes médios registando o seu mínimo por volta das 3500 rpm. Este efeito pode ser explicado pelas perdas de calor nas paredes da câmara de combustão serem proporcionalmente maiores resultando um consumo superior para a potência produzida. Este consumo volta a aumentar a altas velocidades devido ao atrito ser cada vez maior e por consequência ocorre um efeito negativo sobre a potência do motor, aumentando as perdas mecânicas e por conseguinte aumenta o consumo específico. [24]

Em todas as gamas de rotação o consumo específico é inferior quando o motor opera com gás natural como combustível. Um fator explicativo para esta situação é a diferença dos

valores de poder calorífico em base mássica para os dois combustíveis, sendo o do gás natural superior ao da gasolina. O consumo mais baixo ocorre às 3500 rpm para ambos os combustíveis, verificando-se uma diferença de aproximadamente 18% entre os dois combustíveis.

2.2.4. Vantagens e desvantagens

Será de toda a importância apresentar os prós e contras da utilização de viaturas a gás natural, começar-se-á pelas vantagens da exploração destes veículos.

Tabela 8 – Vantagens veículos a GN [19]

Segurança	Tecnologia testada
	Mais leve que o ar, em caso de fuga eleva-se e dissipa-se
	Circuito estanque, evitando ignições espontâneas
Mecânica	Maiores taxas de compressão
	Lubrificantes menos contaminados
	Combustão total numa <u>alargada</u> gama de temperatura
Ambiente	Menores emissões de gases poluentes
	Sem necessidade de aditivos tóxicos
	Possibilidade de utilização de <u>Biometano</u> – energia renovável
Economia	Preços inferiores aos combustíveis tradicionais

Tabela 9- Desvantagens dos veículos a gás natural [19]

Manutenção e aquisição	Custo de aquisição superior
	Maior necessidade peças sobresselentes:
	- Bobines de ignição
Infraestruturas e pessoal	- Sedes de válvulas
	Alterações de espaços oficinais
	Especialização de pessoal
Autonomia e reabastecimentos	Baixa autonomia
	Tempo de reabastecimento elevado
	Postos de abastecimento escassos

Como é possível ver nas tabelas acima as vantagens da utilização destes veículos são superiores às desvantagens. Nota-se que algumas das desvantagens podem ser facilmente ultrapassadas como é o caso dos postos de abastecimento que, com o desenvolvimento da tecnologia, será certamente uma desvantagem que desaparecerá. O custo de aquisição

também é uma das desvantagens que poderá passar a vantagem uma vez que com custos de utilização inferiores o investimento inicial será compensado ao final de algum tempo. As restantes desvantagens podem ser igualmente compensadas caso os custos associados à exploração destas viaturas seja bastante inferior em relação a viaturas utilizando combustíveis tradicionais.

Muito sucintamente, e analisando apenas estes prós e contras da utilização de GN nos veículos, é notório que serão uma alternativa viável aos combustíveis tradicionais. Espera-se com a análise de casos práticos mais adiante comprovar estes prognósticos.

2.2.5. Veículos GN - resumo

Apresenta-se agora uma tabela resumo de 5 estudos efetuados anteriormente com motores a gás natural de grande cilindrada, incluindo autocarros urbanos e camiões. Nesta tabela são comparadas eficiências e emissões relativamente a um motor Diesel. A fórmula de cálculo para as percentagens é (GN/Diesel x100).

Tabela 10 – Resultados de alguns estudos com motores a GN para pesados [21]

Estudo (autor)	McCormick	Chandler	Frailey	Ayala	Chiu
Ano publicação	1999	1999	2000	2002	2004
Construtor	Cummins	Cummins	Cummins	DDC	MACK
Modelo do motor	B5.9G (1997)	L10-300 (1997)	B5.9G (1997)	50G(2000)	E7G
Mistura	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Estequiométrica
Pós-tratamento	Oxidação	Nenhum	Oxidação	Nenhum	Catal. 3 vias
Potência (kW)	-	300	145	-	242
Cilindrada (l)	5,9	9,8	5,9	-	12
Razão de compressão	10,5	-	10,5	-	11,5
Eficiência (% rel. Diesel)	85-98	70	83	-	75-90
CO (% rel. Diesel)	5-10	265	16	400	4,8 g/kWh *
nmHC (% rel. Diesel)	1000-1500	41	220	1000-1500	0,0 g/kWh *
Nox (% rel. Diesel)	65	21	40	30-50	6
PM (% rel. Diesel)	5	5	3	15-33	0,02 g/kWh
CO2 (% rel. Diesel)	80-90	102-113	-	80-95	-

Analisando a Tabela 10, pode-se verificar que no geral a redução de emissões utilizando motores de ignição por faísca e mistura pobre é consistente. É notória uma perda de eficiência em todos os estudos face aos motores Diesel, que pode ser explicada pela razão de compressão inferior do que nos motores Diesel mais comuns. As emissões de CO₂ foram reduzidas na maior parte dos casos nos motores a GN, devido à baixa razão H/C. Quanto às emissões de partículas e NO_x são igualmente reduzidas face aos veículos Diesel. Relativamente aos “Non-methane hydrocarbons” os resultados são mais variáveis apresentando redução nos motores Cummins L10-300 e B5.9G (1997) e aumento nos restantes casos. Com este conjunto de estudos comprova-se ainda a eficácia dos catalisadores

de oxidação em motores com mistura pobre, nos casos em que há catalisadores de oxidação verificam-se menores emissões de CO, PM e nmHC.

Na forma de resumo do presente capítulo, apresentam-se em seguida as vantagens e desvantagens reveladas em estudos já elaborados sobre motores a GN comparativamente aos tradicionais motores Diesel e gasolina.

Quanto às emissões de gases poluentes regra geral estas são inferiores para os motores a GN pelas seguintes razões:

- Sendo o gás natural um combustível gasoso facilita a homogeneização da mistura diminuindo as zonas de mistura rica;
- O gás natural é constituído em grande parte por metano (CH_4) sendo uma molécula mais simples que os restantes hidrocarbonetos, evita-se assim a emissão de alguns compostos químicos nocivos à saúde;
- Menores emissões de CO_2 na obtenção uma vez que dispensa refinação;
- Rácio H/C superior ao Diesel e gasolina o que corresponde a menores emissões de CO e CO_2 ;
- Emissões de partículas inferiores devido à maior simplicidade do combustível face aos restantes combustíveis líquidos;

No que à eficiência e performance diz respeito os motores a GN produzem menos potência em relação a motores convencionais. A injeção indireta do gás natural reduz a eficiência volumétrica, comparativamente a um motor Diesel e a razão de compressão também é inferior.

Dos estudos apresentados os consumos de combustível são favoráveis aos motores a GN. No primeiro caso em que se analisou o caso de estudo das viaturas de recolha de resíduos em Madrid, as viaturas a GN apresentam um consumo energético superior, no entanto quando comparado a nível económico com os custos do Diesel esse valor torna-se mais favorável às viaturas a gás.

No segundo caso o consumo específico do motor a GN, comparando com um motor a gasolina verifica-se uma maior poupança de combustível nos motores que utilizam o combustível gasoso. Uma forma de se comprovar os menores consumos específicos é a redução de emissões de CO_2 nos motores a gás natural face a motores a gasolina, sendo a emissão de CO_2 diretamente proporcional ao consumo, já era expectável a redução do consumo de combustível.

Com a utilização de motores com mistura pobre e catalisadores de oxidação consegue-se chegar a níveis de emissões inferiores aos motores Diesel, no entanto com eficiências inferiores. De forma a ultrapassar os fortes constrangimentos a nível de emissões, a utilização de motores com mistura estequiométrica, EGR e catalisadores de três vias, comprovam que é possível a redução máxima de NO_x e HC entre 90 e 99 %, tal como comprovado em diversos estudos. Nestes motores o controlo da razão ar-combustível terá

de ser muito eficaz e os catalisadores terão de ser altamente eficientes para a oxidação do metano. [20][21]

O gás natural como combustível para veículos tem uma baixa densidade e a presença do combustível gasoso no coletor de admissão resulta numa inexistência de calor latente de evaporação e conseqüente decréscimo da eficiência volumétrica (3% aproximadamente) comparado com um motor de injeção a gasolina. [20]

3. GPL

O GPL é um dos combustíveis alternativos também estudados neste trabalho. O gás de petróleo liquefeito é um combustível bastante utilizado há vários anos em veículos ligeiros tendo por base os motores de combustão por ignição.

Atualmente o GPL pode igualmente ser utilizado em viaturas Diesel e tem sido alvo de algum estudo para a utilização em frotas. Mais à frente será analisado um caso real da utilização de GPL num veículo pesado a Diesel.

Ultimamente o sector automóvel tem vindo a ser obrigado a reduzir cada vez mais as emissões de gases poluentes de modo a respeitar as normas cada vez mais apertadas no que diz respeito ao meio ambiente, para tal nos motores Diesel têm sido implementados sistemas de pós tratamento dos gases de escape, DPF (do inglês “*Diesel Particulate Filter*”) e SCR (do inglês “*Selective Catalytic Reduction*”). Estes sistemas são eficientes no entanto devido à utilização de metais preciosos são um método caro e com uma manutenção igualmente dispendiosa. Desta forma seria preferível solucionar os problemas das emissões a montante do escape.

Os combustíveis alternativos poderão ser usados em modo *mono-fuel*, ou por outro lado em conjunto com outro combustível denominando-se assim de *dual-fuel*. A utilização de combustíveis gasosos conjuntamente com Diesel num motor de ignição por compressão é uma boa alternativa para os motores de hoje em dia com vantagens económicas e ambientais.

3.1. Introdução ao GPL

O GPL é a designação usual para a mistura de hidrocarbonetos leves, cujos principais constituintes são o Butano C_4H_{10} e o propano C_3H_8 , em proporções diferentes dependendo do país, como se mostra na Tabela 11.

Tabela 11 - Composição do GPL para vários países [28]

Country	Propane	Butane
Austria	50	50
France	35	65
Italy	25	75
Spain	30	70
Sweden	95	5
United Kingdom	100	-
Germany	90	10
Australia	70	30

Como se pode ver a composição do GPL é bastante variável de país para país, sendo que em Portugal se deve assemelhar ao valor da vizinha Espanha, estando na proporção de 30% de propano para 70% de butano.

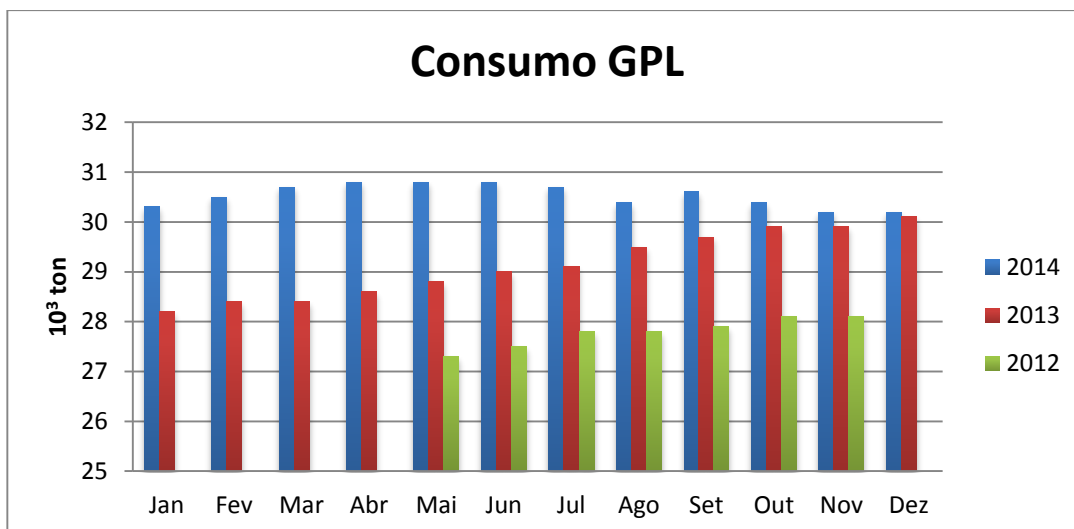


Gráfico 12 – Consumo GPL em Portugal para os anos de 2012 a 2014 no setor rodoviário [1]

O Gráfico 12 apresenta o consumo de GPL ao longo dos 3 últimos anos no setor rodoviário. É perceptível um aumento do consumo ao longo dos anos, resultando de uma utilização deste tipo de combustível cada vez maior, no entanto ainda bastante inferior ao consumo dos combustíveis, comuns apresentando estes valores na ordem das 4000 10³ ton. para o Diesel e das 1000 10³ ton. para a gasolina. [1]

O GPL apresenta várias vantagens face aos combustíveis tradicionais, tem menos átomos de carbono do que a gasolina ou o Diesel. O elevado rácio H/C reduz as emissões de CO₂. Outras grandes vantagens são o elevado valor de índice de octano do GPL, a elevada taxa de combustão do combustível por ser um combustível líquido, e a baixa taxa de acumulação de carbono. O fácil armazenamento e o baixo custo são outros dos fatores que tornam este combustível uma alternativa viável ao gasóleo e gasolina. [29]

O elevado índice de octano do GPL resulta num maior poder antidetonante dos motores utilizando este combustível, assim a eficiência térmica pode ser aumentada elevando a razão de compressão dos motores [29]

3.2. Tecnologias disponíveis

A utilização do GPL pode ser dividida em dois grandes grupos: a utilização segundo o ciclo Otto ou a utilização de dois combustíveis em simultâneo denominando-se de *dual-fuel*.

Utilizando GPL segundo o ciclo Otto é adotado um sistema de misturador que abastece o combustível no ar de admissão a montante do corpo da borboleta com um vaporizador. No entanto o sistema de misturador tem alguns problemas para cumprir as baixas regulações para as emissões devido à dificuldade de controlar a quantidade exata da relação ar/combustível.[29]

A tecnologia de *dual-fuel* será descrita mais pormenorizadamente no próximo subcapítulo, uma vez que irá ser um dos casos de estudo analisados.

3.2.1. *Dual-fuel* – descrição

No caso concreto do *dual fuel*, o combustível gasoso é injetado na admissão ou na porta de admissão enquanto o Diesel é injetado diretamente no cilindro. Com a utilização desta técnica conseguem-se atingir melhores resultados nas emissões essencialmente nas partículas e na emissão de NO_x .

Para o combustível secundário poderá ser escolhido GPL, Gás Natural ou H_2 . Neste capítulo serão estudados os efeitos dos vários gases quando utilizados conjuntamente com o Diesel. Devido ao preço mais baixo do combustível gasoso, a conversão de um motor para funcionar em *dual-fuel* poderá tornar-se rentável.

Os motores de combustão interna podem ser divididos em dois grupos: ignição por faísca (gasolina) onde ocorre uma chama de pré-mistura e ignição por compressão (Diesel), onde a chama ocorre principalmente segundo um processo de difusão. O sistema *dual-fuel* poderá ser sucintamente descrito como a combinação dos dois tipos de combustão, aproveitando as vantagens dos dois.

O combustível secundário (gasoso) é injetado na conduta ou coletor de admissão sendo posteriormente comprimida a mistura de combustível e ar durante o processo de compressão. Como os combustíveis gasosos têm um elevado índice de octano são desta forma mais resistentes à auto ignição e não inflamam durante o processo de compressão. No final do processo de compressão perto do PMS, o combustível piloto (Diesel) é injetado. Este inflama quase instantaneamente a mistura de ar e combustível gasoso. Este tempo entre a injeção e a inflamação é tão reduzido quanto mais elevado for o índice de cetano do Diesel. O processo de libertação de calor na combustão de um motor pode ser dividido em 3 fases, como se ilustra no gráfico seguinte. [26]

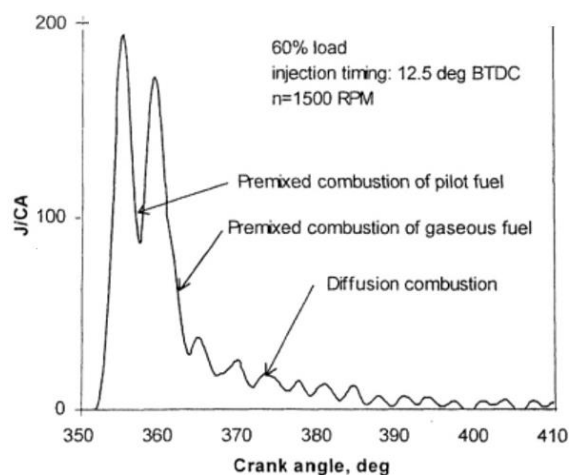


Gráfico 13 - Taxa de calor libertado em função do ângulo de cambota para combustão *dual-fuel* [26]

Descrevendo agora as várias fases da combustão num motor utilizando dois combustíveis em simultâneo:

1ª Fase: é caracterizada pela combustão da pré-mistura do Diesel com uma pequena parte do combustível gasoso.

2ª Fase: é caracterizada pela combustão da pré-mistura da maior parte do combustível gasoso com pequenas quantidades de Diesel.

3ª Fase: representa a combustão por difusão de ambos os combustíveis, embora maioritariamente seja do Diesel.

Este método tem como grande vantagem utilizar os diferentes níveis de inflamabilidade dos dois combustíveis considerados. Tem ainda como vantagem funcionar como um motor Diesel convencional no caso de faltar o combustível gasoso, no entanto a situação inversa não se verifica. Com a utilização de sistemas *dual-fuel* espera-se conseguir um melhor desempenho dos motores a nível de emissões de gases poluentes e consumos de combustível. Nos próximos subcapítulos serão descritos os vários parâmetros a avaliar dependendo do combustível secundário utilizado. [26]

3.2.1.1. Emissões

Um dos principais motivos de se converter motores para utilizar dois combustíveis em simultâneo é a tentativa de reduzir eficientemente as emissões de gases de escape, sem fazer grandes alterações estruturais ao motor. [30]

Óxidos de azoto (NO_x):

O NO_x é produzido pelas altas temperaturas e pela reação de O₂ com N₂. Portanto as emissões de NO_x são mais propícias a serem formadas com mistura perto da estequiometria ou em mistura rica. Também os combustíveis com maior temperatura de chama tendem a produzir maiores quantidades de NO_x.

O funcionamento do motor “*dual fuel*” com GPL é propício ao decréscimo das emissões de NO_x. Múltiplas são as razões que o sustentam, tal como o gás natural a injeção de GPL aumenta o calor específico da mistura admitida, e conseqüentemente reduz a temperatura no interior do cilindro. No caso de injeção direta da mistura Diesel/GPL esta tem uma maior temperatura de evaporação o que também reduz a temperatura no cilindro. [26]

Serão agora apresentados valores de estudos feitos anteriormente. Começa-se por se apresentar valores para o NO_x para um estudo elaborado em 2008 com um motor Diesel de dois cilindros de injeção direta com 2266 cm³ com 26 cv de potência. A mistura de GPL utilizada é composta por 30% de propano e 70 de butano.[28]

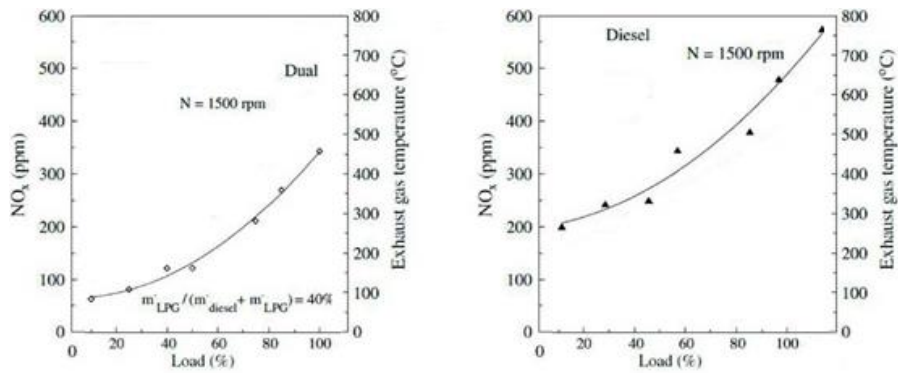


Gráfico 14 - Emissões NO_x dual-fuel para motor de dois cilindros em laboratório [28]

Como se vê no Gráfico 14 comparam-se os dois modos de funcionamento do motor, mostrando-se o funcionamento de *dual-fuel* no gráfico da esquerda. Facilmente se constata a maior emissão de NO_x quando do funcionamento do motor apenas a Diesel. Verifica-se também que no funcionamento apenas a Diesel as temperaturas de escape são superiores o que leva a crer que no interior da câmara de combustão se verifique o mesmo justificando de forma coerente as quantidades superiores de NO_x . É visível igualmente que as emissões aumentam com a carga, devido ao aumento de temperatura e pressão na câmara de combustão.

Mostra-se agora outro caso estudado desta vez com um motor monocilíndrico igualmente em testes em condições laboratoriais.

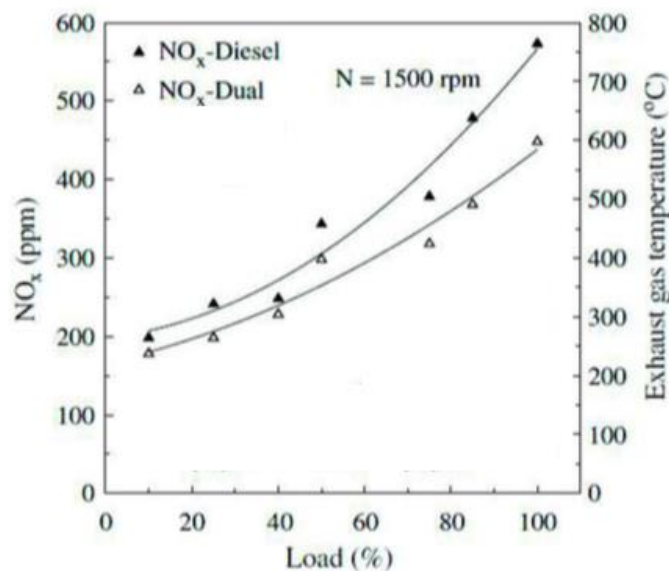


Gráfico 15 – Comparação de emissões NO_x “dual-fuel” vs Diesel [26]

Tal como no apresentado no caso anterior, neste estudo é possível comprovar as menores emissões no funcionamento do motor quando utiliza *dual-fuel* em comparação com o motor a utilizar Diesel, verificando-se ainda uma diferença superior para valores de carga superiores.

Monóxido de carbono (CO) e Hidrocarbonetos não queimados (HC):

As emissões de CO em motores de combustão interna são na maioria controladas pela relação ar/combustível da mistura presente na câmara de combustão. Deste modo, estas emissões são promovidas por misturas ricas e tendem a crescer com a razão de equivalência. Os motores de ignição por compressão operam com misturas pobres portanto as emissões de CO já são bastante baixas quando comparadas com as emissões não tratadas de um motor Otto. Quanto aos hidrocarbonetos não queimados resultam da combustão incompleta dos hidrocarbonetos constituintes do combustível. Nos motores Diesel há duas causas para as emissões de hidrocarbonetos: durante o período em que a mistura é muito pobre (atraso na inflamação) estando assim fora dos limites da inflamabilidade do combustível e no final da combustão em que a mistura de combustível deixa o injetor a uma baixa velocidade resultando numa fraca mistura do combustível com o ar produzindo assim HC's não queimados. [26]

As emissões de HC dependem da qualidade de combustão que ocorre na câmara de combustão. Estas tendem a ser maiores em motores *dual-fuel* face aos convencionais. No caso concreto dos hidrocarbonetos não queimados, a emissão de maiores quantidades deve-se ao facto à menor temperatura resultante do alto calor específico da mistura pobre gás/ar e pela falta de oxidantes.

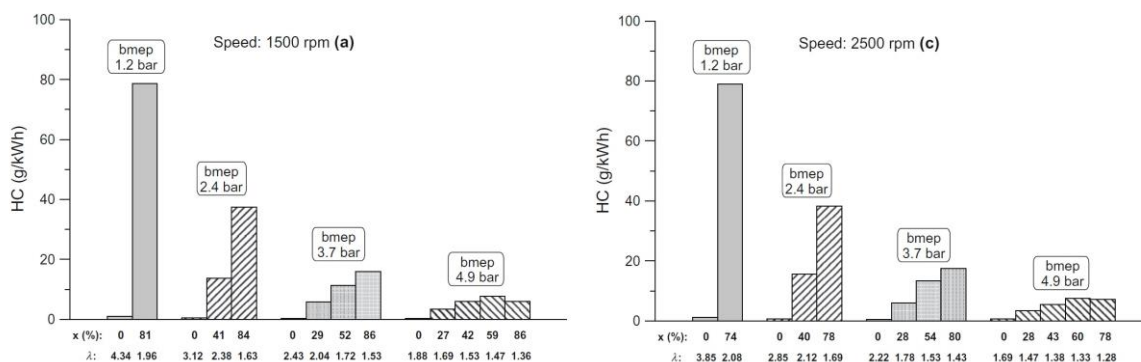


Gráfico 16 – Emissões HC para motor dual-fuel [30]

Como se pode constatar no Gráfico 16 as emissões são superiores para o funcionamento do motor em dual fuel, em que $x > 0$, representando x a percentagem de combustível secundário injectado no motor. As emissões de HC são superiores para todos os parâmetros de funcionamento do motor em modo dual-fuel.

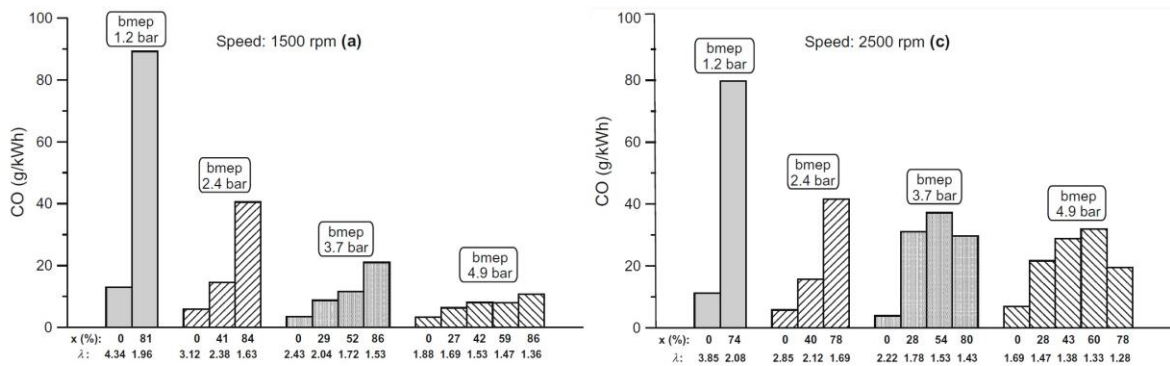


Gráfico 17 - Emissões CO para motor dual-fuel [30]

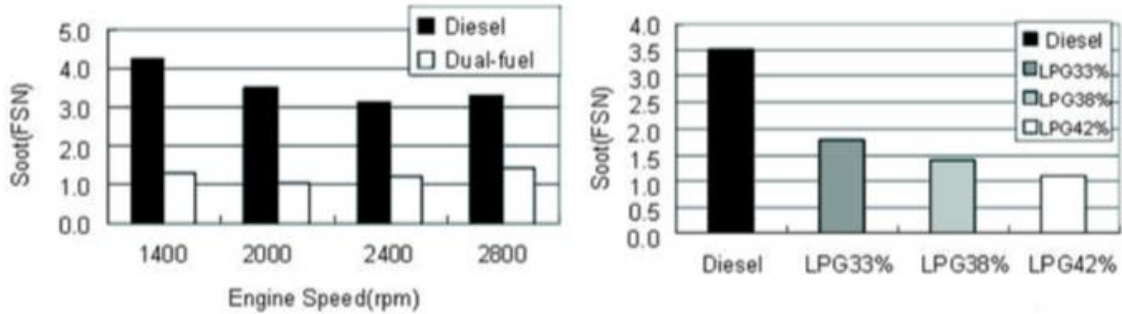
Analisando o Gráfico 17, vê-se que as emissões de CO para o motor funcionando em simultâneo com dois combustíveis são sempre superiores do que quando utiliza apenas Diesel. Isto é válido para todas as velocidades e todas as cargas impostas. As emissões de CO decrescem com o aumento da carga do motor, uma vez que a temperatura aumenta e com um rácio de gpl/ar superior promove-se uma combustão mais completa da mistura. A introdução do segundo combustível é acompanhada por uma redução efectiva da relação ar-combustível favorecendo assim a formação de CO. [30]

A composição do GPL tem uma influência directa nas emissões de CO. O aumento o teor de butano provoca um efeito negativo nas emissões de CO. Este comportamento é expectável devido ao elevado rácio C/H no butano, à baixa temperatura adiabática da chama e à baixa velocidade da chama.[26]

Partículas (PM):

A emissão de partículas é causada principalmente pela combustão incompleta do combustível. A existência de misturas ricas e baixas temperaturas de chama durante a combustão favorecem a formação de partículas. A quantidade de GPL injetada na mistura Diesel+GPL irá evaporar instantaneamente devido à queda de pressão aumentando assim a dispersão do *spray*. Este processo denomina-se “*flash boiling*” e resulta em gotículas de pequena dimensão na câmara de combustão quando comparado com a injeção de Diesel apenas. Essas pequenas gotículas proporcionam uma melhor mistura e conseqüentemente a diminuição das zonas de mistura rica, conduzindo à menor formação de partículas. [26]

No Gráfico 18, consegue-se verificar que para o funcionamento de um motor monocilíndrico com injeção indirecta do combustível, são alcançadas reduções nas emissões de partículas na ordem dos 50 a 70%. Aumentando a quantidade de GPL na mistura conseguem-se igualmente valores cada vez mais baixos de emissões atingindo o valor de redução máxima aos 42% de GPL + 58% de Diesel. Os valores apresentados foram obtidos através do método de medição do número de partículas depositadas em filtros (FSN “*filtre smoke number*” – valor este que representa a opacidade dos gases de escape)



No Gráfico 19, mostram-se os resultados para um motor monocilíndrico de 28,03 cm³ com uma potência máxima de 6,7 kW.

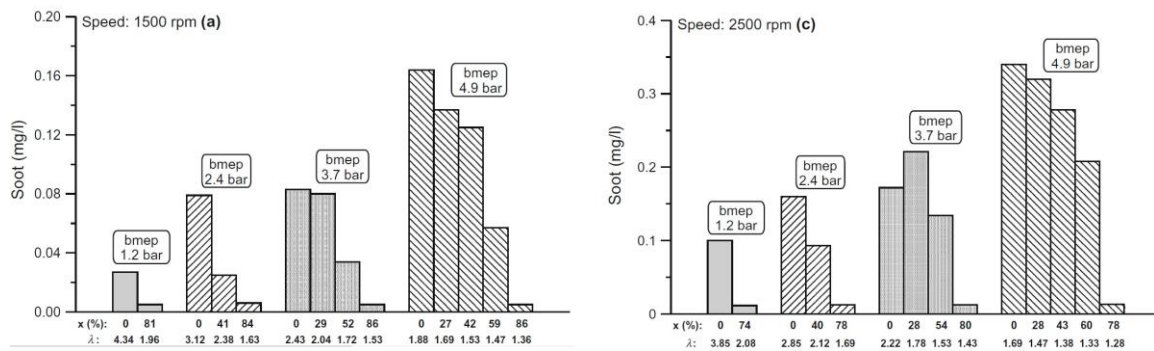


Gráfico 19 - Emissões de partículas para diversas velocidades e carga [30]

É visível que para a maior parte dos pontos de funcionamento do motor, as emissões de partículas são inferiores para o funcionamento em *dual-fuel* comparativamente ao funcionamento apenas a Diesel. Esse decréscimo é mais notório para baixos valores de λ , uma vez que a quantidade de combustível queimado é superior, resultando em temperaturas mais elevadas durante a expansão promovendo deste modo a queima das partículas e consequentemente diminuindo a concentração das mesmas. [30]

3.2.1.2. Consumo de combustível

Discute-se agora o fator mais importante para o consumidor final, o que se reflete na eficiência de custos da utilização desta tecnologia – o consumo de combustível.

Tal como foi mostrado anteriormente as emissões de CO₂ e hidrocarbonetos não queimados tendem a aumentar com a utilização de dois combustíveis em simultâneo em relação a um motor Diesel convencional. A isto está associado uma eficiência de combustão mais reduzida que fará aumentar o consumo de combustível. Além disso a injeção indireta do combustível gasoso irá diminuir a eficiência volumétrica. Ao introduzir-se GPL na mistura

vai diminuir a quantidade de ar fresco que o motor conseguirá admitir o que trará quebras de potência comparativamente a um motor Diesel. [26]

O consumo específico de combustível num motor dual-fuel é ligeiramente superior em baixas cargas, no entanto essa tendência é invertida em cargas mais elevadas. Nesta situação, devido às altas temperaturas a combustão é rápida, consumindo a totalidade do combustível gasoso. Este facto pode ser explicado pela seguinte razão: com baixas cargas o motor atinge temperaturas na câmara de combustão inferiores sendo o atraso à ignição superior começando a ignição do combustível mais tarde, assim a eficiência da combustão é reduzida e por consequência aumenta-se o consumo de combustível. Esta situação inverte-se com o aumento de carga no motor aumentando as temperaturas na câmara de combustão revertendo toda a situação atrás descrita. [26] [30]

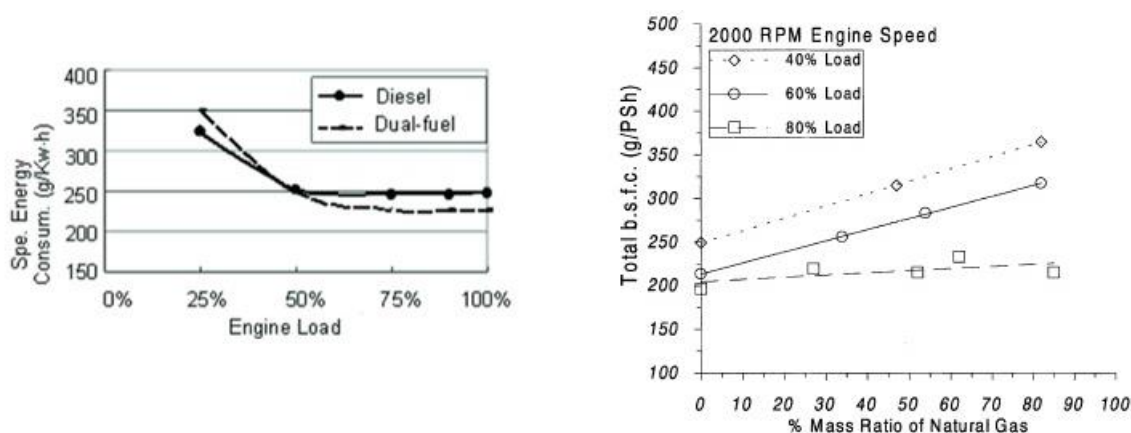


Gráfico 20 - Consumo específico combustível dual – fuel em dois estudos distintos [26][31]

No Gráfico 20 mostram-se os resultados de dois estudos feitos em motores de um cilindro em laboratório. O gráfico da direita apresenta valores para um motor *dual-fuel* utilizando gás natural, sendo que os resultados são semelhantes caso se utilizasse GPL.

3.2.2. Veículos GPL “*dual-fuel*” - resumo

Em resumo da utilização do GPL como combustível secundário num motor apresentam-se as principais vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Como forma de alcançar os limites cada vez mais apertados tem-se vindo a estudar a utilização de combustíveis gasosos conjuntamente com o comum Diesel. Neste trabalho a tecnologia *dual-fuel* direcionou-se mais para a mistura GPL/Diesel uma vez que os dados que se dispõem para tratar utilizam estes dois combustíveis.

Na tabela abaixo mostra-se a relação que os vários compostos nocivos à saúde têm com a utilização de motores *dual-fuel* ao invés do Diesel comum.

NO _x	•Diminuem
CO	•Aumentam
HC	•Aumentam
PM	•Diminuem

É visível que em termos quantitativos esta tecnologia consegue diminuir dois compostos, no entanto aumenta os restantes. Cruzando estes dados com as reduções impostas pela norma ambiental EURO VI face à EURO V, vê-se que o composto que maioritariamente foi reduzido (NO_x reduzido em 80% da transição EURO V para EURO VI) é um dos que a tecnologia *dual-fuel* consegue reduzir eficientemente. É então de crer que a utilização de *dual-fuel* em conjunto com alguns sistemas já conhecidos de tratamento de gases de escape se torne uma alternativa viável na redução das emissões poluentes.

Quanto à economia de combustível os estudos apresentados em motores de um cilindro em banco de ensaio, demonstram um consumo específico de combustível superior para baixas cargas tornando-se inferior para cargas mais elevadas.[26] [30]

Um ponto crucial na utilização desta tecnologia é o preço mais baixo do combustível gasoso, o GPL apresenta valores de custo bastante inferiores face ao Diesel comumente utilizado em veículos pesados e em grandes frotas.

Após a análise, esta tecnologia parece ser bastante promissora como forma de atingir os limites de emissões poluentes impostos pelas normas ambientais. A questão da fiabilidade do sistema é talvez o fator mais importante nesta tecnologia, uma vez que os motores não foram inicialmente desenvolvidos para funcionar com dois combustíveis.

Com a análise mais à frente concluir-se-á se é ou não uma tecnologia rentável no que diz respeito ao consumo de combustível.

4. Apresentação de resultados – GN (CML)

Neste quarto capítulo serão apresentados e analisados os dados relativamente à frota de veículos da Câmara Municipal de Lisboa, com especial ênfase aos veículos movidos a Gás Natural Comprimido.

Para a remoção das 900 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos da região de Lisboa, são utilizadas cerca de 230 viaturas, totalizando 170 circuitos cada um com cerca de 100 km. [32]

A frota da CML para recolha de resíduos sólidos e urbanos é composta por vários veículos a GN, daí ser um bom objeto de estudo e análise.

4.1. Introdução aos dados em estudo

Segundo dados de 2013 a frota da CML é composta por 468 viaturas ligeiras e 311 viaturas pesadas. No que diz respeito à frota dedicada à limpeza urbana essa é composta por 230 viaturas das quais 54 a GNC, essas encontram-se distribuídas pelas diversas funções, como é visível no gráfico abaixo.

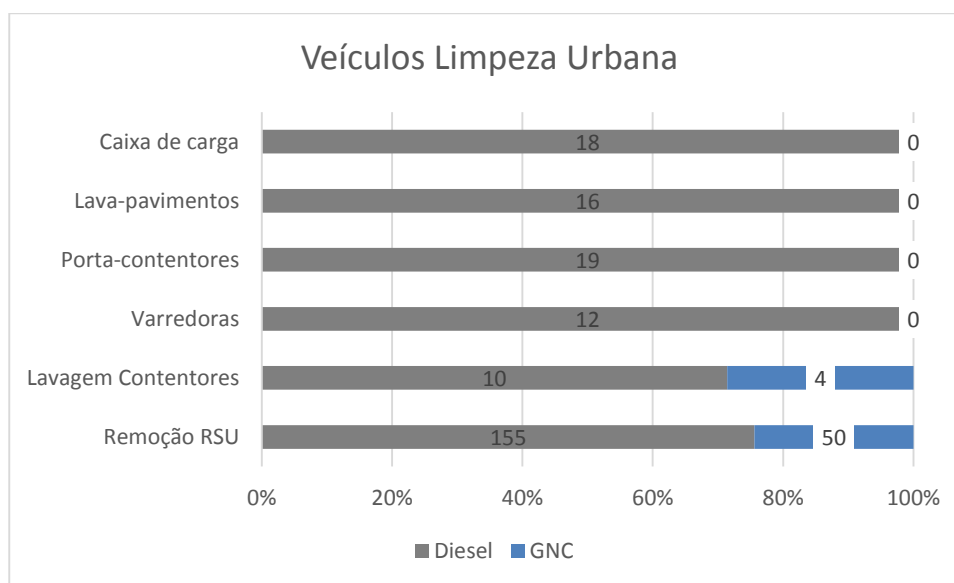


Gráfico 21 - Distribuição de Veículos Pesados da frota da CML [32]

Como se pode ver no gráfico acima o maior número de veículos é utilizado na remoção de resíduos sólidos urbanos, é também aí onde se pode encontrar a maior fatia de veículos a GN aproximadamente 25%.

Os dados estudados neste capítulo, são referentes aos anos de 2011, 2012 e 2013. Foram analisadas 34 viaturas movidas a Diesel e 19 a GN, todas afetas ao serviço de remoção de

resíduos. Estes são os dados mais recentes que o departamento de reparação e manutenção mecânica da CML dispunha na altura do início deste trabalho. Resolveu-se estudar 3 anos para que se tenha uma amostra suficientemente expressiva.

4.2. Caracterização da frota

Serão agora caracterizados os veículos dos quais se analisarão os consumos de combustível, custos de manutenção, custos de aquisição e eficiência.

Os quatro modelos estudados, todos de recolha de resíduos sólidos urbanos, dividem-se da seguinte forma:

- Dois a gás natural da mesma marca (Iveco)
- Dois a Diesel, de duas marcas diferentes (Volvo e Mercedes-Benz)

Os valores utilizados na análise do custo fixo de aquisição apenas dizem respeito ao chassis sem o sistema de recolha e compactação de resíduos. Utiliza-se este valor para diminuir os erros acrescidos pelas variações de preço do equipamento, para a análise em causa apenas importa considerar as diferenças do custo de aquisição dos veículos movidos a GN e a Diesel. Outra razão, é que em alguns veículos, o dispositivo de recolha e compactação de resíduos é reaproveitado de viatura para viatura, dessa forma considerou-se para todo o estudo os valores referentes apenas aos chassis.

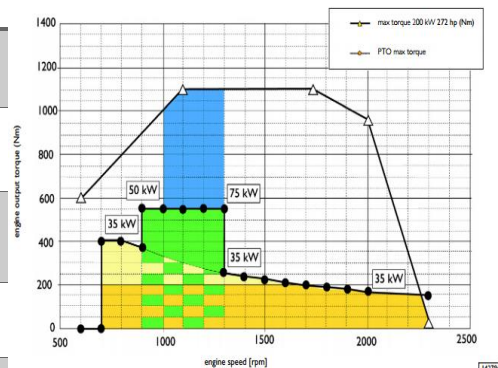
4.2.1. Iveco Stralis AD190S27 C GNC

Nos dados fornecidos pela CML encontram-se 16 viaturas do modelo apresentado de seguida. É um modelo de remoção de RSU que conta com uma capacidade de carga entre os 14 e 16 m³. Dos dados fornecidos estes veículos são os mais avançados tecnologicamente no que diz respeito ao motor e preocupação ambiental, uma vez que são todos matriculados entre 2009 e 2012, respeitando todos a norma ambiental EURO V.

Tabela 12 - Iveco Stralis AD190S27 C GNC [32], [33]



Cilindrada	7790 cc
Configuração	6 em linha
Diâmetro x curso	115 x 125 mm
Válvulas	4 / Cilindro
Gestão motor	Eletrónica
Peso Bruto	19 ton



Estes veículos tiveram um custo de aquisição médio de 123 944,51€ (valor médio devido às pequenas variações de preço entre as várias entregas).

4.2.2. Iveco Eurotech MP 190E26P C GNC

Os restantes veículos da frota analisados cujo combustível é o Gás Natural são do modelo abaixo descrito. Deste modelo apenas foram disponibilizados os dados relativos a três veículos, mas torna-se interessante o estudo e comparação com o outro modelo a GN, uma vez que este é um veículo mais antigo e com uma norma ambiental anterior ao IVECO STRALIS.

Os 3 veículos deste modelo foram recebidos pela CML no ano de 2007, tendo um custo unitário de 158 259,280€.

Como estes veículos foram recebidos em 2007 no mês de Fevereiro, significa que foram matriculados antes, em 2006 para dar tempo à transformação e montagem do contentor de recolha de resíduos, isto significa que a norma ambiental vigente à altura era a EURO IV.

Tabela 13 – Iveco Eurotech MP 190E26P C GNC [15], [32]



Cilindrada	9500 cc
Potência	260 cv @ 2100 rpm
Binário	1050 Nm @ 1100 rpm
Configuração	6 em linha
Depósitos	8 x 80 litros
Peso bruto	19 ton

4.2.3. Volvo FLE 1940

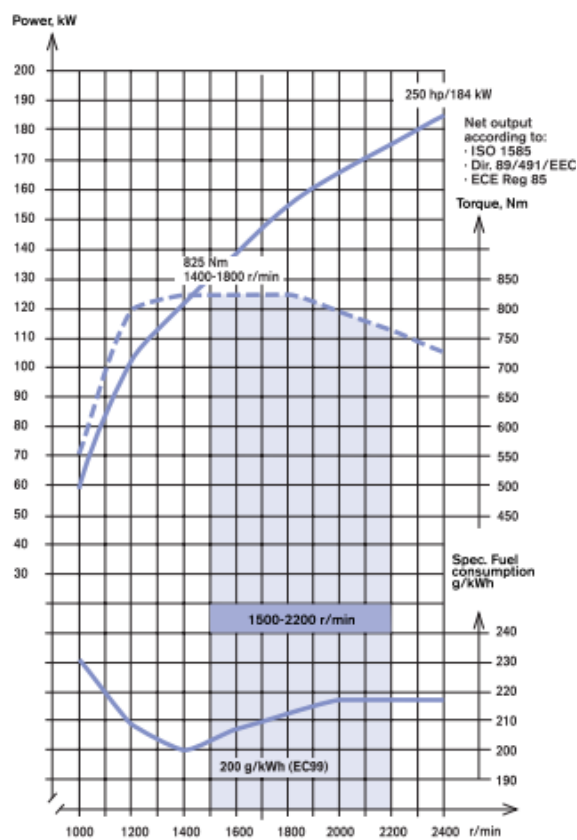
No que diz respeito às viaturas utilizando o combustível convencional, foram disponibilizados dados relativos a duas marcas distintas de veículos. Começa-se por caracterizar o Volvo da série FL6. De todas as viaturas em análise estas são as mais antigas, tendo sido rececionadas a maior parte entre 1998 e 1999 (EURO II). Cerca de quatro anos depois (2003-2004) foram recebidas mais quatro novas viaturas deste modelo, estas últimas satisfazendo as normas ambientais EURO III.

Na Tabela 14 apresenta-se a curva de binário e potência. Este modelo tem um binário máximo de 825 Nm entre as 1400 e 1800 rpm, e uma potência máxima de 250 hp às 2400 rpm.

As viaturas deste modelo tiveram um custo de aquisição médio de 112 410,86€.

Tabela 14 - Volvo FL6[34]

Cilindrada	5480 cc
Cilindros	6
Diâm. curso	98,425 x 120
Gestão	Eletrónica
RC	19:1



4.2.4. Mercedes-Benz Atego 1823 L

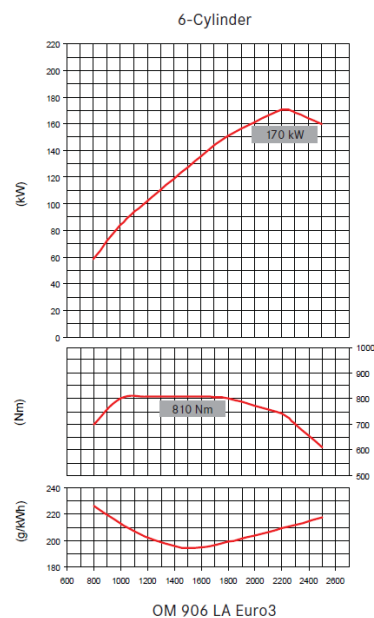
Este é um dos outros modelos a Diesel que será analisado ao longo do trabalho. Foram recebidos 4 no final de 2001 e outros 10 exemplares deste modelo em 2004.

O valor médio de aquisição deste modelo foi de 114 199,45€.

Estes veículos representam nesta análise a frota mais recente no que diz respeito às viaturas movidas a gasóleo. Ainda assim existe uma grande disparidade em comparação com os veículos a Gás Natural, sendo estes muito mais recentes e obviamente apresentam novas tecnologias especialmente no que diz respeito a consumos e emissões. Mais à frente, nas conclusões comparativas aos dois tipos de combustíveis ter-se-á este aspeto em consideração, fazendo uma tentativa de extrapolação de resultados de modo a tornar mais corretas as comparações efetuadas.

Tabela 15 – Mercedes-Benz Atego 1823 L

Cilindrada	6370 cc
Cilindros	6 em linha
Potência	230 cv @ 2200 rpm
Binário	810 N.m @ 1200-1600 rpm
Peso bruto	19 ton



Apresentar-se-á agora uma tabela resumo de todas as características dos quatro modelos estudados:

Tabela 16 - Resumo das especificações dos diferentes modelos

Combustível	Gás Natural		Diesel		
	Modelo	Stralis	Eurotech	FLE 1940	Atego
Cilindrada (cm3)		7790	9500	5480	6370
Binário (Nm)		1100	1050	825	810
Potência (cv)		260	260	250	230
Norma		V	IV	II / III	III

4.3. Caracterização dos dados

Para todos os veículos estudados desta frota foram facultados os seguintes dados referentes a cada veículo:

- Identificação
- Peso bruto
- Cilindrada
- Tipo de combustível
- Classe
- Capacidade da caixa de recolha RSU
- Capacidade do elevador de contentores
- Dias de imobilização
- Data da receção
- Seguros
- Quilómetros percorridos

- Custos combustíveis
- Custos manutenção
- Pneus
- Lavagens
- Portagens

Como o principal objetivo deste trabalho é analisar energética, ambiental e economicamente a utilização de combustíveis alternativos, apenas se irão considerar os dados que influenciam o tipo de combustível usado. Assim ignoraram-se os valores respeitantes aos seguros, pneus, lavagens e portagens. Uma vez que os veículos estudados fazem todos parte da mesma classe, remoção de resíduos sólidos urbanos, alguns dos valores acima referidos não interferem a análise pretendida quer sejam veículos a GN ou Diesel - Tabela 17.

Tabela 17 – Características comuns veículos CML

Características	Valor
Peso bruto	19 ton
Capacidade da caixa de recolha RSU	14 a 16 m ³
Capacidade elevador de contentores	80 a 1100 l
Pneus	Independente do combustível
Lavagens	
Portagens	

4.4. Análise de dados / apresentação de resultados

Será agora feita toda a análise dos dados relativos à frota da Câmara Municipal de Lisboa - CML e a consequente apresentação dos resultados.

Iniciar-se-á esta análise com os veículos a Diesel, de seguida os movidos a GN e por último será feita a comparação e conclusão entre os dois tipos.

4.4.1. Análise por marcas - DIESEL

Como a frota em análise dispõe de viaturas idênticas de duas marcas, torna-se interessante a comparação entre ambas. Serão analisados os quilómetros percorridos, os consumos e os custos de manutenção.

Começar-se-á a análise pelos veículos Volvo. Como referido anteriormente, todas as viaturas Volvo são da série FL6.

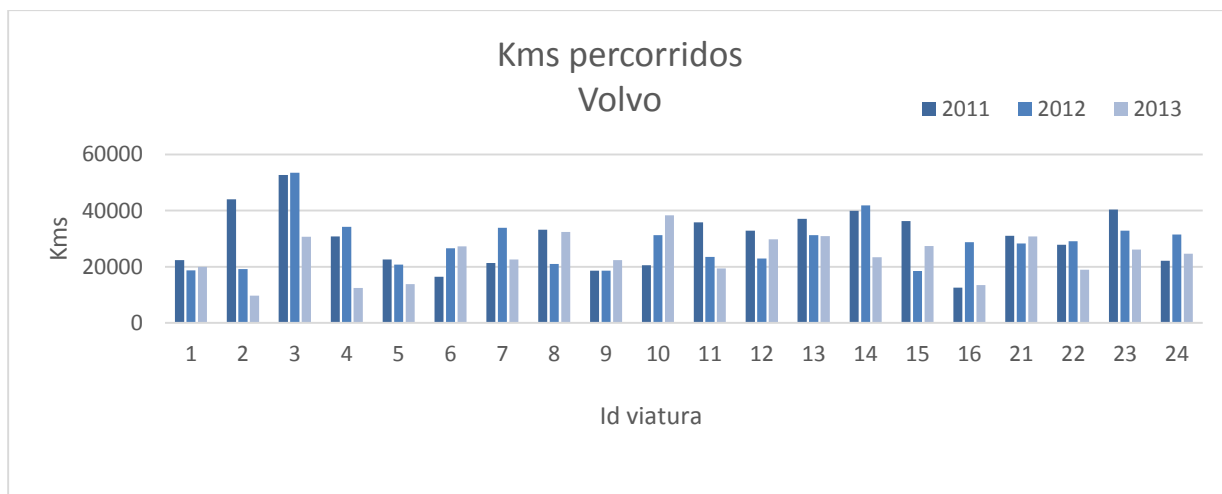


Gráfico 22 – Total de kms percorridos pelas viaturas Volvo para os três anos analisados -CML

No Gráfico 22, pode-se ver o somatório de todos os percursos efetuados pelas 20 viaturas da marca Volvo utilizando Diesel como combustível. As médias de distâncias percorridas são 29918 km, 28293 km e 23708, para os anos de 2011, 2012 e 2013 respetivamente. Pode-se constatar que na maior parte das viaturas as distâncias percorridas diminuem ao longo dos anos, tal como é comprovado com o valor médio anual. Este facto poderá ser explicado pelo envelhecimento da frota e o conseqüente aparecimento de problemas de resolução mais complexa. Recordar-se que alguns dos veículos no ano de 2013 já acumulavam 15 anos de serviço.

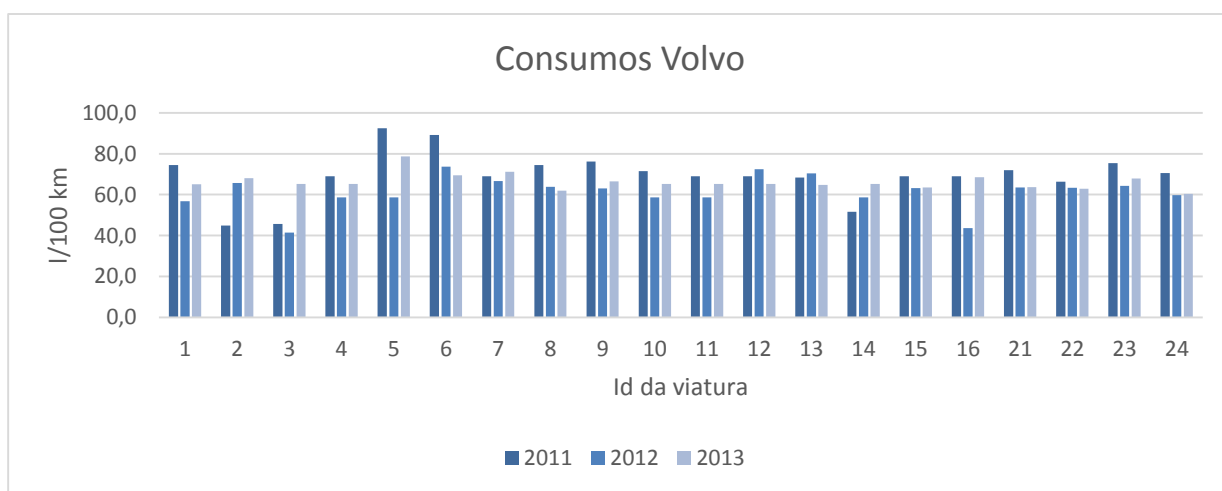


Gráfico 23 – Consumos médios das viaturas Volvo para os três anos analisados - CML

Quanto ao Gráfico 23, repara-se que os valores de consumos de combustível concentram-se na maioria perto do valor médio. Os valores médios para os 3 anos são: 68,9 l/100 km para 2011; 60,9 para 2012; 66,8 para 2013. Os valores para o ano de 2013 apresentam um desvio padrão inferior que os restantes anos, significando assim valores mais próximos.

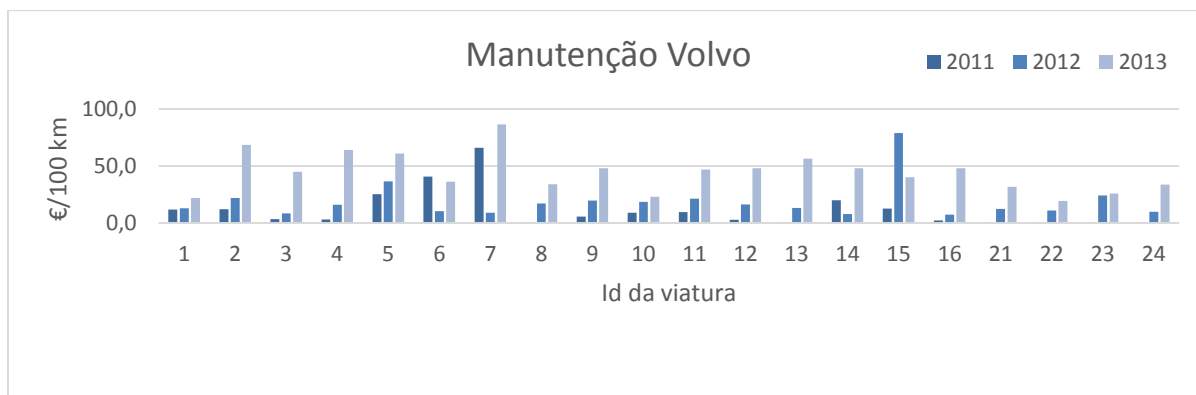


Gráfico 24 – Gastos de manutenção viaturas Volvo para os três anos analisados – CML

Analisando o gráfico acima pode-se ver os custos que a CML despendeu em manutenção com as 20 viaturas Volvo ao longo dos 3 anos. Em todas as viaturas à exceção da 7 e 15 o custo da manutenção é diretamente proporcional ao aumento da idade da frota. Isto pode ser explicado pelo aumento da idade da frota e consequente maior desgaste, aumentando assim os custos de manutenção.

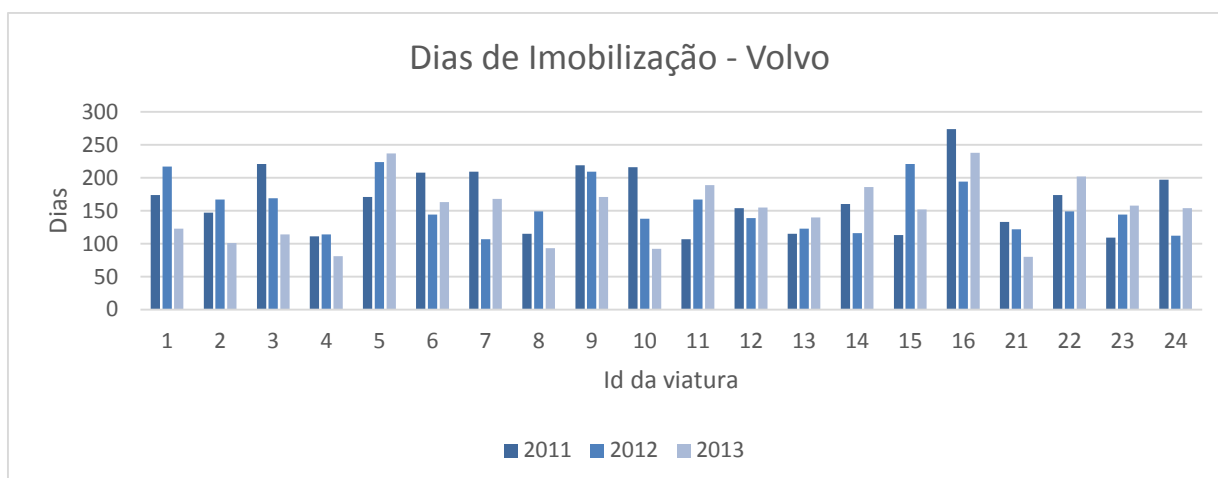


Gráfico 25 – Dias de imobilização das viaturas Volvo para 2011, 2012 e 2013 - CML

No último gráfico da análise aos veículos Volvo apresenta-se a totalidade de dias que obrigaram à imobilização da viatura devido a problemas mecânicos. Os valores médios são 166, 156 e 149 dias para os anos 2011, 2012 e 2013 respetivamente. Estes são valores elevados, e representam aproximadamente 40% de inutilização durante um ano, deixando assim alguma dúvida na veracidade destes valores. Com esta análise contraria-se o que foi dito aquando da apresentação dos quilómetros percorridos para estas viaturas. Verifica-se que a média de 2013 é inferior aos restantes anos, o que não seria esperado, uma vez que com o aumento da idade os problemas tendem a aumentar igualmente. No entanto, isto pode ser explicado pelo facto de no ano de 2013 as viaturas Volvo terem percorrido menos quilómetros como já foi mostrado acima.

O mesmo tipo de análise é apresentado para os demais veículos a gasóleo da frota em análise.

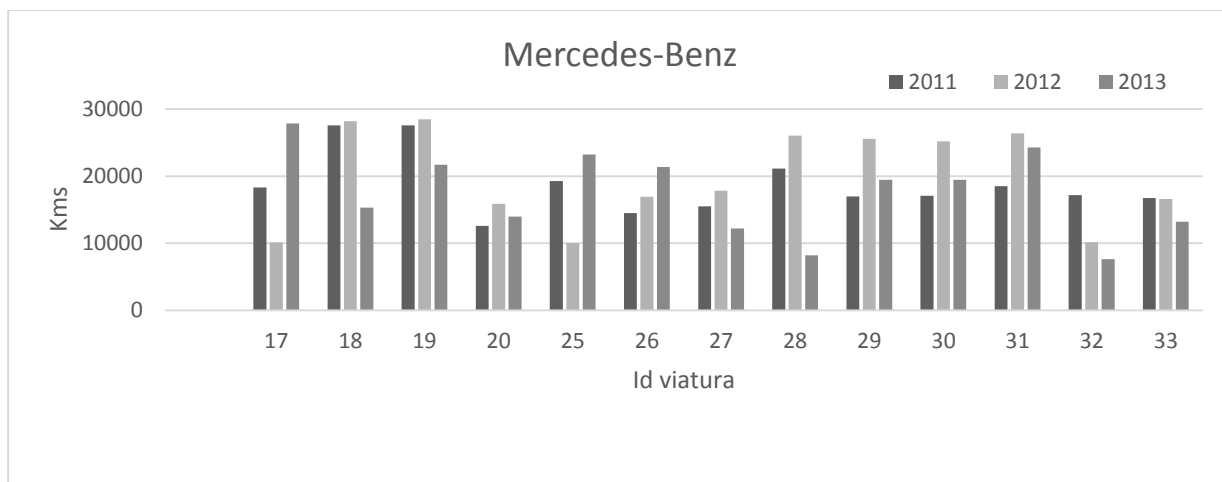


Gráfico 26 - Total de kms percorridos durante os três anos pelas viaturas Mercedes-Benz - CML

As médias de distâncias percorridas para estes veículos são de 18686 km, 19472 km e 17277 km para os respetivos anos de 2011, 2012 e 2013, estes valores são bastante mais baixos que os das viaturas Volvo.

Comparando os dois gráficos pode-se concluir que as viaturas Mercedes-Benz apresentam um menor desvio padrão entre os anos e que as distâncias médias percorridas são inferiores na ordem dos 40%, comparativamente com os veículos Volvo.

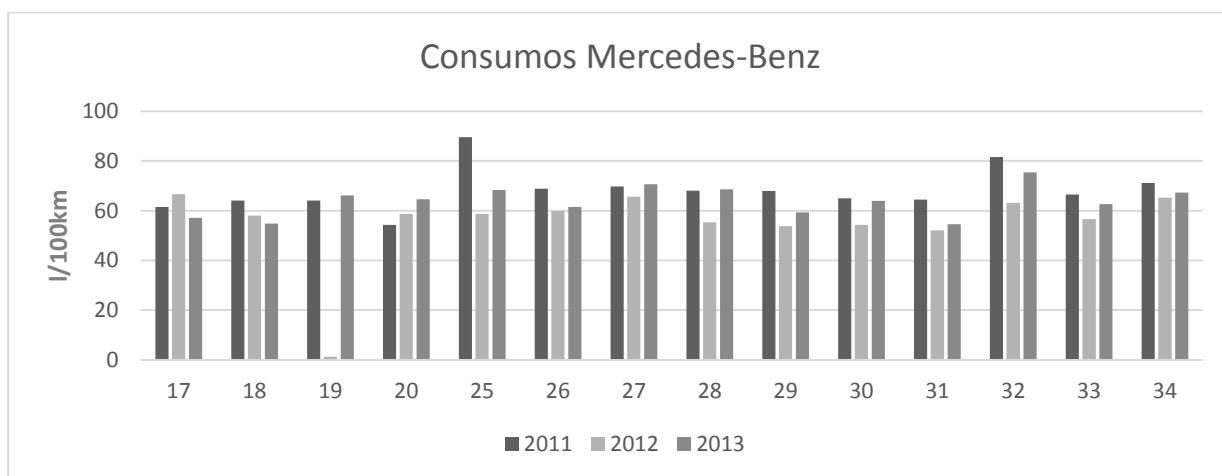


Gráfico 27 - Consumos médios de combustível para viaturas Mercedes-Benz durante os três anos analisados - CML

Quanto aos consumos pode-se ver que estes são bastante lineares com baixos desvios, sendo a média anual de 68,3 l/100km, 54,9 l/100km e 63,9 l/100km para os anos 2011, 2012 e 2013 respetivamente. De referir o caso concreto da viatura 19, como é notório no ano de 2012 apresenta um valor de consumo nulo ou muito perto de zero. Neste caso concreto esta viatura apresenta um valor de 362 dias para o ano de 2012, ou seja tem uma utilização muito diminuta neste ano daí o valor representado no gráfico levar a crer que houve algum engano na medição destes valores uma vez que a quilometragem apresentada é elevada. Neste caso não é tão notório o aumento de consumos com o avançar da idade da frota, sendo que para cada ano não há um aumento tão significativo.

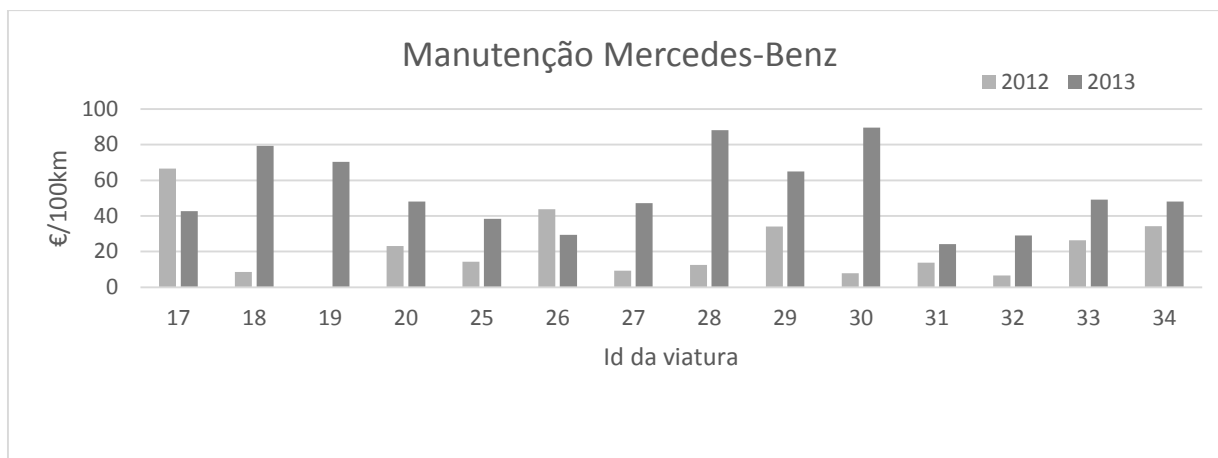


Gráfico 28 - Custos de manutenção viaturas Mercedes-Benz para 2012 e 2013 - CML

Relativamente aos custos de manutenção das viaturas Mercedes-Benz só serão apresentados os valores relativos aos anos de 2012 e 2013, para o ano de 2011 não foram cedidos valores para todas as viaturas pelo que não seria prudente tirar qualquer conclusão. Analisando então estes dois anos obtém-se um valor médio de 21,5€/100 km para o ano de 2012 e 53,5€/100km para o ano de 2013. Comparando com o Gráfico 24 regista-se um aumento na ordem dos 8 a 9 %. Este aumento era expectável pois estes veículos têm uma idade superior.

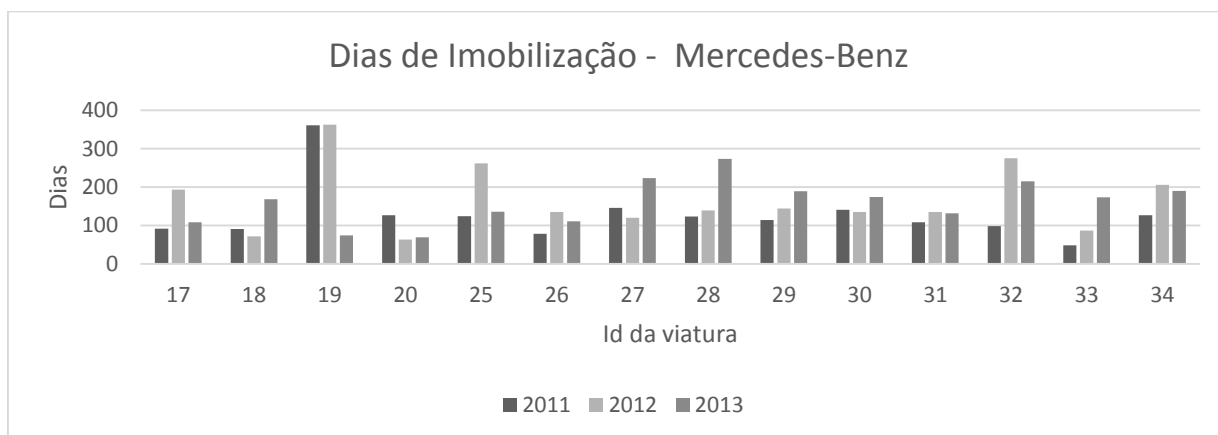


Gráfico 29- Dias de imobilização viaturas Mercedes-Benz para os três anos estudados - CML

No gráfico da inatividade das viaturas Mercedes-Benz verificam-se os seguintes valores médios: 127, 166 e 159 dias – para os anos em estudo. Comparando com o tempo de imobilização das viaturas Volvo tem-se um valor inferior para o ano de 2011, no entanto superior para os restantes anos. Fazendo a média global dos 3 anos as viaturas Mercedes-Benz apresentam um valor inferior em 7 dias.

Como forma de resumo apresentam-se os seguintes gráficos comparativos:

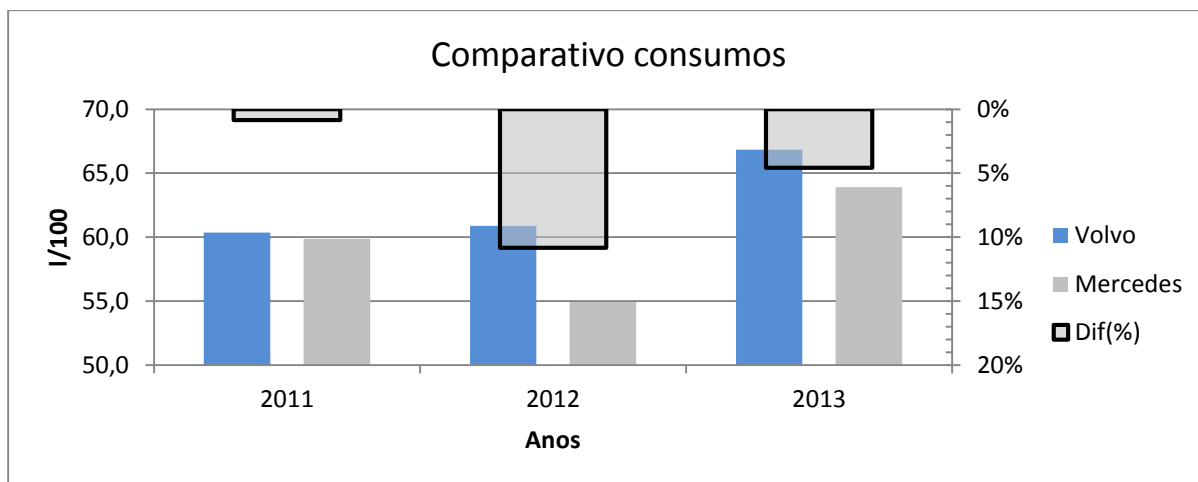


Gráfico 30 – Comparativo consumos por marca para veículos a gasóleo - CML

No

Gráfico 30 mostra-se a comparação dos consumos entre as duas marcas nas barras inferiores e a diferença nas barras superiores. Durante o ano de 2011 os consumos médios das viaturas *Diesel* da CML foram muito semelhantes no entanto com uma pequena diferença, cerca de 2% favorável para a marca Volvo. Nos dois anos seguintes essa diferença foi mais notória sendo de 11% para 2012 e 5% para 2013.

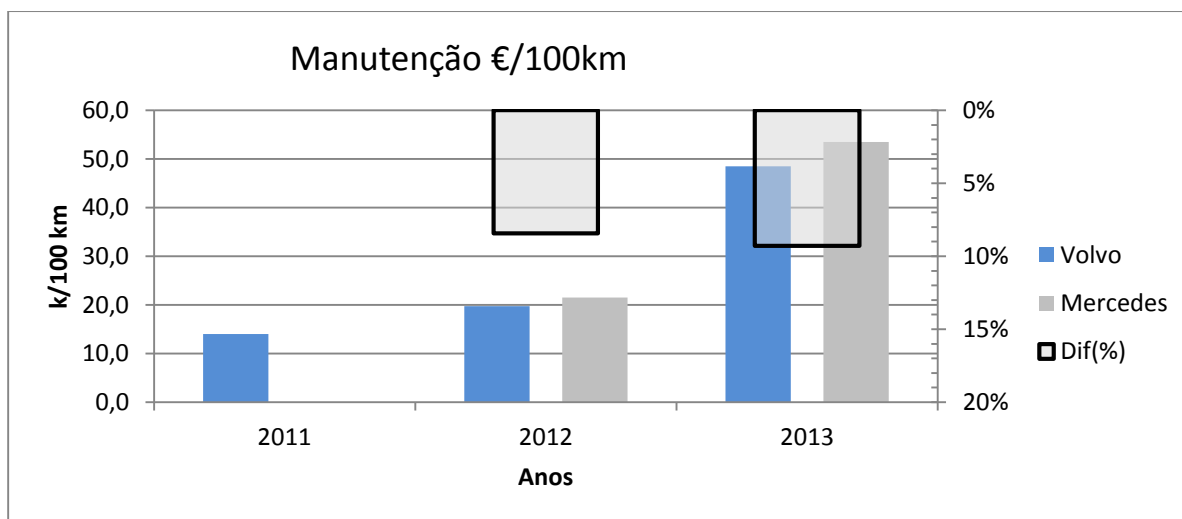


Gráfico 31 – Comparativo custos manutenção por marca para veículos a gasóleo - CML

Analisando os dois gráficos acima é perceptível que as viaturas Volvo apresentam consumos mais elevados e custos de manutenção mais baixos. Quanto aos custos de manutenção a diferença é na ordem dos 8 a 9% para o ano de 2012 e 2013, sendo que neste caso a economia de custos é favorável à Volvo. Como já foi dito anteriormente os custos relativos ao ano de 2011 não foram considerados.

Calculando os custos por 100 quilómetros considerando os custos de aquisição diluídos ao longo da vida útil anunciada, os consumos e as manutenções apresenta-se a tabela abaixo

com os custos anuais da utilização de cada viatura, utilizando a quilometragem anual média de 30000 km por viatura.

Tabela 18 - Custos totais por marca para viaturas Volvo e Mercedes - CML

		Custos anuais		
		2011	2012	2013
Volvo	Aquisição/vida útil	8029,3 €	8029,3 €	8029,3 €
	Combustível+manutenção	28 242,4 €	32 627,9 €	42 153,3 €
	Total	36 271,8 €	40 657,3 €	50 182,6 €
Mercedes	Aquisição/vida útil	-	8 157,1 €	8 157,1 €
	Combustível+manutenção	-	29 543,7 €	42 365,4 €
	Total	-	37 700,8 €	50 522,5 €

Como a análise separada de consumos combustíveis e manutenção apresentou resultados favoráveis a marcas distintas, torna-se inevitável analisar o somatório de custos e constatar qual a marca com custos inferiores de utilização incluindo o custo inicial. Em termos médios é facilmente perceptível que as viaturas Mercedes-Benz são mais económicas, ainda que apresentem um custo superior de apenas 340€ por ano em 2013.

4.4.2. Análise Gás Natural

Analisando os dados relativos aos veículos movidos a Gás Natural, será feita uma análise mais generalizada uma vez que os veículos são da mesma marca, não havendo assim diferenças significativas. No entanto serão distinguidos os modelos EUROTECH dos STRALIS, uma vez que correspondem a normas ambientais diferentes.

Começa-se por apresentar um gráfico da totalidade de quilómetros percorridos pelas viaturas a gás natural. De referir que para o estudo destas viaturas apenas foram fornecidos dados relativos aos anos de 2011 a 2013.

As viaturas 35, 36 e 37 são os exemplares do modelo descrito em 4.2.2., sendo as restantes relativas às descritas em 4.2.1.

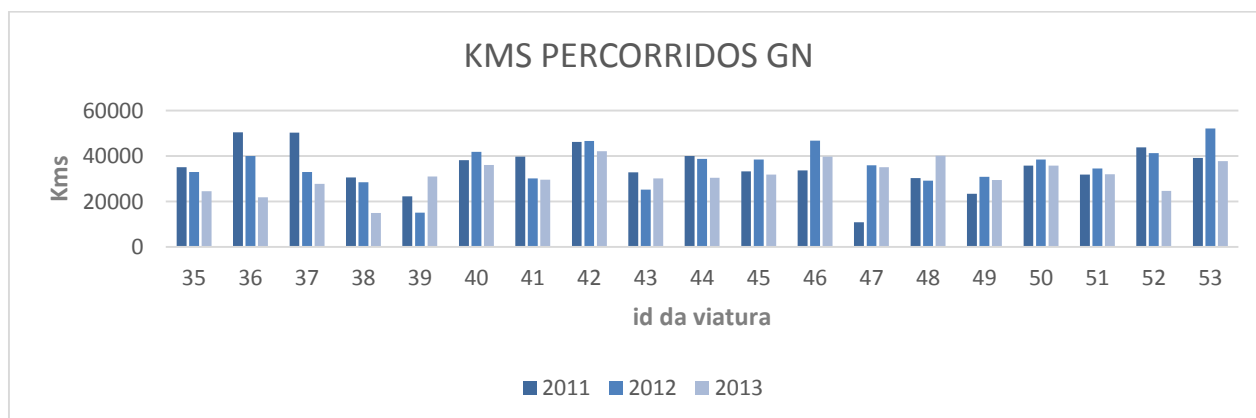


Gráfico 32 – Kms percorridos por viaturas a gás natural durante os três anos em análise - CML

Neste gráfico podem-se ver as distâncias anuais percorridas pelas viaturas a gás natural. Servirá também para escolher os pares comparativos para as 3 viaturas EUROTECH (35, 36 e 37) por semelhança de kms percorridos, assim sendo serão comparadas as viaturas 35 com a 38, a 36 com a 42 e a 37 com a 52.

Os valores médios de distâncias percorridas são: 35145 kms para 2011, 35764 km para 2012 e 31329 km para 2013.

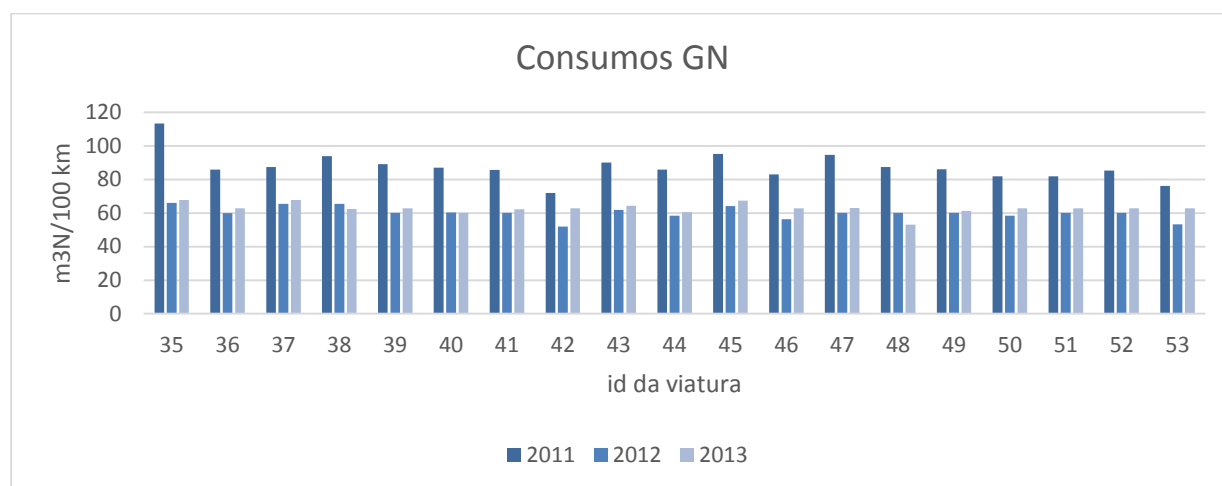


Gráfico 33 – Comparativo de consumos para as viaturas a GN 2012 e 2013 - CML

No Gráfico 33 pode-se ver que entre o ano de 2012 e 2013 a diferença dos consumos é quase mínima sendo as diferenças na ordem de 1%, havendo um ou outro caso pontual que excede estes valores, regra geral os consumos superiores registaram-se no ano de 2013. No ano de 2011 verifica-se um aumento de consumos na ordem dos 28%, aumento este que não tem razão aparente de ser. Não é resultante de um período de adaptação porque as viaturas já estavam todas ao serviço há mais de um ano. Não se relaciona com o desgaste das viaturas uma vez que nos anos seguintes o consumo baixou. Durante o ano de 2011 os preços do gás natural foram os mais baixos dos três anos, devido ao aumento do IVA de 6% para os 23%. Assim sendo e como não se encontra uma explicação plausível para o facto deste aumento desprezam-se os valores de consumos para o ano de 2011.

A diferença mínima entre os anos de 2012 e 2013 vem comprovar a veracidade dos valores de consumos de combustível, sendo então estes os usados para as análises seguintes.

Tabela 19- Comparativo de consumos GN por modelos – CML (m³N/100km)

	2012			2013		
	EUROTECH	STRALIS	Dif (%)	EUROTECH	STRALIS	Dif (%)
35 / 38	65,99	65,45	1%	67,85	62,43	8%
36 / 42	60,01	51,99	13%	62,89	62,75	0%
37 / 52	65,38	60,14	8%	67,69	62,75	7%

Na Tabela 19 vê-se a comparação entre os 3 pares comparativos de veículos. Confirma-se o que já era expectável, um consumo mais elevado das viaturas EUROTECH

comparativamente com as STRALIS esta é anterior a 2007 ou seja é regulada pela norma ambiental EURO IV. O modelo STRALIS foi adquirido após 2009 sendo regulamentado pela norma seguinte (EURO V). Assim este modelo apresenta valores de consumo mais baixos, contando com mais tecnologias e sistemas quer de tratamento de gases de escape quer a nível de consumo de combustível.

Mostra-se de seguida o gráfico dos dias de imobilização das viaturas a gás natural.

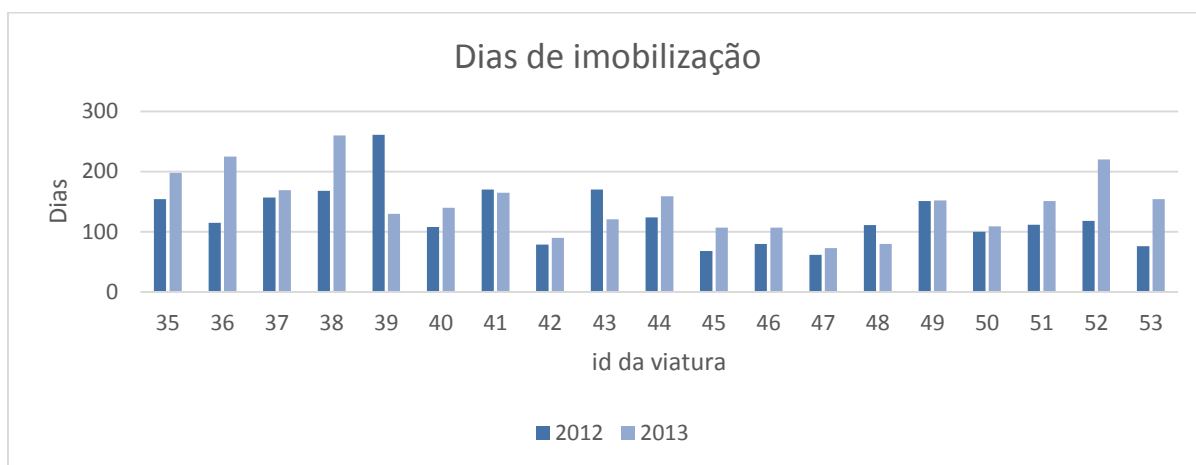


Gráfico 34 - Dias de imobilização para as viaturas a GN 2012 e 2013 - CML

No Gráfico 34 consegue-se verificar o somatório de dias que as viaturas a GN estiveram imobilizadas devido a problemas mecânicos. Destacam-se alguns casos esporádicos com paragens acima dos 200 dias certamente relacionados com problemas mecânicos de difícil resolução.

Os valores médios são de 125 dias para 2012 e de 147 para 2013, um aumento que seria esperado pelo aumentar da idade da frota.

De seguida serão analisados os custos com a manutenção. No entanto só são apresentados valores para o ano de 2013 uma vez que os valores fornecidos para os restantes anos não apresentavam coerência e seria impossível retirar qualquer tipo de conclusões.

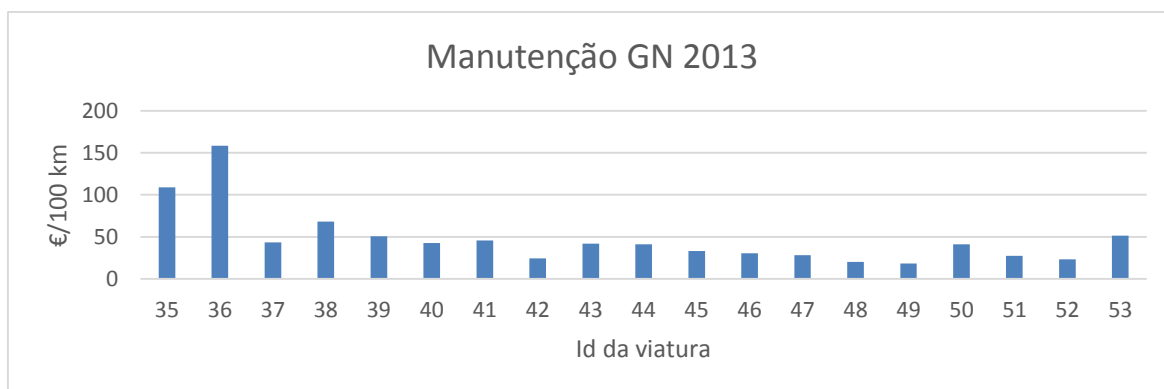


Gráfico 35 - Custos manutenção para as viaturas a gás natural 2013- CML

Analisando o gráfico da manutenção consegue-se criar uma analogia com o período de imobilização das viaturas, especialmente para as viaturas 35 e 36 que apresentam um custo de manutenção por 100 quilómetros elevado. Por apresentarem um tempo longo de imobilização, para o cálculo do valor médio estes dois valores serão considerados anómalos sendo desprezados. Assim o valor médio considerado efetivamente é de 37,13€/100 km.

4.4.3. GNC vs Diesel

No presente capítulo será apresentada uma análise comparativa dos resultados em que se comparam os dois tipos de combustíveis utilizados na frota. De salientar o facto de se estar a comparar veículos semelhantes no que diz respeito à sua funcionalidade mas diferentes quanto às tecnologias utilizadas, uma vez que entre veículos da frota abastecida a GNC e os abastecidos a Diesel existe uma diferença de aproximadamente 9 anos. Tendo em conta este constrangimento, esta comparação será de qualquer modo efetuada até porque são os dados disponibilizados e que representam uma realidade efetiva.

Será feita mais à frente feita uma comparação entre os veículos a GN da frota comparando com veículos semelhantes atuais, respeitando a norma EURO VI.

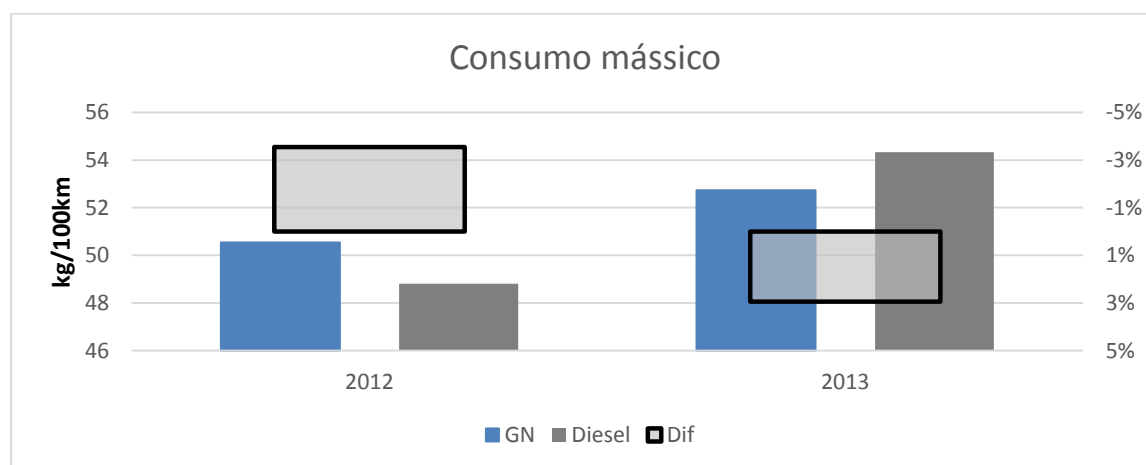


Gráfico 36 – Comparação de consumos mássicos médios para todas as viaturas em análise - CML

Tabela 20 – Massa volúmica Diesel e GN [35][36][37]

GN	0,8404 kg/m ³ N
GPL	510 kg/m ³
Diesel	832,5 kg/m ³

No Gráfico 36 é revelada a comparação de consumos médios de todos os veículos estudados quer a GN ou Diesel. Até aqui os consumos apresentados foram em m³/100 km para o combustível gasoso e l/100 km para o Diesel, aqui e por uma questão de coerência com as unidades converteu-se tudo para uma análise mássica, sendo apresentado o consumo em kg/100 km. Na Tabela 20 são apresentados os valores de massa volúmica para os dois

combustíveis. Neste gráfico mostra-se ainda a diferença em percentagem dos dois tipos de combustíveis, representado na barra transparente.

A diferença entre os consumos mássicos tem sinais opostos, ou seja para o ano de 2012 regista-se um consumo superior nas viaturas a GN cerca de 4 %, para o ano seguinte o consumo é superior nas viaturas Diesel na mesma proporção. Esta diferença é mínima sendo facilmente causada por mudanças esporádicas de circuitos, aspetos climáticos, aumento de carga, entre outros. Calculando a média dos dois anos os consumos mássicos são praticamente iguais. Como as diferenças não são significativas de ano para ano, não se podem tirar muitas conclusões, no entanto e como em termos médios dos dois anos os valores são semelhantes pode-se esperar uma maior economia de custos para as viaturas a gás natural uma vez que o custo deste combustível é inferior comparativamente ao Diesel, para o comprovar apresenta-se de seguida um gráfico onde se representam os custos com combustível.

Será importante também fazer uma análise energética para comparar os dois combustíveis em termos de eficiência energética. Dessa forma apresentam-se os valores de poder calorífico inferior para os 3 combustíveis estudados na Tabela 21.

Tabela 21 - PCI para os vários combustíveis (valores médios) [38]

Diesel	42,8 MJ/kg
Gás Natural	46,1 MJ/kg
GPL	46,6 MJ/kg

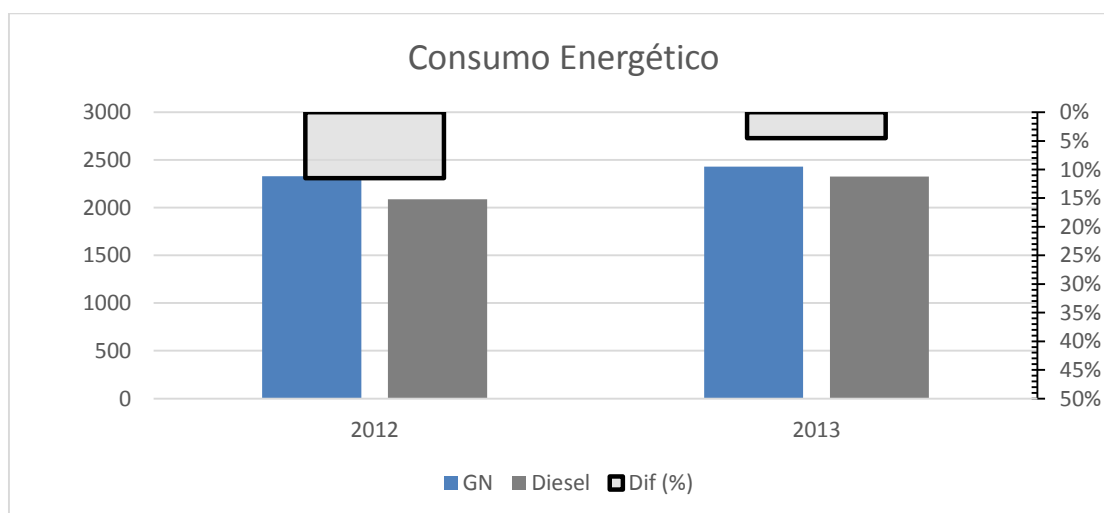


Gráfico 37 – Comparação consumo energético médio para todas as viaturas em análise – CML

Com uma breve análise ao consumo energético dos anos de 2012 e 2013 para os veículos da CML, vê-se que nos dois anos o consumo a nível energético foi superior para os veículos a GN, deve-se essencialmente ao fato do GN ter um poder calorífico maior face ao gasóleo.

Fazendo agora uma análise económica traduziram-se os valores mássicos para o custo final de utilização apresentando os valores de custo por 100 km, como é mostrado no gráfico seguinte.

Na Tabela 6 apresentam-se os preços praticados nos 3 anos para os dois combustíveis estudados, sendo os valores da GN fornecidos pela CML. É de salientar que em Outubro de 2011 a carga fiscal sobre o preço do gás natural sofreu um aumento de 17 % devido à passagem do IVA de 6 para 23%. O valor do Diesel foi retirado da referência bibliográfica. [27]

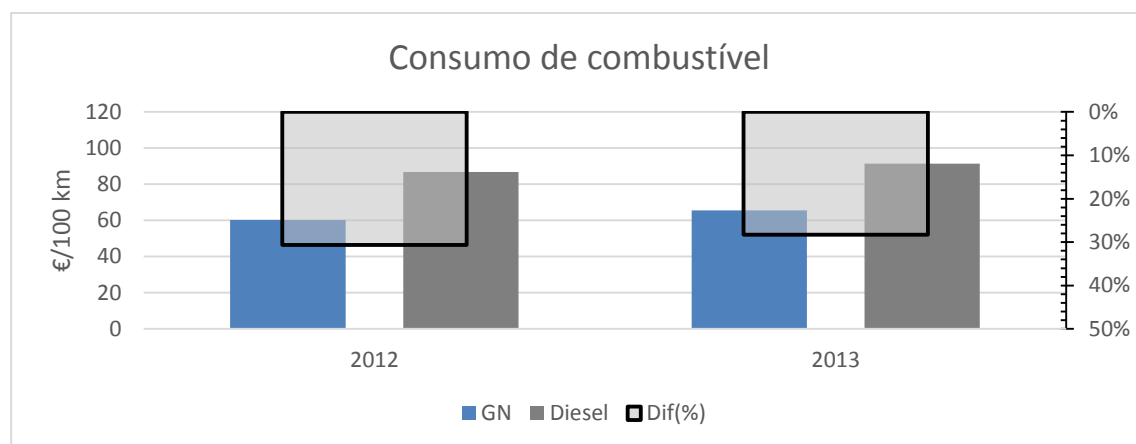


Gráfico 38 – Comparação de consumos médios combustíveis 2012 e 2013 - CML

Analisando o gráfico de consumos é possível verificar que os valores despendidos são menores para os veículos a GN, uma vez que o preço é muito inferior quando comparado com o Diesel. Os preços médios para os 3 anos do GN são inferiores em aproximadamente 3% por kg em relação ao Diesel. Essa diferença influencia os gastos de combustíveis com viaturas a gás natural, reduzindo-os comparativamente aos veículos Diesel. Recorda-se o facto da diferença de idades das viaturas, esse fator é bastante importante uma vez que no caso de uma viatura gásóleo mais recente os consumos certamente baixariam. Os custos com combustível são inferiores para as viaturas a GN na ordem dos 25-30% para os anos de 2012 e 2013, representado pela barra a cinzento no Gráfico 38.

Será abordado agora outro aspeto da análise económica de uma frota: a manutenção. Os dados disponibilizados apenas eram coerentes para os anos de 2012 e 2013, razão pela qual foram descartados os valores referentes a 2011.

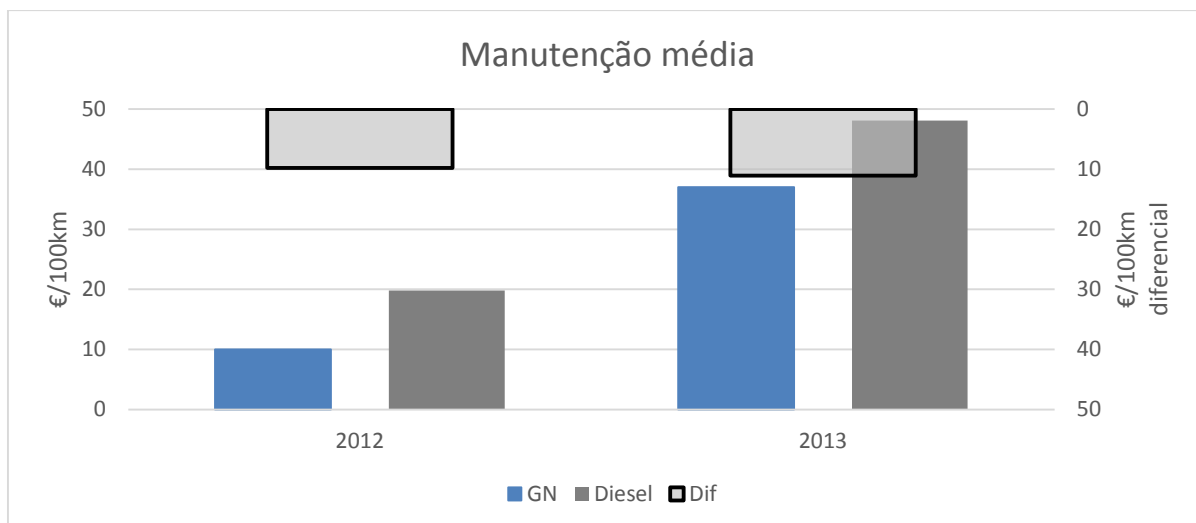


Gráfico 39 – Manutenção média para todas as viaturas estudadas - CML

Neste gráfico mostram-se os custos de manutenção numa base anual média para os dois anos em estudo, sendo este valor apresentado em €/100km. Como já era expectável, os valores superiores estão associados aos veículos Diesel, uma vez que têm uma idade e uma utilização acumulada superior aos movidos a gás natural. As diferenças absolutas dos valores Diesel para GN são bastante próximas, representando assim que a evolução dos gastos passado um ano manteve-se constante para os dois combustíveis. Já era de esperar que no ano de 2013 fosse despendido um maior valor com a manutenção uma vez que os veículos estão com uma maior quilometragem e idade associada.

Para melhor ilustrar até que ponto é compensatória a utilização de veículos a GN criou-se uma fórmula de cálculo dos custos ao longo do tempo, em que se entrou em conta com os custos de aquisição e com os custos variáveis.

$$c(t) = \text{custo aquisição} + (\text{consumo} + \text{manutenção})t \quad (\text{eq.1})$$

Em que:

$$\text{consumo} = \text{€/km}_{\text{consumo}} \cdot \text{kms}_{\text{anuais}} \quad (\text{eq.2})$$

$$\text{manutenção} = \text{€/km}_{\text{manutenção}} \cdot \text{kms}_{\text{anuais}} \quad (\text{eq.3})$$

Para o gráfico apresentado abaixo os valores de consumo e manutenção por km utilizados foram os já apresentados em gráficos anteriores, neste caso para o ano de 2012, e a quilometragem anual utilizada foi de 30 000 km, aproximadamente 100 km diários ao longo de 6 dias por semana.

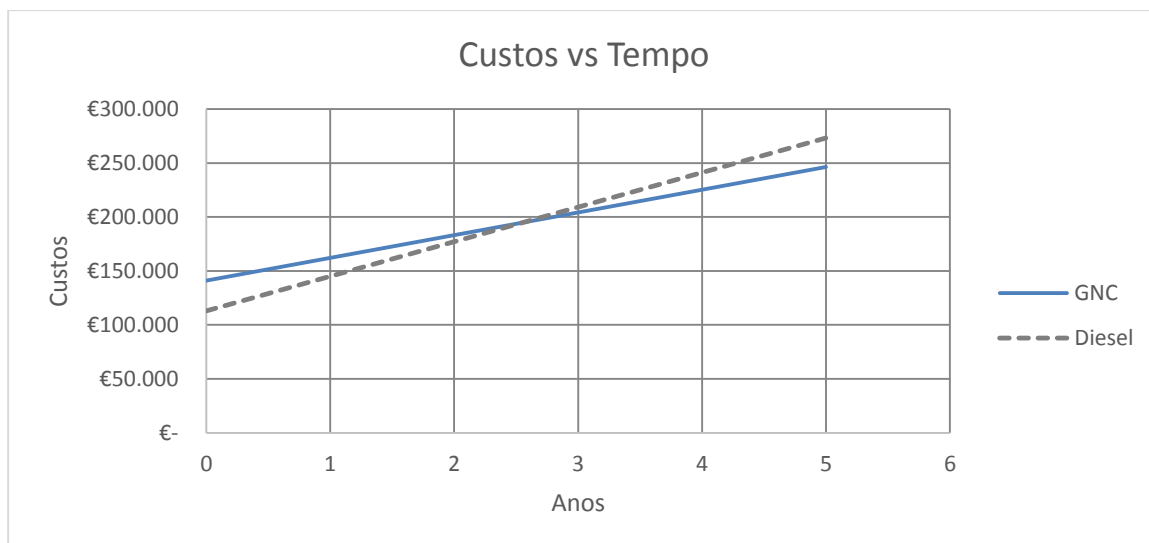


Gráfico 40 – Regressão linear custos vs tempo - CML

As duas retas cruzam-se muito próximo dos 2,5 anos ou seja a partir desse ponto a diferença de valor de custo inicial cerca de 28 000€ é diluída ficando assim a opção de Gás Natural a ser mais económica.

Com esta regressão pode-se ainda extrair mais alguns dados relativos à poupança ao final de alguns anos. Deste modo obtêm-se os valores diferenciais de custos ao final de 5 e 10 anos:

- 5 Anos: 31 243,17€
- 10 Anos: 90 443,07€

Como se pode ver a diferença ainda é bastante significativa, ao multiplicar-se pelas 20 viaturas a GN estudadas ao final de 5 anos a CML seria possível economizar cerca de 620 000 €, quantia esta que poderia ser utilizada na aquisição de 5 novas viaturas a gás natural, reduzindo assim a idade média da frota bem como os custos associados.

4.4.4. Comparação com EURO VI

Como já foi referido anteriormente as comparações feitas em 4.4.3. os veículos Diesel têm uma idade muito superior quando comparada com os movidos a GNC. De forma a perceber-se melhor a influência e evolução das tecnologias será feita a comparação com um veículo semelhante com a norma EURO VI. Para tal usaram-se os valores de consumo específico de combustível apresentado pela marca.

Comparam-se os veículos apresentados em 4.2.3. com os novos IVECO EURO CARGO EURO VI, veículos semelhantes quanto à motorização e características. Retirou-se então o valor da

Tabela 14 relativo ao consumo específico para o binário máximo: aproximadamente 212 g/kWh @ 1800 rpm (valor máximo de consumo específico para o binário máximo). Para o veículo EURO VI retirou-se o valor de consumo específico do catálogo de especificações fornecido pelo fabricante. [39]

Tabela 22 - Especificações IVECO EUROCARGO EURO VI [39]

	4 CYLINDERS			6 CYLINDERS			
Engine Commercial name	E16	E19	E21	E22	E25	E28	E32
Engine type EURO 6	F4AFE411A°C	F4AFE411B°C	F4AFE411C°C	F4AFE611A°C	F4AFE611E°C	F4AFE611C°C	F4AFE611D°C
Intake	TCA - Waste Gate			TCA - Waste Gate			
Flywheel housing	SAE 2			SAE 2			
Cooling	Water			Water			
Injection	Direct			Direct			
N. of cylinders	4			6			
Total displacement	4485 cc			6728 cc			
Bore x stroke	104 x 132 mm			104 x 132 mm			
Max. power output	118 kW (160 HP)	137kW (190 HP)	152kW (210 HP)	162kW (220 HP)	185kW (250 HP)	206kW (280 HP)	235kW (320 HP)
Speed	2500 rpm	2500 rpm	2500 rpm	2500 rpm	2500 rpm	2500 rpm	2500 rpm
Max. torque	580Nm (59kgm)	680Nm (69kgm)	750Nm (76kgm)	800Nm (81kgm)	850Nm (87kgm)	1000Nm (102kgm)	1100Nm (112kgm)
Peak Torque Speed	1250 rpm	1250 rpm	1400 rpm	1250 rpm	1250 rpm	1250 rpm	1250 rpm
Specific fuel consumption (Max power) (*)	216,3 g/kWh	213,8 g/kWh	216,4 g/kWh	216,4 g/kWh	215,1 g/kWh	214,3 g/kWh	216,7 g/kWh
Specific fuel consumption (Max torque) (*)	196,4 g/kWh	195,6 g/kWh	194,9 g/kWh	199,1 g/kWh	197,7 g/kWh	197,2 g/kWh	197,6 g/kWh
Injection	High Pressure Common Rail			High Pressure Common Rail			
Cold starting	Yes (available as option CCP 3283)			Yes (available as option CCP 3283)			
Heated filter	Yes			Yes			
Weight, dry	397 Kg			526 Kg			
Total oil capacity	8,4 Lt			10,9 Lt			

* Valores obtidos em banco de ensaio

Escolheu-se para a comparação o modelo E25 de 6 cilindros, por ter o motor mais idêntico aos veículos VOLVO da série FLE. Então da imagem acima extrai-se o valor de consumo específico ao binário máximo de 197,7 g/kWh.

Fazendo a diferença em relação ao veículo Volvo obtém-se uma redução de 7% dos consumos específicos da passagem de EURO III para EURO VI.

Com estes valores de consumos específico e com um valor de velocidade média por hora chega-se facilmente aos consumos representados em l/100 km. Para estes cálculos utilizou-se uma média de 35 km/h (valor que aproxima os consumos calculados aos reais das viaturas EURO III).

Como os valores de consumo específico que se têm dizem respeito a um regime concreto do motor calculou-se a potência para esse regime:

$$P = T\omega \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

-T: binário (N.m)

$$-\omega = RPM \frac{2\pi}{60} \quad (\text{eq.5})$$

Calculou-se assim os valores de potência para os dois modelos:

Tabela 23 - Volvo FLE vs EURO VI

VOLVO FLE		EURO VI IVECO EUROCARGO	
Binário Máx. (N.m)	825	Binário Máx. (N.m)	850
RPM	1500	RPM	1250
P (kW)	129,59	P (kW)	111,26
SFC (g/kWh)	212,00	SFC (g/kWh)	197,7

Com os valores da tabela pode-se utilizar a fórmula do “*specific fuel consumption*” (SFC):

$$SFC = \frac{\dot{m}}{P} \leftrightarrow \dot{m} = SFC \cdot P \text{ (eq. 6)}$$

Apresentam-se assim os valores de consumo de combustível por hora:

VOLVO FLE		EURO VI IVECO EUROCARGO	
\dot{m}(g/h)	27473,23	\dot{m}(g/h)	21997,04

Utilizando o valor médio de 35 km/h, chega-se ao valor de consumo representado em l/100km.

$$\text{consumo (l/100)} = \frac{100}{35} * \frac{m}{1000} * \rho_{diesel} \text{ (eq.7)}$$

Apresentam-se assim aos valores finais:

VOLVO FLE		EURO VI IVECO EUROCARGO	
l/100 km	65,35	l/100 km	52,32
Diferença			
19,9%			

O valor de diferença entre os consumos dos dois tipos de viaturas é um valor meramente explicativo das diferenças que se poderiam esperar caso se substituíssem viaturas atuais da frota CML, por viaturas mais recentes EURO VI. Os valores de consumo específico são os apresentados pelas marcas e obtidos em banco de ensaio, sendo que a passagem para a utilização no dia-a-dia trará alterações a esses valores.

Com a substituição dos veículos EURO III por EURO VI conseguia-se uma poupança teórica de aproximadamente 20%. De seguida apresentar-se-á uma tabela resumo em que quantificará a poupança caso se substituíssem os veículos *Diesel* por viaturas mais recentes.

Tabela 24 - Poupança EURO III vs EURO VI

2011	2012	2013
Consumo EURO III (l/100 km)		
60,1	57,9	65,4
Consumo EURO VI (l/100 km)		
48,2	46,4	52,4
Diferença (l/100 km)		
12,0	11,5	13,0
Diferença €/100 km		
16,39	17,05	18,21

Como se pode ver, em termos médios há uma poupança de 17€ por cada 100 km que cada viatura EURO VI percorra ao invés das atuais EURO III. Fazendo uma conta simples para a quilometragem anual de 30 000 km de cada viatura, a redução seria de aproximadamente 5100€ por viatura, multiplicando pelas 34 viaturas a Diesel EURO III resulta numa poupança de 173 400€.

Ainda assim esta redução de consumos não atinge em termos médios os custos de combustíveis das viaturas a GN, tal como é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 25 - Custos em €/km para viaturas a gás natural da frota e EURO VI semelhantes (valores teóricos)

	GN (€/100 km)	Diesel (€/100 km)	Dif (%)
2012	60,2	68,6	12%
2013	65,5	73,3	11%
Média	62,9	71,0	11%

Tal como se pode ver na Tabela 25 os custos por cada 100 quilómetros para uma viatura Diesel EURO VI são em média 11% superior comparativamente com o gás natural. Conclui-se daqui então que a solução mais económica seria a utilização de viaturas a gás natural.

4.4.5. Emissões

Atendendo à influência das emissões poluentes dos veículos para o ambiente, justifica-se a realização de uma abordagem a nível de emissões dos gases poluentes. Estes valores não são registados pelo departamento de gestão de frotas da CML, desse modo toda esta análise será feita tendo por base as equações da combustão e as tabelas de valores limite para as normas EURO.

Será feita a análise entre os veículos Diesel, e entre os veículos GN e Diesel.

EURO III vs EURO VI

Na tabela abaixo apresentam-se os valores limite para as duas normas. Este comparativo tem o intuito de perceber o quão vantajoso seria a nível ambiental substituir os veículos Diesel EURO III pelos mais recentes. Os valores são apresentados em g/kWh.

Tabela 26 – Limites EURO III e EURO VI em g/kWh [40]

	CO	HC	NO _x	PM
EURO III	2,1	0,66	5	0,1
EURO VI	1,5	0,13	0,4	0,01

Como os valores estão apresentados em g/kWh, estes podem ser facilmente convertidos em g/km, utilizando os valores do capítulo 4.4.4. (velocidade média e potência) utilizando a seguinte analogia de unidades:

$$\frac{g}{km} = \frac{kW \cdot \frac{g}{kWh}}{km/h} \text{ (eq. 8)}$$

Utilizando então os valores de potência calculados acima e a velocidade média pode-se calcular as emissões máximas que cada norma permite para cada veículo, em g/km. Tabela 27.

Tabela 27 – Diferença entre EURO II e EURO VI em g/km

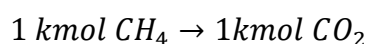
	CO	HC	NO _x	PM
EURO III	7,78	2,44	18,51	0,37
EURO VI	4,77	0,41	1,27	0,03
Dif (%)	39%	83%	93%	91%

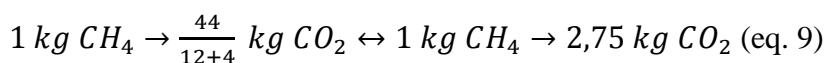
No caso do NO_x a diferença entre ambos os veículos é de 93%. Para as 34 viaturas EURO III a percorrer a média de 30 000 km anuais, seriam emitidos para a atmosfera menos 17 586 kg de NO_x, caso fossem substituídas por viaturas que cumprissem a atual norma EURO VI. Relembra-se que estes são valores máximos que as normas obrigam a satisfazer, ou seja a diferença apresentada é assim também uma diferença máxima, o que em casos reais teria obrigatoriamente de ser inferior a esse valor.

GN vs Diesel:

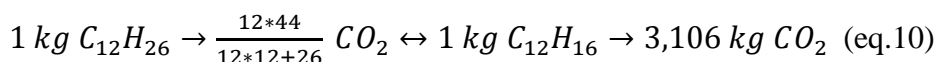
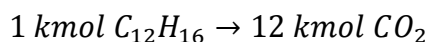
Para se fazer a comparação entre os dois tipos recorreu-se à equação da combustão para analisar as emissões de CO₂ para a atmosfera. Considerou-se um caso de combustão completa.

Para o gás natural:





Para o Diesel:



Comparando os dois valores há uma redução de 0,356 kg de CO₂ emitido para a atmosfera utilizando gás natural em vez de Diesel por cada kg de combustível consumido.

Efetuada uma análise global ao combustível gasto nos 3 anos e as emissões de CO₂ adjacentes é possível obter os dados apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Comparativo anual de emissões de CO₂ para a frota da CML

		2011	2012	2013
Diesel	€ comb.	693.955,29 €	713.704,43 €	648.487,38 €
	Kg Diesel	421691,81	401458,74	385618,39
	Kg CO ₂	1.309.774,76	1.246.930,85	1.197.730,72
GN	€ comb.	485.427,88 €	405.786,71 €	388.706,91 €
	kg	486672,9381	340682,4716	312726,8799
	Kg CO ₂	1.338.350,58	936.876,80	859.998,92

Na Tabela 28 pode-se ver o custo que a CML despendeu em combustíveis durante os 3 anos para as 34 viaturas Diesel, e para as 19 a gás natural. Dividindo o valor total dos combustíveis pelo preço por litro em cada ano (m³ no caso do gás) e multiplicando de seguida pela massa volúmica de cada combustível obtém-se os quilogramas de combustível utilizado para cada ano. Assim, multiplicando o valor pela razão de emissões que se chegou através das equações da combustão chega-se ao valor de CO₂ emitido para a atmosfera durante cada ano para cada tipo de veículo. Com estes valores pode-se ver que as emissões provenientes dos veículos a gás natural são inferiores em todos os anos (exceto no ano de 2011), no entanto não se pode tirar mais conclusões uma vez que as viaturas comparadas (GN e Diesel) não percorreram os mesmos percursos nem estão em igual número distribuídas na frota. Assim e para melhor se analisar a nível ecológico os dois tipos de combustíveis apresenta-se agora a tabela dos valores médios emitidos por km.

Tabela 29 – Emissões de CO₂ por km - CML

	2011	2012	2013
Diesel (kg)	1,52	1,49	1,67
GN (kg)	2,00	1,38	1,44

Com esta tabela já se consegue perceber que os veículos a GN emitem menos CO₂ por km, isso é visível nos anos de 2012 e 2013, emitindo menos 110 g e 230 g respetivamente. O ano de 2011 é um ano anómalo quanto aos consumos, decidindo-se assim não retirar conclusões com esses valores.

De forma a se poder tirar conclusões quanto às melhorias a nível ambiental da substituição de toda a frota a *Diesel* por um combustível alternativo ecologicamente mais favorável fez-se a seguinte tabela.

Tabela 30 – Emissões de CO₂ para a substituição de Diesel por GN

kg	2012	2013
CO₂ (Diesel)	1246930,85	1197730,72
CO₂ (GN)	1156048,89	1034547,61
Diferença	90881,95	163183,11

A primeira linha da tabela tem o valor de CO₂ emitido para a totalidade de quilómetros percorridos por todas as viaturas da frota a Diesel para o ano de 2012 e 2013. Caso se substituísse toda a frota Diesel por GN (valor apresentado na segunda linha) conseguia-se uma melhoria de sensivelmente menos 90 ton. para o ano de 2012 e de quase menos 163 ton. para o ano 2013 de CO₂ emitidos para a atmosfera.

4.5. Conclusões

Fazendo agora uma conclusão geral à utilização dos veículos a gás natural na frota da CML, percebe-se facilmente a vantagem que há utilização deste combustível alternativo. Em comparação com as viaturas atualmente existentes na frota a Diesel a poupança é notável, ao final de 5 anos consegue-se amearhar uma quantia que cobre os gastos de combustíveis durante um ano inteiro.

Quanto à análise por marcas verifica-se que nos veículos a gasóleo atuais da frota os mais económicos são os Mercedes-Benz apresentando consumos menores apresentando custos de manutenção ligeiramente superiores. Verificou-se ainda que os custos de manutenção tendem a aumentar com o aumento da idade dos veículos o que já era esperado.

A nível comparativo dos veículos a GN, os veículos EURO V são mais económicos face aos EURO IV. Mantendo-se essa tendência nos novos veículos adquiridos para esta frota, tal como era expectável, apresentarão por isso resultados ainda mais favoráveis.

Fez-se ainda a comparação entre os veículos EURO III da atual frota e dos novos EURO VI. para se perceber se seria eficaz esta substituição. Como já era esperado os valores de consumos foram mais baixos (cerca de 20%) para os veículos com as tecnologias mais recentes. Ainda assim, comparando com os veículos a gás natural estes mantêm melhores prestações de consumos.

Na perspetiva ambiental os veículos EURO VI são obrigados a emitir quantidades muito inferiores de gases e partículas poluentes. Tendo em conta que os veículos são utilizados em ambientes essencialmente urbanos, era prudente ter em conta o fator ambiental e substituir as viaturas mais antigas por outras com mais tecnologias mais recentes para o tratamento de gases de escape. A análise de emissão CO₂ provou o que já foi dito na revisão bibliográfica, o gás natural é um combustível mais limpo emitindo menos CO₂ por kg de combustível utilizado.

Após esta análise percebe-se facilmente que é vantajosa a reformulação da frota de recolha de resíduos sólidos urbanos da Câmara Municipal de Lisboa, começando por substituir os veículos mais antigos ou por viaturas Diesel mais recentes ou por viaturas a gás natural, sendo estas últimas mais eficazes em todos os aspetos estudados. Apesar de implicar um custo elevado a substituição das viaturas, ficou aqui provado que ao fim de alguns anos essa diferença é diluída sendo até compensatória ao final de um período de 5 anos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Apresentação de resultados – Carris

Neste quinto capítulo são analisados os dados relativos a outra frota de gás natural, constituída por autocarros que circulam em Lisboa da empresa Carris. A utilização de autocarros movidos a gás natural remonta ao ano de 2001 com a aquisição de 20 autocarros. [41]

A Carris sempre teve uma grande preocupação a nível ambiental e em 2008, como prova disso obteve a certificação de acordo com a norma NP EN ISO 14001 comprovando que a atividade da empresa se rege pelo controlo e minimização de todos os aspetos que possam prejudicar o meio ambiente. [42]

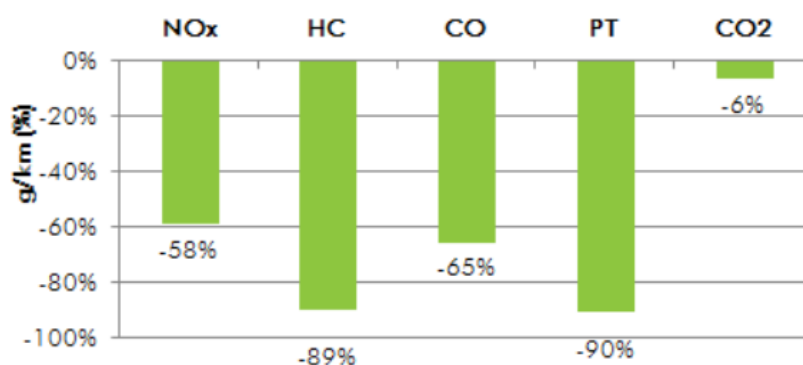
Assim com a vasta experiência de utilização de veículos a gás natural, este é um caso de estudo bastante interessante que vale a pena ser analisado.

5.1. Introdução aos dados em estudo

A Carris tem uma forte preocupação a nível ambiental, contando com vários tipos de veículos utilizando combustíveis alternativos ao petróleo. Atualmente a frota conta com 60 autocarros movidos a GNC, para além deste combustível podem-se verificar outras alternativas ao petróleo: autocarros híbridos, autocarros com misturas gasóleo/biodiesel, elétricos e a célula de combustível.

Toda a frota da Carris tem sofrido uma renovação sendo atualmente a idade média de 8,6 anos, cerca de metade do que se podia contabilizar no ano de 2004. Este fator contribuiu de forma significativa para a redução das emissões de poluentes como se mostra no gráfico seguinte:

EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES POLUENTES E DAS EMISSÕES DE CO₂



△ (2013-2003)

Gráfico 41 – Emissões poluentes Carris (2003-2013) pela análise de sustentabilidade [41]

Como se pode ver houve uma redução de 90% nas emissões de partículas e de 89% nas emissões de hidrocarbonetos entre 2003 e 2013. Estes valores são bastante positivos no que toca à preocupação ambiental. É ainda notória a redução nas emissões de óxidos de azoto (NO_x) na ordem de 58%.

Outra redução conseguida com a renovação da frota foi o ruído. Os veículos mais antigos apresentam um valor limite de 85 dB(A) e os mais recentes um limite de 76 dB(A).

5.2. Caracterização da frota

Neste trabalho serão analisados dois tipos de veículos, os que são movidos por motores a Diesel e os que são movidos por motores alimentados com gás natural comprimido.

A frota da Carris, no ano de 2013, era composta por 60 autocarros a GNC cumprindo as normas EURO II, EURO IV e EEV (, em quantidades iguais. Quanto aos veículos *Diesel* existem 428 autocarros: 44 EURO II; 344 EURO III; 40 EURO V.

Em 2013 voltou a não ser possível a aquisição de novas viaturas devido aos constrangimentos impostos aos investimentos no setor empresarial do estado, assim a idade média da frota passou dos 7,6 anos de 2012 para os 8,6 anos no ano de 2013. [41]

Atualmente a Carris usufrui de uma estação de enchimento de gás natural privada nas suas próprias instalações,

Para a presente análise serão utilizados valores relativos às viaturas VOLVO B7R LE MK3 a gasóleo e MAN 18.310 HOCL-NL GNC a gás natural, que se descrevem com maior detalhe seguidamente.

Os custos de aquisição dos dois tipos de veículos não foram conhecidos, no entanto sabe-se que em média a aquisição de um autocarro a GNC é superior na ordem dos 25%, face a um autocarro semelhante a gasóleo. [19]

Ambos os veículos estudados são de transporte de passageiros, tendo características dimensionais semelhantes, bem como as respetivas lotações. Desta forma os veículos demonstram-se comparáveis, uma vez que desempenham os mesmos tipos de serviço e percursos semelhantes (circuitos urbanos essencialmente)

5.2.1. Volvo B7R LE MK3

O veículo abastecido a gasóleo que é estudado neste capítulo do trabalho é um autocarro com a norma EURO V da marca VOLVO com as especificações apresentadas na Tabela 31.

O autocarro a gasóleo analisado tem um motor de seis cilindros que debita uma potência máxima de 290 cv às 2100 rpm. Relativamente a este modelo foi possível ter acesso a valores de consumos médios para 40 viaturas.

Tabela 31 – Especificações do autocarro VOLVO B7R [43]

Volvo B7R LE MK3	
Comprimento (m)	12
Largura (m)	2,55
Altura (m)	3,15
Distância entre eixos (m)	6,06
Peso bruto (kg)	17796
Lotação	84
Motor	
Cilindrada (cm³)/ cilindros	7146 / 6
Potência máx. (cv)	290 @ 2100 rpm
Binário máx. (Nm)	1200 @ 1050-1650 rpm
Depósito (l)	310
Norma	EURO V

5.2.2. MAN 18.310 HOCL-NL GNC

Analogamente ao verificado para os veículos abastecidos a *Diesel* apresentam-se na Tabela 32 as especificações para os autocarros movidos a gás natural. Estes autocarros dispõem de um motor ciclo Otto com ignição por faísca.

Tabela 32 – Especificações autocarro MAN 18.310 GNC[44]

MAN 18.310 HOCL-NL GNC	
Comprimento (m)	12
Largura (m)	2,55
Altura (m)	3,45
Distância entre eixos (m)	5,88
Peso bruto (kg)	17538
Lotação	81
Motor	
Cilindrada (cm³)/ cilindros	12816 / 6
Potência máx. (cv)	310 @ 2000 rpm
Binário máx. (Nm)	1250 @ 1000-1700 rpm
Depósito (l)	7 x 190 @ 200 bar
Norma	EEV

Este autocarro tem uma cilindrada superior ao *Diesel*, no entanto os valores de potência e binário são semelhantes o que se justifica atendendo ao menor poder calorífico do gás natural. Realçam-se os depósitos que totalizam 1330 l de armazenamento de gás natural a uma pressão de 200 bar. A norma ambiental que este autocarro cumpre é a EEV (*Enhanced environmentally friendly vehicle*), que se situa temporalmente entre a EURO V e EURO VI.

Para estes autocarros foram considerados os valores para 20 viaturas distintas.

5.3. Caracterização dos dados

A análise da frota da Carris foi feita com base nos dados facultados, essencialmente valores de consumos médios. Neste caso não se consegue ter uma perceção tão clara dos quilómetros percorridos uma vez que cada viatura faz diversos percursos não estando afeta a um mesmo e único circuito.

Foram então fornecidos valores de consumos por 100 km para cada autocarro e para cada mês durante todo o ano de 2013, bem como os quilómetros totais percorridos por cada autocarro.

Foi ainda disponibilizada a lista de todas as intervenções feitas a cada veículo, sendo que nalguns casos não é explícito o teor da reparação, será por esse motivo feita apenas uma comparação às manutenções essencialmente relativa ao número de entradas dos autocarros em oficina.

Resumidamente para 40 autocarros a Diesel e 20 a gás natural foram fornecidos os consumos mensais médios, os quilómetros percorridos, e os descritivos das obras para cada manutenção efetuada. Para além disso foram ainda disponibilizadas as características técnicas dos dois modelos a analisar.

5.4. Análise de dados / apresentação de resultados

De forma análoga ao capítulo anterior, procede-se agora à análise dos dados fornecidos pela Carris relativos aos seus autocarros Diesel e gás natural.

Neste caso os autocarros estudados são bastante semelhantes, não se tem o problema do caso de estudo anterior em que havia uma discrepância enorme das datas de matrícula dos dois tipos. Será feita uma análise separada em primeiro lugar e de seguida uma análise comparativa entre os dois tipos de combustíveis. No final serão tiradas as conclusões da utilização dos dois combustíveis.

5.4.1. Análise *Diesel* – Carris

Na análise aos autocarros a Diesel, estão em estudo 40 viaturas da marca Volvo já apresentadas em 5.2.1.

No Gráfico 42 são apresentados os quilómetros totais percorridos com cada autocarro ao longo do ano de 2013.

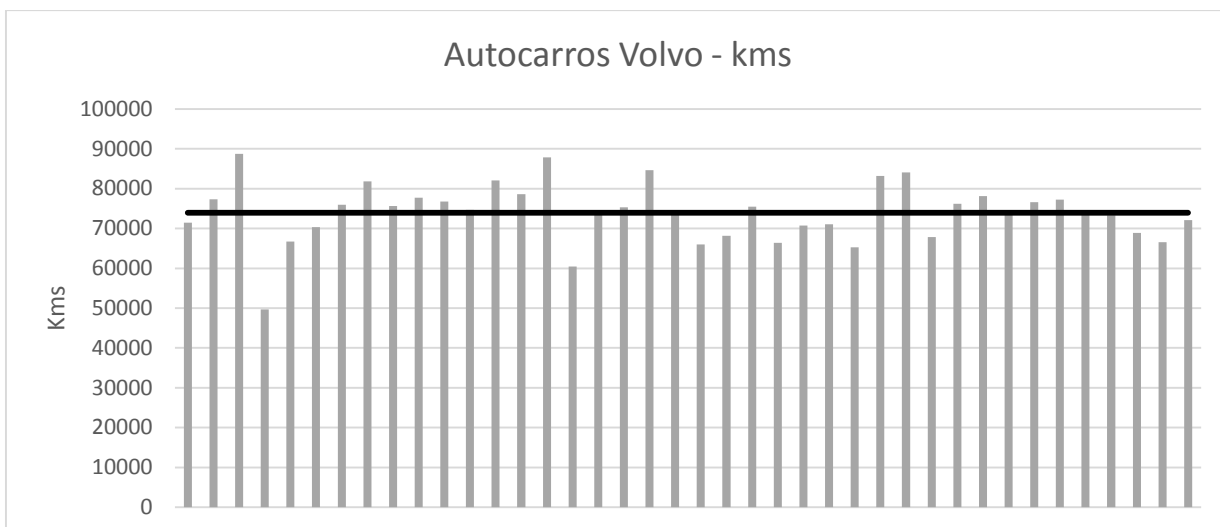


Gráfico 42- Kms percorridos pelos autocarros Volvo (Diesel) - Carris

A identificação de cada viatura vai do número 1741 ao 1780 (legenda omitida do gráfico por uma questão de espaço). Nele pode-se ver na reta a preto o valor médio de quilómetros percorridos (73 900 km) o que dá uma média diária próxima dos 200 kms. O valor médio obtido é um valor bastante coerente uma vez que a maior parte das viaturas se encontra próximo desse valor, contam-se apenas alguns casos mais distantes (quer positiva quer negativamente). Destaca-se a viatura 1744 com uma atividade baixa e as viaturas 1743 e 1755 com uma atividade elevada perto dos 90000 kms no ano de 2013.

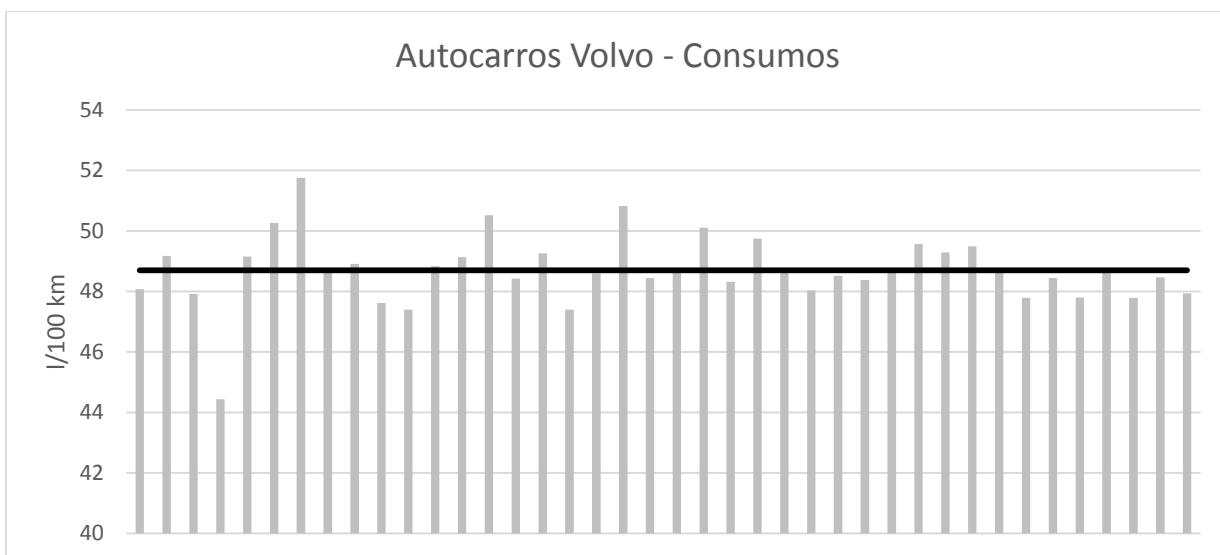


Gráfico 43 - Consumos médios autocarros Volvo (Diesel) – Carris

No Gráfico 43 mostram-se as médias de consumos ao longo do ano de 2013 para todas as viaturas. O valor médio é de 48,70 l/100, com o desvio padrão médio de 1,15 l/100km

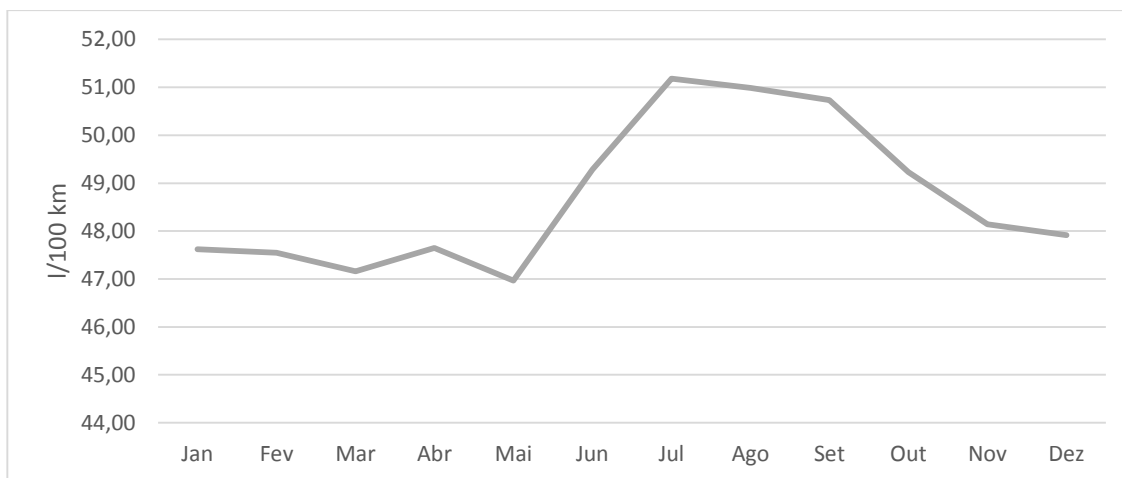


Gráfico 44 – Evolução mensal consumo médio de Diesel - Carris

No Gráfico 44 é possível avaliar a distribuição dos consumos médios ao longo dos meses. Verifica-se um aumento do consumo de gasóleo durante os meses mais quentes atingindo o pico entre o mês de Julho e Agosto. Este facto pode ser explicado com uma maior taxa de utilização do ar condicionado e por um possível aumento da ocupação dos veículos.

Será feita agora uma análise à manutenção, neste campo apenas foram fornecidos dados para as intervenções em cada autocarro com uma pequena descrição da reparação efetuada, na tabela seguinte mostra-se a totalidade de vezes que os autocarros da marca Volvo deram entrada nas oficinas.

Tabela 33 – Manutenções por veículo Volvo - Carris

Manutenção - Volvo	
Por veículo	48,07 Intervenções / ano
A cada 5000 km	3,24 Intervenções

Chega-se a um valor médio de 48,07 intervenções por veículo para o ano estudado, o que conjugando com o valor médio anual de kms percorridos resulta no valor médio de 3,24 intervenções de manutenção a cada 5000 km percorridos. Este é um valor elevado para autocarros de uma idade tão reduzida, no máximo estes autocarros têm 5 anos. Aqui aumenta o grau de incerteza destes valores uma vez que as intervenções poderão ser de natureza estrutural (interiores, chapa, pintura, etc.) e não somente de mecânica que seria o necessário para avaliar o desempenho da utilização destes veículos.

5.4.2. Análise Gás Natural - Carris

Será agora feita toda a análise aos dados relativos aos autocarros a gás natural da Carris, tal como foi feito nos autocarros Diesel. A amostra neste caso é mais reduzida sendo que apenas se tem dados relativos a 20 autocarros da marca MAN apresentados em 5.2.2.

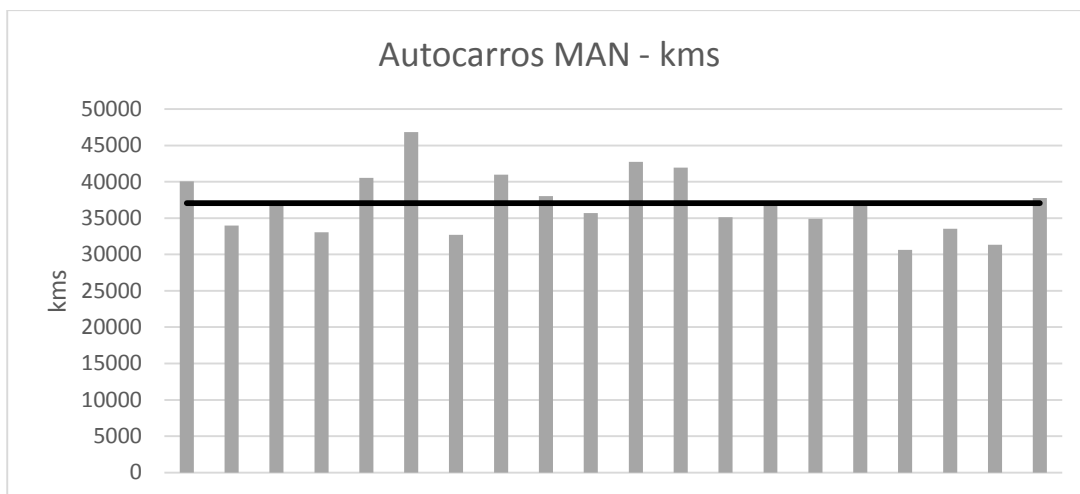


Gráfico 45 – Distâncias percorridas pela totalidade dos autocarros MAN (GNC) – Carris

No gráfico acima é possível ver os quilómetros percorridos pelos 20 autocarros movidos a gás natural comprimido durante o ano de 2013 (identificadas entre o número 2801 e 2820). O valor médio para este ano é de 37046 kms. Regra geral todas as viaturas próximas do valor médio apresentando um desvio padrão de 4060 km, existindo apenas o caso excepcional da viatura 2806, que apresenta um valor de sensivelmente 10000 km acima da média. Salienta-se que este valor é aproximadamente metade do que os autocarros a Diesel percorrem.

Seguidamente serão apresentados os valores de consumo médio para estas viaturas.

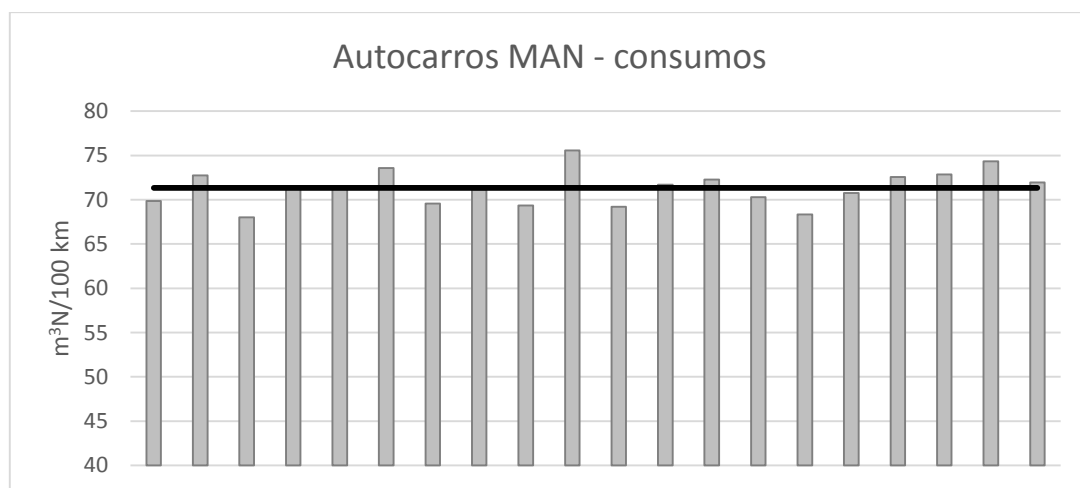


Gráfico 46 – Consumos de combustíveis médios para os autocarros MAN (GNC) - Carris

Como se pode ver os consumos para os autocarros a gás natural são bastante constantes e com diferenças muito ligeiras relativas ao valor médio, apresentando um desvio padrão de 1,92 m³N/100km. O valor médio de consumo para todos os autocarros estudados a gás natural é de 71,34 m³N/100km.

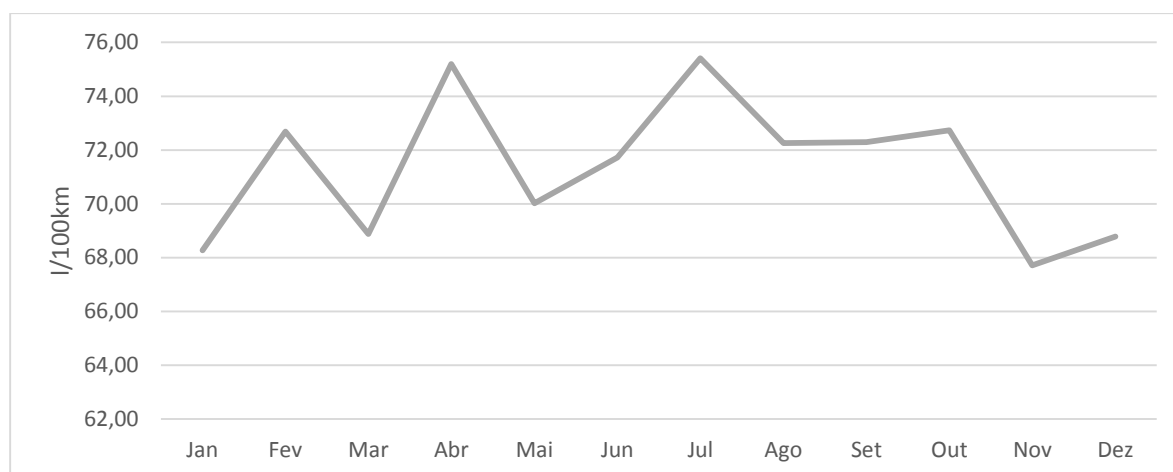


Gráfico 47 – Evolução dos consumos médios de GN por mês para os autocarros analisados - Carris

Observando o gráfico de distribuição anual dos consumos médios de GNC para os autocarros da Carris não se verifica nenhum padrão de comportamento sazonal, ao invés do que se constatou com os autocarros com motores Diesel. Neste caso a evolução tem vários picos não sendo possível retirar grandes conclusões acerca das variações nos consumos mensais. Estes picos poderão estar associados a épocas turísticas mais fortes.

Quanto às manutenções será feita a mesma análise que nos autocarros a Diesel. Na prática foi elaborado um cálculo médio do número de manutenções anuais.

Tabela 34 – Resumo anual de manutenção MAN (GNC) - Carris

Manutenção MAN	
Por veículo	34,25 Intervenções
A cada 5000 km	4,62 Intervenções

Para os 20 autocarros a gás natural foram efetuadas 34,24 intervenções em cada veículo em média no ano de 2013. Conjugando com os quilómetros percorridos resulta no valor de 4,62 intervenções a cada 5000 km. Mais uma vez estes valores mostram-se elevados para autocarros de uma idade tão reduzida.

Segundo informações de técnicos da empresa apenas dedicados a acompanhar a manutenção de veículos a GNC, estes referem que os custos de manutenção deste tipo de autocarros é mais elevado face aos veículos Diesel, e requerem uma maior quantidade de peças sobresselentes para efetuar a manutenção. [19]

5.4.3. Comparação GNC e Diesel - Carris

Tendo por base cada uma das análises efetuadas separadamente é possível comparar ambos os casos. A primeira análise será respeitante aos consumos. Tal como foi feito anteriormente converteram-se os valores para massa (kg) para se poder efetuar esta comparação. Neste

estudo e como só se teve acesso a valores para um ano mas separados mensalmente, irá ser feita uma análise mensal em vez de anual como foi feita no caso anterior. Os valores de custo do combustível utilizado são os mesmos que os no caso da CML, por uma questão de coerência de valores.

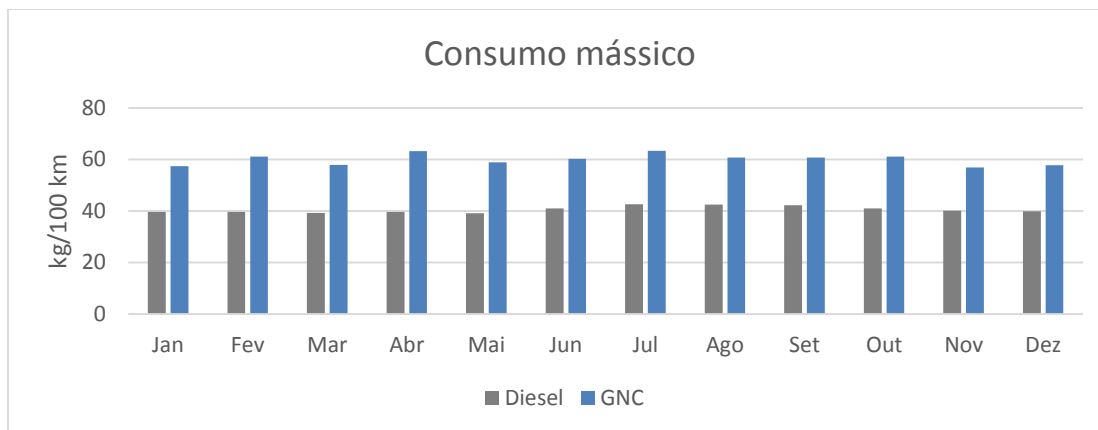


Gráfico 48– Consumos médios mensais para o ano de 2013 para autocarros Diesel e GNC - Carris

Tal como se verifica no Gráfico 48, os consumos mássicos são superiores para os autocarros a GNC durante todos os meses. Este é um gráfico comparativo que não permite representar o consumo nas unidades mais comuns, no entanto, e para se ser coerente em termos de comparação converteu-se tudo numa base mássica de modo a que os valores de consumos estejam representados na mesma unidade e assim tornar possível uma comparação efetiva. A conversão dos consumos de litros e m³ de Diesel e GN respetivamente apresentará sempre valores favoráveis ao combustível líquido uma vez que apresenta uma massa por litro inferior ao gás natural.

De modo a poder-se analisar a eficiência dos dois tipos de autocarro fez-se um gráfico de consumo energético para os dois casos, é apresentado de seguida.

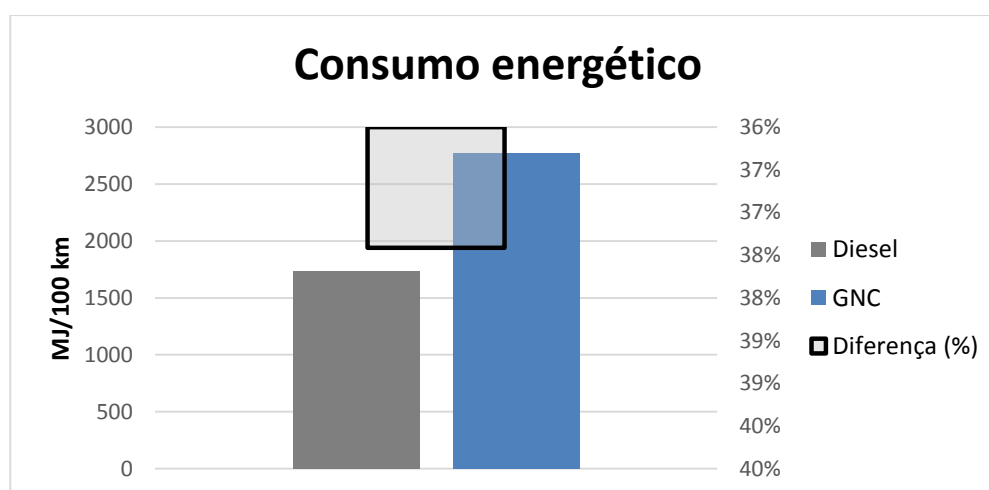


Gráfico 49 – Comparativo consumo energético médio autocarros Diesel e GN para o ano de 2013 – Carris

No Gráfico 49 apresenta-se o consumo energético dos dois tipos de combustível para o ano de 2013, verificando-se um maior consumo para os autocarros que utilizam o gás natural

como combustível. Salienta-se que a diferença entre os valores de PCI é ainda significativa, 42,8 MJ/kg para o Diesel e 46,1 MJ/kg para o GN. Constata-se assim uma maior eficiência energética para os autocarros a Diesel.

Às entidades gestoras interessa-lhes o aspeto económico da utilização de combustíveis alternativos nas suas frotas, dessa forma apresenta-se de seguida um gráfico de custos a nível de consumo de combustível.

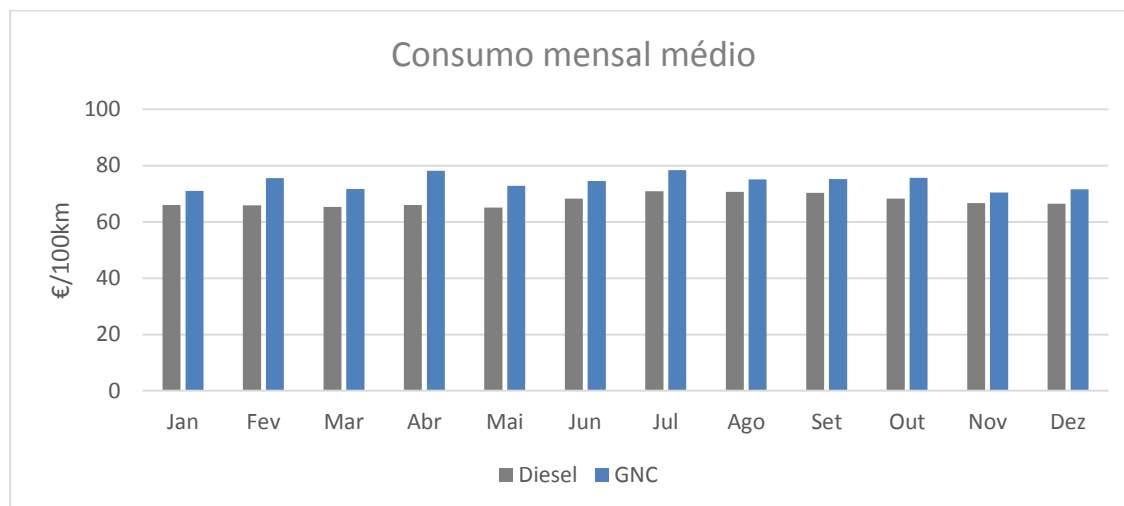


Gráfico 50 – Comparativo mensal de consumos médios de combustível entre autocarros a GNC e Diesel – Carris

Comparando os dois tipos de combustível verifica-se um custo de combustível superior em todos os meses nos autocarros a gás natural. Foi elaborado um gráfico com a média anual sobrepondo a diferença numa barra transparente. Esse gráfico é apresentado de seguida.

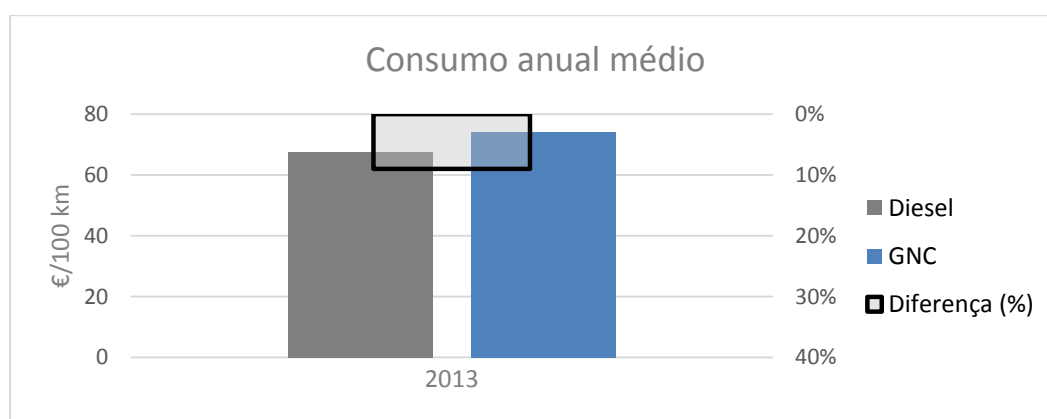


Gráfico 51 – Consumo médio de combustível anual para os autocarros a GNC e Diesel - Carris

Neste gráfico é mais perceptível a diferença que existe em termos de custos nos dois combustíveis. No caso do GNC há um custo médio com os combustíveis de aproximadamente 9% superior relativamente ao Diesel.

Comparando agora em termos de manutenção e pelo que é apresentado acima os resultados são igualmente desfavoráveis ao gás natural. Em cada 5000 km os autocarros a gás natural

necessitam de mais manutenções que os autocarros a Diesel, 4,62 contra as 3,24, relembra-se que este valor engloba todos os tipos de manutenções, e não apenas as relativas ao motor.

5.4.4. Emissões CO₂

Tal como foi feito para o caso de estudo anterior pode-se também para a frota da Carris fazer uma análise das emissões de CO₂ para a atmosfera provenientes dos autocarros a gasóleo e gás natural.

Para este caso apresenta-se o valor médio de emissões por 100 quilómetros percorridos.

A priori já se poderá calcular que as emissões de CO₂ serão superiores para os veículos a GN, uma vez que as emissões são diretamente proporcionais ao combustível consumido.

Resultante das eq. 9 e 10 do capítulo anterior, obtêm-se os valores de emissões por kg de combustível consumido. Resultam os valores de 2,75 kg de CO₂ para o gás natural e de 3,106 kg de CO₂ para o Diesel.

Multiplicando esse valor pelo consumo mássico médio resultam os seguintes valores:

- 1,25 kg de CO₂ por kg de Diesel consumido;
- 1,64 kg de CO₂ por kg de GN consumido;

Tal como se esperava as emissões para os autocarros movidos a gás natural são superiores. Ainda que o gás natural produza menos CO₂ durante a combustão essa diferença não é suficiente para que os autocarros da Carris estudados produzam menos CO₂ uma vez que apresentam consumos de combustíveis superiores.

Refere-se mais uma vez que estes valores foram obtidos pela equação geral da combustão para os dois combustíveis, qualquer sistema que os veículos estudados tenham para redução destas emissões não foi considerado nos dois casos.

5.5. Estudos anteriores

No ano de 2014 durante uma conferência com o título “ O gás natural nos transportes”, foi feita uma apresentação por parte do Eng. Jorge Nabais em que foi utilizado o mesmo caso de estudo – Carris. De modo a permitir complementar o presente capítulo serão apresentados alguns dos valores desse estudo.

Nos dados fornecidos não foram disponibilizados os custos de aquisição dos dois tipos de autocarros, no entanto é sabido que os autocarros movidos a gás natural são mais caros quando comparados com os Diesel. No estudo acima os resultados são mais favoráveis para os veículos Diesel, no entanto e segundo o estudo apresentado na conferência isso não se verifica na globalidade dos valores (Figura 6).

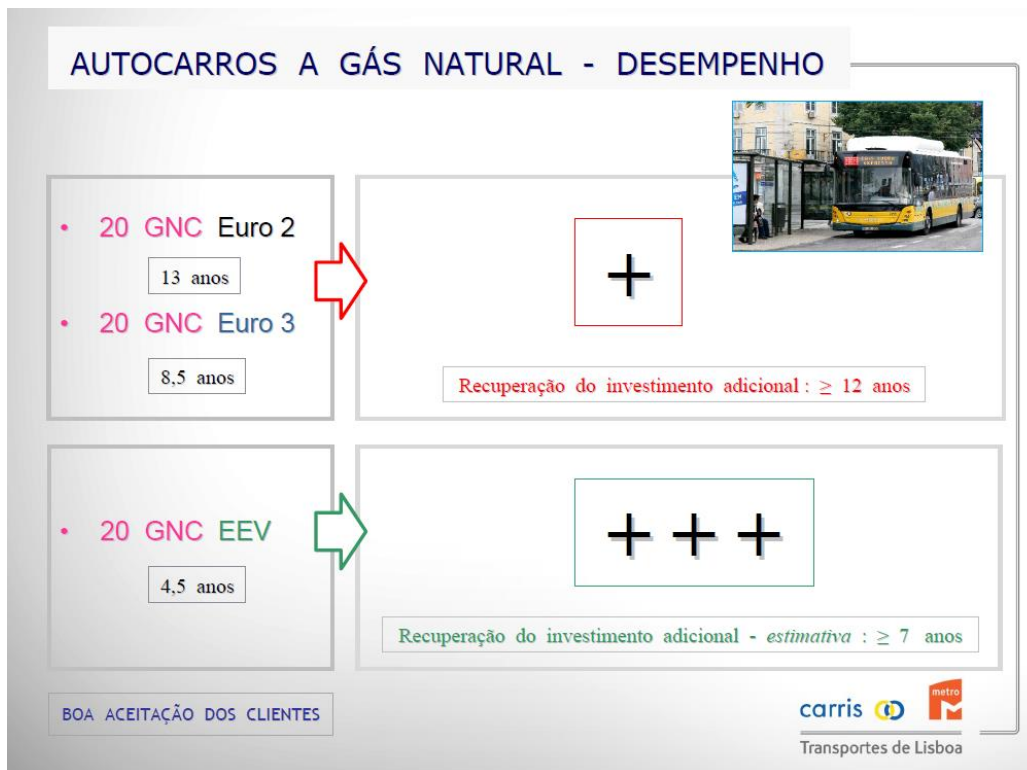


Figura 6 – Comparação de desempenho GNC - Carris [45]

Tal como é revelado na imagem acima, consegue-se perceber que os autocarros a GNC cumprindo a norma EEV, conseguem recuperar a diferença adicional no maior custo de aquisição em aproximadamente 7 anos, para isso os autocarros a gás terão de ser mais eficientes que os restantes a Diesel. O mesmo acontece com os mais antigos, no entanto estes recuperam o investimento adicional em 12 anos. A diferença dos valores mostra o quão evoluído estão os autocarros a nível de consumos ao constatar a diminuição de consumo associada ao cumprimento de uma norma EURO II e EURO III para a EEV.

Esta análise acaba por gerar alguma controvérsia relativamente ao estudo feito com os dados facultados uma vez que apresentam resultados opostos. No entanto isso poderá ser explicado pela generalização dos estudos. A análise desenvolvida ao longo do presente trabalho diz respeito a apenas um ano e compara as viaturas EURO V a Diesel com EEV a gás natural. Na verdade são veículos bastante comparáveis a nível de tecnologias, no entanto e como a frota da Carris é composta por 59,8% de autocarros EURO III, comparando os custos gerais da frota muito provavelmente conseguem-se obter resultados mais favoráveis aos veículos a gás natural.

Por outro lado e relativamente ao estudo mostrado na Figura 6, desconhece-se na totalidade como foi elaborado, quantas viaturas foram analisadas, em que percursos, etc., a diferença obtida pode ser explicada em grande parte pela dissemelhança de valores de amostragem. Desta forma e sem conhecer mais detalhes acerca deste estudo apresentado, não se poderá dar uma importância tão significativa a esta análise, no entanto lançará a dúvida nos resultados obtidos através da análise realizada.

5.6. Conclusões

Na análise aos dados dos 60 autocarros (20 GNC, 40 Diesel), as conclusões não são benéficas para o combustível alternativo utilizado.

Os consumos mássicos dos autocarros a gás natural são superiores tal como aconteceu no caso da CML, no entanto fazendo a conversão para o custo essa diferença mantém-se ficando mais económica a utilização dos autocarros a Diesel. A diferença de consumos em €/ 100 km é de aproximadamente 7%, realça-se o facto de se estarem a comparar viaturas bastante semelhantes em termos de tecnologia de eficiência de combustível. Estas são também as mais recentes da frota Carris, assim sendo comparando autocarros mais antigos com estes a GN os resultados certamente se aproximariam dos apresentados na Figura 6.

A nível de manutenção e fazendo um cálculo médio verificou-se igualmente a vantagem para os autocarros Diesel com menos entradas nas oficinas por cada 5000 kms percorridos, sendo que este indicador não é muito expressivo uma vez que contabiliza todas as intervenções, quer sejam de mecânica, chaparia, entre outras.

Como o estudo feito foi de apenas um ano e para um conjunto de viaturas específico, tornou-se importante comparar com outros estudos já feitos à mesma frota, e aí os resultados mostram-se favoráveis à utilização de GNC. Um fator que poderá explicar este facto é a evolução dos preços dos combustíveis, tendo como referência os anos de 2011, 2012 e 2013 (Tabela 6) o ano em análise para a frota da Carris foi o ano em que a diferença de preço entre os dois combustíveis foi menor apresentando assim resultados favoráveis aos autocarros Diesel.

A análise feita com os dados fornecidos mostra uma mais-valia na utilização dos veículos a Diesel EURO V, nas condições estudadas. Realça-se o facto de se analisarem 40 viaturas Diesel o dobro dos autocarros analisados a gás natural, este facto influencia negativamente os desempenhos dos autocarros a gás, uma vez que qualquer aumento anómalo de consumo que um veículo tenha não é tão diluído como no caso dos autocarros Diesel, em que a amostra é o dobro.

Seria de toda a importância analisar a os percursos, quer a nível topográfico, quer a nível de condições (semáforos, cruzamentos, passadeiras). Este é um fator preponderante no desempenho dos veículos. Um percurso com mais subidas, mais cruzamentos, mais paragens tráfego influencia em muito os consumos da viatura em questão. Uma vez que não foi possível associar os valores de consumos a trajetos específicos, este poderá ser um fator também importante nos resultados finais.

Uma desvantagem da utilização dos veículos a GN é a existência de apenas uma estação de enchimento, caso esta tenha algum problema a operacionalidade da frota dos autocarros a GNC é fortemente comprometida, sendo que a estação pública alternativa se situa a 15 km da base de funcionamento dos autocarros a GNC da Carris.

Com o estudo do eng. Jorge Nabais, em que mostra uma compensação do custo inicial das viaturas a GNC num período máximo de 12 anos para viaturas mais antigas, é criada uma certa dúvida uma vez que apresenta resultados opostos aos que se chegou com a análise dos dados. No entanto e como não são conhecidas as circunstâncias desse estudo, não será de todo plausível por os resultados a que se chegaram em causa. Um outro fator que poderá comprovar a eficiência das viaturas a GN é a aquisição de 20 viaturas EURO II, 20 EURO III e 20 EEV, ou seja a compra foi progressiva e para ser continuada certamente que apresentou melhorias em termos económicos.

Generalizando esta conclusão é ponderado dizer-se que os valores provenientes da análise são um tanto ou quanto condicionados pela escassa informação a que se teve acesso. Certamente se fossem analisados mais veículos ao longo de um período de tempo superior os resultados seriam diferentes.

6. Apresentação de resultados – *dual-fuel*-Cisterpor

Neste capítulo, serão estudados os valores de um veículo *dual-fuel*, isto é utilizando simultaneamente dois combustíveis distintos. Assim este é um método de utilização de combustíveis alternativos diferente dos dois anteriores. Nos dois casos anteriores os motores funcionam pelo ciclo Otto como se de um veículo a gasolina se tratasse, neste caso de estudo funciona como um motor de ignição por compressão normal no entanto utiliza dois combustíveis em simultâneo.

Os dados disponibilizados são provenientes da empresa Cisterpor. É uma empresa destinada a transporte rodoviário de mercadorias perigosas em Portugal e Espanha.

6.1. Introdução aos dados em estudo

Os dados obtidos para análise de um caso real da utilização de *dual-fuel* foram obtidos pela parceria entre a GalpEnergia e a Cisterpor. Estes ensaios foram feitos ao longo de 9 meses tendo sido concluídos em Maio de 2012.

O estudo foi desenvolvido pela Galp com o intuito de apresentar a utilização do seu produto (GPL neste caso) aplicado a veículos pesados Diesel quer sejam de mercadorias ou passageiros, contrariando o atual paradigma da utilização do GPL auto.

Neste estudo foram selecionadas duas viaturas, uma de mercadorias outra de passageiros. Só o pesado de mercadorias será analisado aqui, convertidas para poderem utilizar dois combustíveis. Seguidamente os veículos foram inspecionados e legalizados tendo por último sido testados com monitorização dos resultados.

O veículo analisado faz parte da frota dos 23 camiões da Cisterpor, utilizando normalmente uma cisterna de transporte de mercadorias perigosas em aço inox.

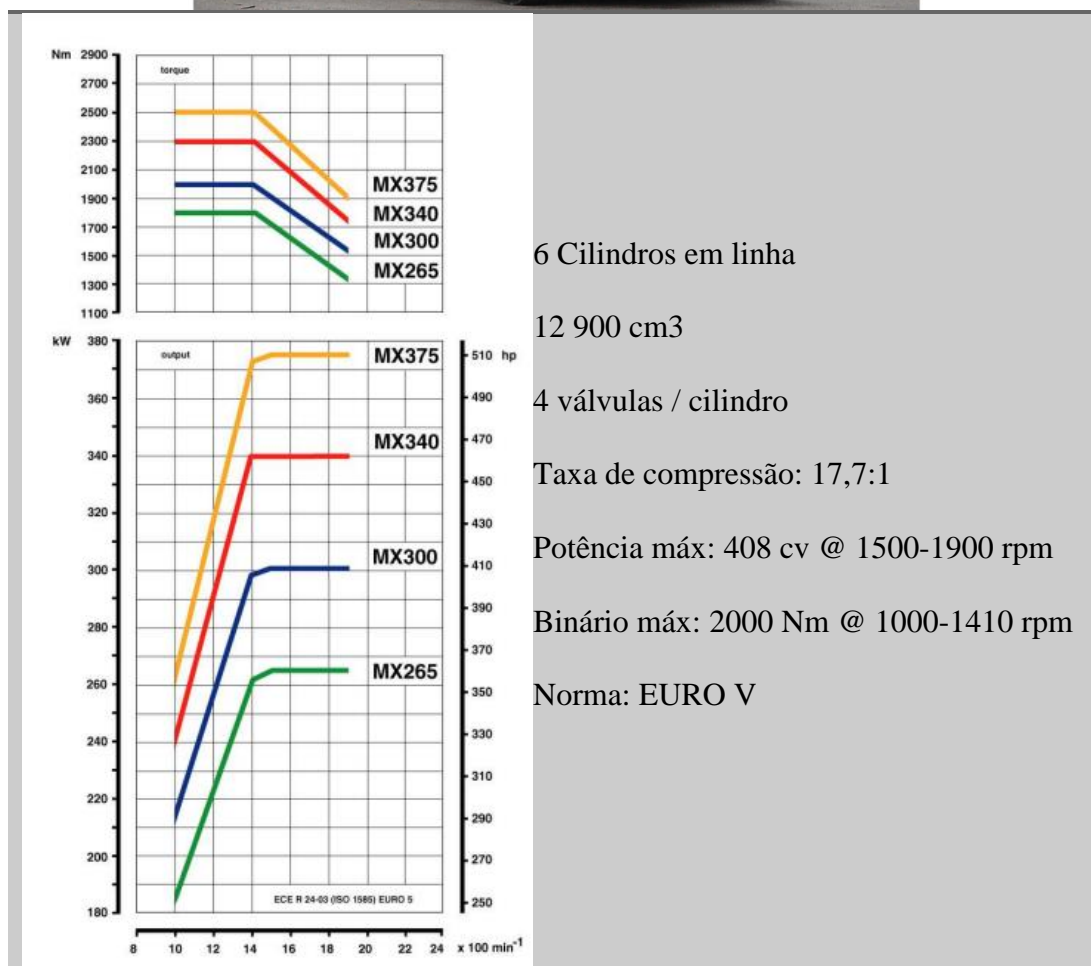
6.2. Caracterização da frota

O modelo convertido da frota Cisterpor foi um veículo trator da marca DAF, da série CF, matriculado em 2010.

O modelo convertido para *dual-fuel* era da série CF utilizando o motor MX300.

Apresenta-se abaixo todas as características do modelo.

Tabela 35 - Veículo testado com tecnologia dual-fuel – DAF [46][47]



6.3. Caracterização dos dados

Tal como referido os dados fornecidos já foram tratados razão pela qual aqui serão apenas apresentados os resultados finais.

O estudo começou com a conversão da viatura em Setembro de 2011 e depois com vários testes incluindo aumento e diminuição de potência com reprogramações da unidade de

comando do motor, e alguns testes em banco de ensaio. Para fins do estudo os valores utilizados corresponderam ao período de tempo entre Janeiro de 2012 e Maio do mesmo ano.

Os dados disponibilizados continham o histórico de consumos de combustível desta viatura quer GPL quer Diesel, e ainda os quilómetros percorridos. Tendo estes dados facilmente se chega aos valores de consumos considerando os dois combustíveis.

Como este é um veículo que funciona com os dois tipos de combustíveis, não há melhor termo de comparação que o próprio veículo funcionando apenas com Diesel, uma vez que o sistema não interfere em nada com as prestações do veículo caso falte o GPL, assim será feita a comparação com o funcionamento em regime Diesel e em dual-fuel.

Outro dado relevante é o custo de transformação, esse será também um fator considerado na análise desta tecnologia.

6.4. Análise de dados / apresentação de resultados

Como já foi referido os dados utilizados para este estudo representam os últimos 5 meses de todo o ensaio feito, que compreende o período de Janeiro de 2012 a Maio do mesmo ano. Tal como se fez para os capítulos anteriores serão separados os consumos mensalmente. No Gráfico 52 apresenta-se um gráfico dos quilómetros percorridos para o período em estudo.

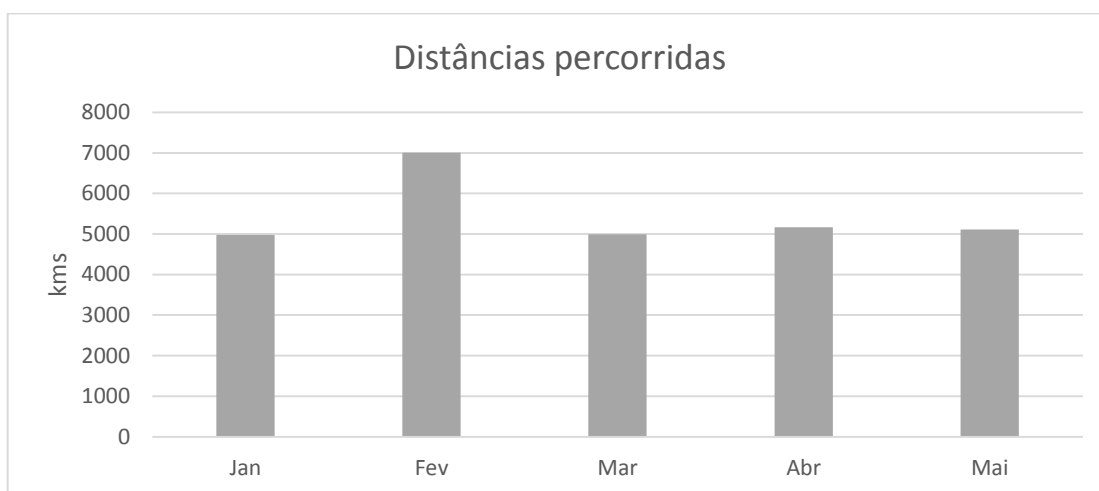


Gráfico 52 – Distâncias percorridas para os 5 meses analisados – Cisterpor

Como se vê no Gráfico 52, excetuando o mês de Fevereiro, a distância média mensal acumulada é de aproximadamente 5000 kms, este valor é muito inferior comparativamente com os dois casos de estudo anteriores. Isto significa que as variações de combustível consumido irão ter um impacto significativo no valor do consumo médio.

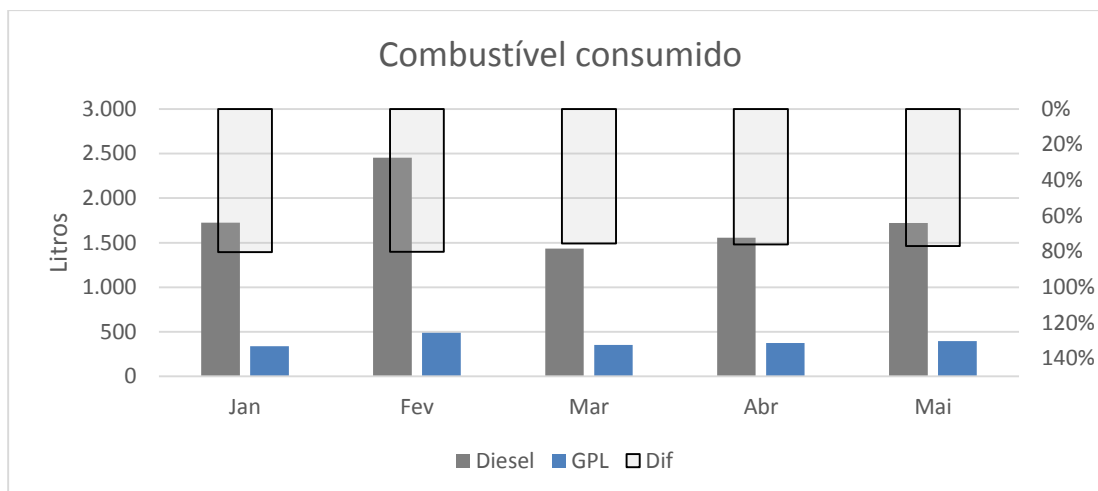


Gráfico 53 – Litros de GPL e Diesel consumidos durante os cinco meses em análise - Cisterpor

De modo a poder ser comparado o consumo dos dois tipos de combustível apresenta-se o Gráfico 53. Neste gráfico é possível identificar qual o volume de combustível gasto pela viatura estudada durante estes cinco meses. Como era de esperar no mês de fevereiro houve um consumo acima dos restantes meses fato que é explicado pela maior distância percorrida pelo veículo durante este mês. A barra transparente mostra a diferença de combustível consumido entre os dois tipos, em média a relação é de 80% de Diesel para 20% de GPL.

De forma a complementar o gráfico acima fez-se um gráfico em que se apresentam os consumos médios em l/100 km, para o Diesel e para o GPL.

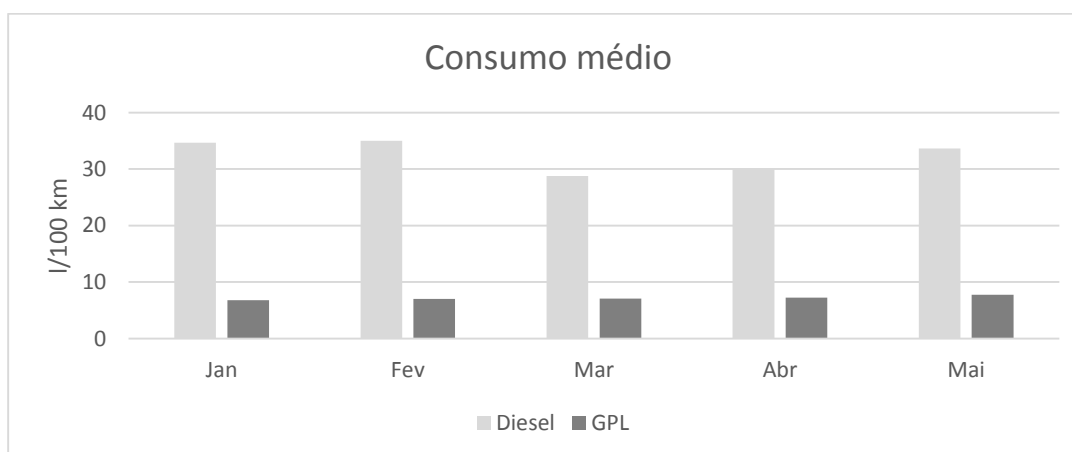


Gráfico 54 - Consumo médio Diesel e GPL para os cinco meses em análise - Cisterpor

Ao analisar este gráfico será importante introduzir o valor médio de consumo da mesma viatura funcionando em regime puramente a Diesel, sendo esse valor de 38,4 l/100 km. Comparando agora este valor com o presente no gráfico constata-se realmente uma diminuição do consumo de Diesel em todos os meses do estudo, no entanto existe também o consumo de GPL, que no outro caso era nulo. É importante referir os valores médios para os consumos de Diesel e GPL, que são: 32,4 l/100 km e 7,2 l/100 km respetivamente.

Fez-se ainda uma análise energética em que se utilizou o poder calorífico presente na Tabela 21. Utiliza-se o valor de referência para o veículo puramente Diesel de 38,4 l/100 km que corresponde a 1374,62 MJ/100 km este é representado no gráfico abaixo pela linha horizontal. Para o valor do dual-fuel calculou-se pelo somatório dos dois poderes caloríficos (GPL e Diesel).

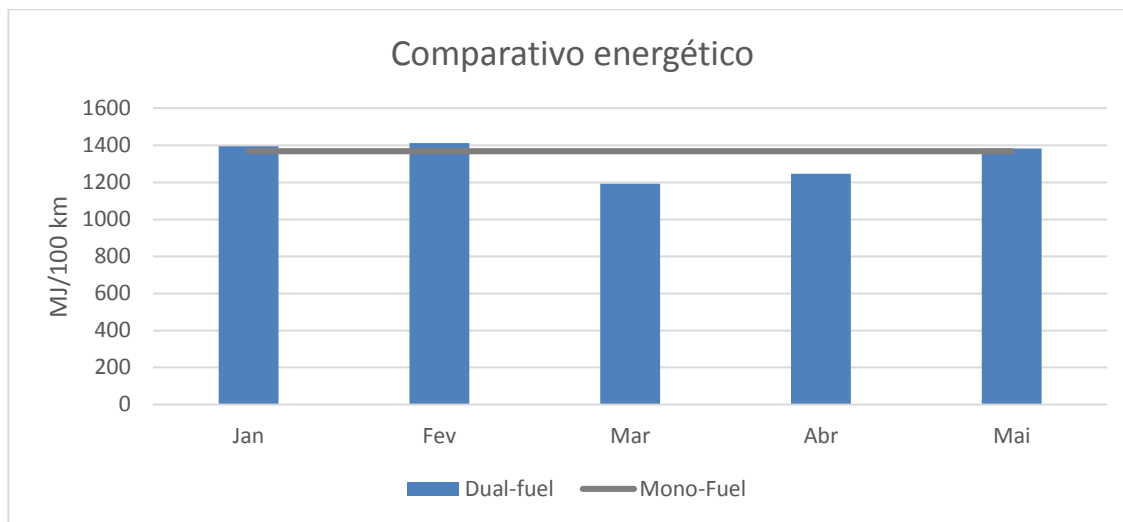


Gráfico 55 - Comparativo energético dual-fuel e mono-fuel – Cisterpor

Fazendo uma análise ao Gráfico 55, repara-se que a maior parte dos meses do ensaio o veículo *dual-fuel* foi menos eficiente do que utilizando apenas Diesel como combustível. Em termos médios o consumo energético para a viatura em dual-fuel é inferior em 2% face à mesma viatura utilizando apenas Diesel como combustível. Ao introduzir-se uma percentagem de cerca de 20% de GPL aumenta-se o PCI da mistura dos 42,8 MJ/kg do Diesel puro para 43,5 MJ/kg. Este aumento é um fator explicativo para que em média se consiga reduzir o consumo energético do motor.

De modo a possibilitar a realização de uma análise da viabilidade deste sistema, terá de se converter tudo para os custos associados e assim comparar o sistema *dual-fuel* com o *mono fuel* a Diesel. Salienta-se que o valor médio de consumo para o veículo utilizando só um combustível foi fornecido e tem em conta o mesmo veículo antes da transformação. Os valores de custo por litro para o Diesel são os presentes na Tabela 6 e para o GPL utiliza-se o valor médio de 0,798 €/l para o ano de 2012. [48]

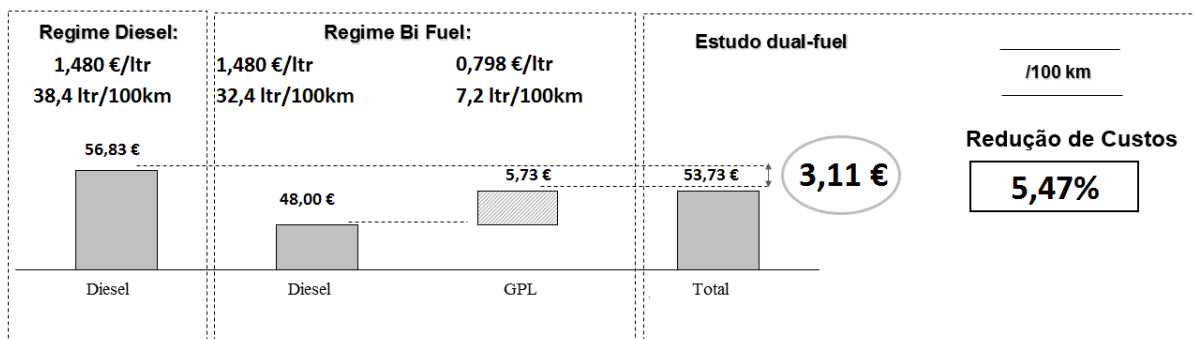


Figura 7 – Viabilidade económica sistema dual fuel

Analisando os resultados obtidos e acima demonstrados, conclui-se que por cada 100 km percorridos em modo *dual-fuel* há uma poupança de 5,47% que se traduz em 3,11€/100 km para os preços praticados na altura. Fazendo os cálculos, revela-se que o mesmo é vantajoso (contabilizando apenas os consumos) até que o GPL seja 16,7% mais barato que o Diesel, se porventura algum dia essa diferença for menor, os custos de um veículo Diesel são inferiores comparativamente a um *dual-fuel*.

Nos dados disponibilizados estava presente também o valor da conversão de cada veículo. Para cada viatura são necessários cerca de 3500€ para proceder à conversão deste valor 2000€ dizem respeito às peças e o restante à mão de obra. Neste valor está ainda incluído o aluguer do banco de ensaio para proceder a todos os testes necessários. Caso se procedesse à conversão de várias viaturas este valor baixaria.

Sabendo então o custo de conversão de cada viatura para *dual-fuel* podem-se fazer duas retas e verificar a partir de que ponto é compensatória a conversão. Para esta regressão despreza-se o custo de aquisição da viatura pela simples razão deste ser igual para os dois tipos de viaturas, e assim considera-se apenas o valor da transformação para o caso dos veículos *dual-fuel*.

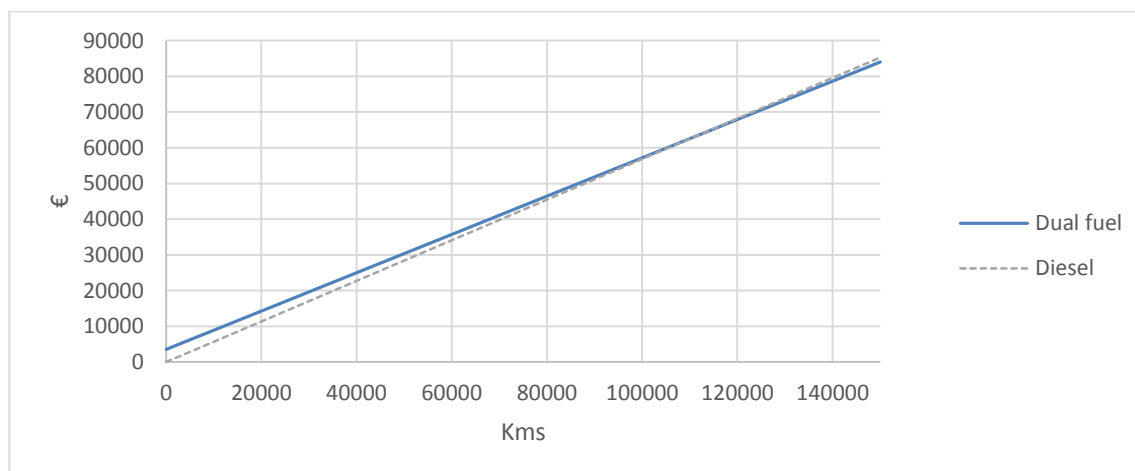


Gráfico 56 – Análise de custos por km para veículo Dual-fuel - Cisterpor

Como se pode ver ambas as retas estão muito próximas representando assim uma pequena diferença entre os custos das duas tecnologias, no entanto estas cruzam-se entre o intervalo dos 100 000 e 150 000 kms. Fazendo os cálculos o ponto de interseção dá-se nos 111 664 kms, ou seja a partir daí a tecnologia *dual-fuel* será compensatória. Ao fim de meio milhão de quilómetros, utilizando a tecnologia *dual-fuel* com os preços praticados em 2012 o utilizador pouparia cerca de 12 000€.

Para a quilometragem média deste veículo o investimento inicial da conversão para *dual-fuel* seria compensado em cerca de dois anos.

6.5. Conclusões

Ao concluir este último capítulo de análise de dados percebe-se que a tecnologia *dual-fuel* é mais uma das tecnologias passíveis de ser aplicada em veículos pesados e com resultados positivos, pelo menos no que diz respeito ao custo de combustíveis.

A análise feita foi a possível com os dados disponíveis. Seria de real importância a análise a nível de manutenção, este pode ser um dos fatores preponderantes para não se terem convertido mais veículos nesta frota. Uma vez que este sistema é universal e é adicionado ao veículo após a compra torna-se mais vulnerável a avarias, por estes motivos seria de grande interesse aprofundar a questão da manutenção. No entanto neste caso de estudo, como foi de curta duração seria esperado não ser possível retirar grandes conclusões acerca de possíveis falhas e avarias uma vez que todo o sistema tinha ainda pouco tempo de uso.

A nível ambiental também não foi possível retirar qualquer tipo de conclusões, uma vez que não foram feitos quaisquer ensaios relativamente a emissões de gases de escape, no entanto e segundo a revisão bibliográfica este é uma das vantagens desta tecnologia, reduzindo a emissão de partículas e de NO_x.

As conclusões que podem ser tiradas desta análise e interpretação de resultados é que a tecnologia *dual-fuel* é viável para o tipo de veículo em estudo e para os preços praticados na altura. A poupança ao final de alguns quilómetros percorridos torna-se significativa. Uma outra mais-valia deste sistema prende-se com a flexibilidade deste sistema, em caso de não haver o combustível gasoso o motor funciona normalmente. Como já foi dito estas conclusões só têm em conta os consumos, sendo que para uma maior precisão de análise seria necessário monitorizar os gastos com manutenções antes e após a transformação.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

7. Discussão de resultados

A discussão de resultados encontra-se dividida em três subcapítulos correspondendo cada um a cada caso de estudo. Começa-se pela utilização dos veículos a GN por parte da CML.

7.1. Discussão - CML

Da análise dos dados fornecidos pelo departamento de reparação e manutenção mecânica da Câmara Municipal de Lisboa resultaram comparações entre marcas de viaturas Diesel, entre GN e Diesel, entre veículos EURO III e EURO VI e ao nível de emissões de CO₂.

No que diz respeito à análise entre a frota de viaturas Diesel verificou-se em termos médios e ao longo dos 3 anos analisados uma melhor eficiência de custos (manutenção e combustível) para as viaturas Mercedes-Benz. Esta melhoria média foi da ordem dos 5% face às viaturas Volvo. Relembra-se que a totalidade das viaturas Mercedes foi recebida entre 2001 e 2004, enquanto no caso das viaturas Volvo começaram a ser recebidas em 1999, podendo ser um fator explicativo para a diferença obtida.

A análise da utilização do GN nas viaturas de recolha de resíduos da cidade de Lisboa, consistiu em comparações ao nível de: consumo mássico, energético e económico. No ano de 2012 e por razões desconhecidas o consumo mássico é superior para as viaturas utilizando o GN como combustível, relativamente a 2013 o consumo mássico é superior nos camiões a gasóleo, no entanto a diferença é muito pequena entre 3 e 4 %. A nível energético estas viaturas apresentam uma eficiência superior em média 20% face aos veículos Diesel, ou seja apresentando menores valores de consumo energético. Como seria de esperar a nível económico os valores são mais uma vez favoráveis à utilização de veículos a gás natural, com diferenças médias entre os 25 e 30%. Esta diferença é explicada principalmente pela diferença de custo do combustível. No estudo semelhante apresentado no capítulo de revisão bibliográfica, em que se analisaram os consumos para viaturas semelhantes na cidade de Madrid chegou-se a uma diferença de custos com os consumos de 33% favorável às viaturas a GN. É um valor próximo ao obtido na análise das viaturas da CML.[23]

Face à manutenção os veículos a GN também são também favoráveis face aos veículos Diesel. Uma particularidade interessante é que a diferença perante a utilização dos dois combustíveis mantêm-se praticamente constante (10% sensivelmente) mas os valores duplicam do ano 2012 para o 2013.

Juntando os valores médios de consumo e manutenção inerentes à utilização de viaturas a GN e viaturas Diesel foi possível concluir que o ponto a partir do qual se torna compensatório utilizar GN em vez de Diesel nas viaturas de recolha de resíduos é de cerca de 2,5 anos, ou seja a partir daí a diferença do custo de aquisição adicional das viaturas a GN aproximadamente 28 000€ é diluído sendo mais vantajosa a sua utilização. Este valor é um pouco baixo para aquilo que seria esperado, e até pelo que foi referido noutros estudos feitos anteriormente [32]. No entanto, a diferença de idades entre os dois tipos de viaturas é um fator preponderante neste resultado, certamente viaturas mais recentes a Diesel seriam

mais equiparáveis. Na tentativa de se perceber isso, foi feito um estudo com uma viatura semelhante às estudadas mas respeitando a mais recente norma ambiental EURO VI, obtendo-se diferenças de consumos na ordem dos 20% inferiores para as viaturas EURO VI, e 11% de diferença face às viaturas a GN desta vez favorável ao combustível alternativo.

Quanto às emissões, uma vez que não foram fornecidos quaisquer valores relativos aos poluentes emitidos pelas viaturas, foi elaborado um cálculo tendo por referência os valores limite impostos pelas normas europeias. Utilizando os mais recentes veículos EURO VI ao invés da utilização dos veículos EURO III que constituem a frota da CML verificar-se-ia uma redução mínima de 93% face à emissão de NO_x.

Contabilizaram-se ainda as emissões de CO₂ através da equação da combustão para a utilização de Diesel e de GN. Verifica-se uma redução nas emissões médias dos dois anos de 0,27 kg/km quando se utiliza o gás natural como combustível. A este valor podem-se ainda conjugar as emissões associadas à obtenção do combustível, apresentando também valores inferiores para o gás. [23]

Fazendo agora uma análise crítica a este estudo, nota-se claramente uma vantagem da utilização das viaturas a GN comparativamente às viaturas Diesel. O facto de se estar a comparar viaturas com idades muito distintas influencia fortemente os resultados a que se chegaram. Caso a frota da CML fosse constituída por viaturas EURO V ou EURO VI, as diferenças seriam mais reduzidas.

A utilização de GN em motores de ignição por faísca mostra-se assim mais eficiente do que as tradicionais viaturas a gasóleo, isto se apenas forem tidos em conta os valores de consumo de combustível e custos com a manutenção, no entanto a diferença não é tão significativa como algumas bibliografias e marcas construtoras apresentam. É de crer que um veículo EURO VI a Diesel consiga aproximar-se fortemente dos consumos de combustível de um veículo a gás natural.

As alterações necessárias a todas as infraestruturas a nível oficial e a especialização de pessoal, aumentam os custos de utilização das viaturas a gás natural. As escassas estações de abastecimento de GN são um ponto desfavorável na utilização dos veículos a GN. No caso concreto da CML, as viaturas vão abastecer à estação de Loures, reduzindo assim o período útil de trabalho das mesmas.

No caso concreto da Câmara Municipal de Lisboa, a utilização de viaturas a gás natural é uma escolha inteligente maioritariamente do ponto de vista político. Tal como é comprovado na bibliografia, as viaturas a GN são geralmente mais limpas emitindo menos quantidades de poluentes para a atmosfera, este ponto é um dos mais relevantes na utilização deste tipo de viaturas uma vez que uma grande cidade, como é o caso de Lisboa, é cada vez mais obrigada a reduzir as emissões de gases poluentes e prejudiciais à saúde humana.

Em suma a utilização de veículos a GN por parte da CML é vantajosa em termos monetários e ambientais comparativamente à restante frota a gasóleo. Comprova-se assim a eficiência desta substituição tendo em conta as variáveis em estudo.

7.2. Discussão - Carris

É agora vez de discutir os valores obtidos com a análise aos dados disponibilizados dos autocarros da Carris para o ano de 2013.

Relembra-se que para esta análise apenas foram disponibilizados os consumos médios para os veículos de dois modelos distintos sendo que um utiliza GNC e outro Diesel.

Os resultados obtidos pela análise dos dados vêm um tanto ou quanto contrariar o que seria de esperar no que diz respeito à utilização de gás natural nos transportes de passageiros.

Quanto ao consumo anual de Diesel, nota-se um aumento nos meses de mais calor enquanto o consumo de GNC é mais inconstante com vários picos ao longo do ano de 2013.

O consumo energético é superior nos autocarros movidos a gás natural apresentando assim uma eficiência energética inferior face aos autocarros a Diesel, chegando à diferença média de 37%. A diferença de preços entre os dois combustíveis não se revela suficiente para compensar o maior consumo mássico dos autocarros a GN, continuando ainda assim a ter um custo de utilização superior em relação aos autocarros convencionais fixando a diferença média em 9%.

Foi ainda feita uma análise às manutenções associadas aos dois tipos de veículos. Por cada 5000 km os autocarros Diesel deram entrada nas oficinas em 2013 em média 3,24 vezes contra as 4,62 intervenções médias dos autocarros a GNC. Do que foi revisto na bibliografia este ponto também contraria a utilização dos veículos a gás natural.

Se estes valores fossem representativos do panorama geral da utilização dos autocarros a gás natural certamente a Carris e outras empresas descartariam esta alternativa. Em estudos desenvolvidos pela própria Carris mostram a eficácia destes tipos de veículos, tornando-se rentáveis ao final de 7 anos para o caso de autocarros a gás natural sob a norma ambiental EEV. Sendo o custo de aquisição de um autocarro a GN superior ao Diesel significa que a utilização deste tipo de autocarros traz benefícios económicos nomeadamente a nível de consumos de combustível, contrariando de certa forma os resultados obtidos. No entanto e por não se conhecer as circunstâncias deste estudo não se dará muita representação a estes resultados. [45]

Comparando com o caso estudado referente aos veículos da CML, atribui-se aqui uma maior comparabilidade uma vez que se comparam veículos muito semelhantes quer a nível de tipo de veículo quer efetivamente a nível de idade e tecnologias associadas, daí também a proximidade de valores e não a discrepância que se viu na análise anterior.

Face às emissões de gases poluentes a análise apenas contemplou a emissão de CO₂, que se mostrou mais uma vez favorável aos autocarros Diesel com emissões inferiores. Quanto às restantes emissões e com base nos resultados do relatório de sustentabilidade, verificou-se uma redução dos poluentes desde 2003 até 2013. Cruzando com a revisão bibliográfica [20], [24], [26] pode-se associar esta redução de emissões como é visto no Gráfico 41 à utilização

de autocarros a gás natural, sendo portanto uma das mais-valias dos veículos que recorrem a esta fonte energética.

Tal como no caso de estudo anterior, o local de utilização das viaturas é comum: Lisboa, maioritariamente o centro de Lisboa, numa cidade tão povoada como é o caso, há cada vez mais restrições à circulação de veículos de forma a reduzir as emissões poluentes. Como forma de solucionar este especto a utilização de autocarros com motores ciclo Otto utilizando GNC são uma solução bastante eficaz.

O problema das estações de enchimento volta aqui a ser notório, ainda que a Carris disponha de uma estação própria, em caso de avaria toda a frota a GN seria afetada.

Os autocarros a gás natural são então uma alternativa viável a nível ambiental, apresentando valores mais baixos de emissões, no entanto a nível económico não se conseguiu provar a rentabilidade deste sistema com os dados dos autocarros fornecidos para o ano de 2013. Ainda assim, sendo necessária uma alternativa aos convencionais autocarros Diesel devido às emissões, viaturas a GN serão sem dúvida uma alternativa fiável, a diferença entre consumos de combustível não é assim tão significativa sendo possivelmente provocadas por alguns fatores externos desconhecidos.

7.3. Discussão - Cisterpor

Trata-se agora a tecnologia *dual-fuel* associada neste caso a um veículo pesado de transporte de mercadorias durante um ensaio feito para comprovar a eficácia desta tecnologia.

Durante os cerca de 28 000 km deste ensaio a taxa de utilização foi de 80% Diesel para 20% GPL taxa presente em algumas das referências bibliográficas. [28]

Relativamente ao consumo energético este é superior em 3 meses no modo *dual* face ao Diesel puro, no entanto em termos médios o consumo energético é inferior em 2% para a tecnologia em que se utilizam dois combustíveis em simulâneo, sendo o valor médio para o *dual-fuel* de 1326,13 MJ/100km contra os 38,4 l/100 km do tractor funcionando apenas a Diesel que correspondem a 1374,62 MJ/100km.

A nível de economia de custos relativamente ao consumo de combustível o veículo tractor utilizando a tecnologia “*dual-fuel*” apresenta um consumo inferior em termos monetários apresentando uma diferença média de 5,47% representando uma diferença de 3,11€ por 100 quilómetros percorridos. Esta diferença deve-se essencialmente à diferença de preços dos dois combustíveis, sendo que esta tecnologia é compensatória até que o GPL tenha uma diferença mínima de 16,7% mais baixo que o custo do Diesel. Tal como foi abordado na referência, o estudo do motor *dual-fuel* apresentou consumos menores para cargas elevadas. [26]

Desenvolvendo uma regressão linear dos custos associados aos dois tipos de utilização do mesmo veículo, é possível constatar que as duas retas quase se sobrepõem significando assim

custos de utilização muito semelhantes. Verifica-se no entanto que ao final de 120 000 km o custo de transformação é diluído tornando-se compensatória a utilização da tecnologia dual-fuel, isto contabilizando apenas os custos inerentes ao consumo de combustível.

Um ponto que não foi contabilizado por este estudo foi a questão da manutenção, este complementar a análise efetuada podendo até ser um fator chave para esta tecnologia. Sabe-se há partida que a transformação de um veículo para este passar a utilizar dois combustíveis é uma adaptação ou seja passará a utilizar um sistema para o qual não foi inicialmente projetado. Isto pode criar um problema grande de fiabilidade acrescentando assim os custos com a manutenção deste tipo de veículos.

Tal como nos anteriores casos de estudo seria uma mais-valia a recolha de dados relativos às emissões de gases poluentes. Assim não tendo sido feita uma análise a um caso prático, terá de se utilizar os valores e informações das referências bibliográficas. No caso do NO_x e da emissão de partículas estas são reduzidas com a utilização da tecnologia em análise. Quanto ao monóxido de carbono as emissões são superiores ao utilizarem-se dois combustíveis em simultâneo. [26]

Relembra-se que os resultados a que se chegaram com esta análise foram obtidos através de um estudo com uma viatura apenas durante 5 meses de utilização. Para se conseguir ter resultados mais abrangentes seria bom contar-se com mais viaturas em teste com modelos diversos de veículos, dessa forma os resultados seriam mais fiáveis. A contabilização e comparação de gastos com os combustíveis seria também uma mais valia para o estudo da fiabilidade desta tecnologia. Das referências bibliográficas, esta é uma tecnologia promissora principalmente pela redução de emissões poluentes nomeadamente NO_x e PM.[30]

Ao contrário dos casos de estudo anteriores, a tecnologia *dual-fuel* não tem ainda uma grande aplicabilidade em frotas. Em Portugal poucas são as empresas de transportes que utilizam esta tecnologia, foram feitos alguns testes como o apresentado no entanto não foram convertidos mais do que uma viatura por frota, isto levanta a questão da verdadeira fiabilidade da conversão.

A redução de custos a que se chegou com este ensaio é um valor bastante bom para grandes empresas de transportes que percorrem milhões de quilómetros anualmente. Assim a questão da fiabilidade do sistema aparece como factor chave desta tecnologia. Se a fiabilidade do sistema for garantida esta será certamente uma tecnologia promissora.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

8. Conclusões

O presente trabalho avalia os efeitos da utilização de combustíveis alternativos GPL e GN, face aos combustíveis mais tradicionais. Foi possível revelar quais as vantagens e desvantagens associadas à utilização deste tipo de combustíveis.

Tal como foi referido na parte introdutória, a utilização de GPL e GN tem como principais objetivos a redução das emissões poluentes de forma a obedecer aos limites impostos pelas cada vez mais apertadas normas EURO. Um outro aspeto importantíssimo que está associado à utilização destes combustíveis, é reduzir os custos de utilização deste tipo de viaturas essencialmente com a redução dos consumos de combustível.

Relativamente à análise ambiental, esta não foi possível estudar com a profundidade pretendida uma vez que em todos os casos de estudo não são contemplados valores relativos às emissões. De forma a completar todo este trabalho, seria bastante importante fazer-se uma análise a nível de emissões, com medições reais em ambiente de utilização das viaturas, para que houvesse uma efetiva avaliação sobre o impacto ambiental destas soluções energéticas para o setor dos transportes.

Foram estudados três casos distintos, um em que se analisou uma frota de pesados de mercadorias, mais concretamente veículos de recolha de resíduos afetos à Câmara Municipal de Lisboa. O segundo caso prático estudado foi fornecido pela Carris, em que se comparou a utilização de autocarros a gasóleo e gás natural. Em ambos os casos têm-se motores com ciclo Otto. No último estudo, analisou-se um veículo pesado que funciona a *dual-fuel*, esta viatura pesada pertence à frota da empresa Cisterpor.

Nos três casos de estudo obtiveram-se resultados distintos, sendo que em dois deles os valores são favoráveis aos combustíveis alternativos. Deve-se ter em conta que na frota da CML, os veículos comparados são de gerações diferentes, sendo os pesados a gasóleo mais antigos e com menos tecnologias associadas. No caso de estudo da Carris os valores a que se chegaram foram favoráveis nos autocarros a gasóleo, realçando-se aqui a comparação de autocarros semelhantes. Relativamente ao pesado convertido para *dual-fuel*, registou-se uma redução efectiva nos consumos de combustível.

A utilização de combustíveis alternativos em veículos pesados mostra-se assim uma alternativa viável, essencialmente pelos valores mais baixos de emissões poluentes revelados pelas diferentes fontes bibliográficas mas que em grande parte não foi possível comprovar com este trabalho. No entanto, no que diz respeito aos custos associados à utilização destas viaturas a diferença não é tão grande como se esperaria, quando se comparam veículos semelhantes. No caso dos autocarros a GN os custos tornam-se superiores face ao Diesel nas condições analisadas. Quanto à utilização de GPL em simultâneo com gasóleo, esta apresentou uma redução que embora pequena se pode tornar viável quando aplicada a vários veículos com grandes quilometragens anuais.

Sendo necessário uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, a utilização de GN em motores de ciclo Otto mostra-se uma alternativa capaz de atingir os desempenhos

dos atuais motores Diesel, conseguindo em alguns casos específicos uma redução de custos. A utilização de GPL em motores Diesel mostra-se uma alternativa para a substituição parcial do combustível principal (gasóleo), apresentando valores inferiores de consumos de combustível.

A utilização de veículos com combustíveis alternativos é fortemente influenciada por razões políticas. Em grandes cidades como é o caso de Lisboa, cada vez mais os responsáveis são obrigados a adotar soluções energéticas alternativas de forma a reduzir os níveis de poluição, independentemente da sua eficiência. O funcionamento deste tipo de veículos é praticamente igual ao de veículos semelhantes a gasóleo, conseguindo ultrapassar todos os requisitos para desempenharem a sua função.

De forma a complementar este trabalho seria uma mais-valia importantíssima ter acesso aos percursos efetuados por todas as viaturas, uma vez que este é um fator influente no desempenho das viaturas. Seria ainda bastante útil ter acesso aos dados relativos a manutenções e avarias das viaturas, para se poder fazer uma análise mais detalhada relativa às intervenções dos veículos analisados. Para se poder estudar mais aprofundadamente a fiabilidade dos motores a gás, quer sejam ciclo Otto ou *dual-fuel*, seria necessário ter acesso à informação das manutenções separadamente para que se analisasse apenas as relativas ao grupo motopropulsor.

Concluindo, as grandes vantagens da utilização deste tipo de veículos prendem-se maioritariamente com as melhorias a nível ambiental, manifestadas numa redução das emissões poluentes e de CO₂. Quanto aos consumos de combustível, em que também se esperava uma grande vantagem, esta não será assim tão significativa, embora, dependendo da utilização, do tipo de combustível e dos veículos poder-se-ão atingir níveis de consumos inferiores face a veículos semelhantes a gasóleo. Relativamente aos custos, este tipo de viaturas apresenta em todos os casos um custo de aquisição superior, ou um custo de transformação inerente, no entanto e dependendo dos consumos de combustível essa diferença poderá ser diluída ao longo do tempo, uma vez que o gás natural e o GPL apresentam custos inferiores face ao gasóleo. Um grande entrave à utilização destes veículos é ainda a escassez de postos de abastecimento. A criação de novos postos certamente fomentaria a introdução de novos veículos deste tipo, quer a nível particular ou empresarial.

Com este trabalho comprovou-se que a utilização de gás natural em motores ciclo Otto, e GPL em motores *dual-fuel* poderá ser uma solução viável na substituição quer parcial ou total dos combustíveis derivados do petróleo, conseguindo-se melhorias a nível ambiental e económico em alguns casos.

8.1. Trabalho futuro

Como foi mencionado ao longo deste trabalho, é possível identificar 3 áreas de trabalho futuro, como forma de complementar este estudo:

- 1- Analisar percursos das viaturas, registando paragens, velocidade, distância e topografia dos trajetos.
- 2- Medição de emissões poluentes em ambiente real de funcionamento.
- 3- Comparação de veículos EURO VI a gasóleo com veículos a GN, em funções comparáveis.
- 4- Análise de uma frota maior de veículos *dual-fuel* com monitorização de manutenções e consumos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Bibliografia

- [1] DGEG, “Direcção Geral de Energia e Geologia Divisão de Planeamento e Estatística,” vol. 2014, 2014.
- [2] APVGN, “Veículos a Gás Natural nº1.” 2009.
- [3] E. E. Agency, “Eurostat - Greenhouse gas emissions from transport.” 2014.
- [4] “Jornal Oficial da União Europeia.” [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0459&from=PT>. [Accessed: 02-Feb-2014].
- [5] IVECO, “Euro VI - Tecnologias & estratégias,” 2014.
- [6] J. da Fonseca Nabais, *Sector dos transportes: uma perspectiva energética e ambiental*. ETEP, 2007.
- [7] “Filtros de partículas.” [Online]. Available: http://www.filtroparticulas.com/?page_id=25. [Accessed: 22-Apr-2014].
- [8] DGEG, “Balanço energético 2013.” 2013.
- [9] J. P. Domingues, “O gás natural em alternativa ao petróleo,” *Veiculos a Gás Nat.*, pp. 14–16, 2011.
- [10] ASPO, “Associação para o estudo do pico do petróleo e do gás.” [Online]. Available: <http://www.aspo-portugal.net/main.shtml>. [Accessed: 02-Apr-2014].
- [11] REN, “O setor do gás natural,” 2012. [Online]. Available: http://www.ren.pt/o_que_fazemos/gas_natural/o_setor_do_gas_natural/.
- [12] L. G. Pereira, “Estações de enchimento de GNC para frotas,” *Veiculos a Gás Nat.*, pp. 7–14, 2009.
- [13] “International Energy Agency.” [Online]. Available: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=PORTUGAL&product=NaturalGas&year=1998>.
- [14] “Indexmundi,” *1 Jan 2012*, 2012. [Online]. Available: <http://www.indexmundi.com/map/?v=98&l=pt>.
- [15] APVGN, “Associação Portuguesa do Veículo a Gás Natural,” 2001. [Online]. Available: <http://www.apvgn.pt/>.
- [16] D. Republica, “Assembleia da Republica,” pp. 5–6, 2013.

- [17] P. Lucas, "Contract hire and leasing." [Online]. Available: <http://www.contracthireandleasing.com/car-leasing-news/mercedes-starts-sales-of-natural-gas-vehicle-3/>. [Accessed: 18-May-2014].
- [18] T. Korakianitis, a. M. Namasivayam, and R. J. Crookes, "Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 37, no. 1, pp. 89–112, 2011.
- [19] APVGN, "Veículos a Gás Natural N° 2." 2009.
- [20] H. M. Cho and B. Q. He, "Spark ignition natural gas engines-A review," *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, pp. 608–618, 2007.
- [21] G. P. McTaggart-Cowan, C. C. O. Reynolds, and W. K. Bushe, "Natural gas fuelling for heavy-duty on-road use: current trends and future direction," *Int. J. Environ. Stud.*, vol. 63, no. February, pp. 421–440, 2006.
- [22] NVGA, "Position Paper : Natural Gas and CO 2 Natural gas is a champion in road transport and also saving CO 2 emissions," pp. 1–7, 2009.
- [23] J. M. López, Á. Gómez, F. Aparicio, and F. Javier Sánchez, "Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 610–615, 2009.
- [24] M. U. Aslam, H. H. Masjuki, M. a. Kalam, H. Abdesselam, T. M. I. Mahlia, and M. a. Amalina, "An experimental investigation of CNG as an alternative fuel for a retrofitted gasoline vehicle," *Fuel*, vol. 85, pp. 717–724, 2006.
- [25] G. Karavalakis, M. Hajbabaie, T. D. Durbin, K. C. Johnson, Z. Zheng, and W. J. Miller, "The effect of natural gas composition on the regulated emissions, gaseous toxic pollutants, and ultrafine particle number emissions from a refuse hauler vehicle," *Energy*, vol. 50, no. x, pp. 280–291, 2013.
- [26] a. M. L. M. Wagemakers and C. a. J. Leermakers, "Review on the Effects of Dual-Fuel Operation, Using Diesel and Gaseous Fuels, on Emissions and Performance," no. x, Apr. 2012.
- [27] Pordata, "Base de Dados Portugal Contemporâneo." [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal/Precos+medios+de+venda+ao+publico+dos+combustiveis+liquidos+e+gasosos+ +Continente-1265>.
- [28] H. E. Saleh, "Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in a dual fuel diesel engine," *Fuel*, vol. 87, pp. 3031–3039, 2008.
- [29] M. Gumus, "Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine," *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 10, pp. 1862–1867, 2011.
- [30] R. G. Papagiannakis, C. D. Rakopoulos, D. T. Hountalas, and D. C. Rakopoulos, "Emission characteristics of high speed, dual fuel, compression ignition engine

- operating in a wide range of natural gas/diesel fuel proportions,” *Fuel*, vol. 89, no. 7, pp. 1397–1406, 2010.
- [31] P. Kotsiopoulos, R. Papagiannakis, P. Tsakalou, and I. Gazinou, “Experimental Investigation Concerning the Effect of the use of Biodiesel and F-34 (JP-8) Aviation Fuel on Performance and Emissions of a DI Diesel Engine,” vol. 2007, pp. 353–365, 2007.
- [32] CML, “Câmara Municipal de Lisboa Sumário da apresentação,” 2013.
- [33] U. T. O. Bodybuilder, “(C OMPRESSED N ATURAL G AS),” 2010.
- [34] VOLVO, “Fact Sheet - Engine D6B250, EM-EC99 - VOLVO.” 2000.
- [35] DGAEP, “Direcção Regional da Economia de Lisboa Região de Turismo do Alto Minho (Costa Verde),” pp. 27912–27913, 2008.
- [36] TOPDIESEL, “Ficha técnica FT20-PEN/02,” p. 3834, 2014.
- [37] S. España and R. Bullaque, “Propano comercial - Ficha técnica,” pp. 1–11, 2008.
- [38] “Diário da república nº 122.” 2008.
- [39] IVECO, “Commercial Documentation - Eurocargo Euro VI,” pp. 17–22, 2013.
- [40] “Wikipedia - european emission standards.” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards.
- [41] Carris, “Relatório de sustentabilidade 2013,” pp. 1–80, 2013.
- [42] “Carris.” [Online]. Available: <http://www.carris.pt/pt/sustentabilidade/>.
- [43] UNA/EG, “Características técnicas-Volvo B7R LE MK3,” 2010.
- [44] UNA/EG, “Características técnicas MAN 18.310 HOCL-NL GNC,” Jan-2010.
- [45] J. Nabais, “Carris - Autocarros a gás natural,” in *O gás natural nos transportes*, 2014.
- [46] “Parceria galp cisterpor,” 2012.
- [47] M. X. Mx, “PACCAR MX engines PACCAR MX engines,” pp. 1–4, 2000.
- [48] “Maisgasolina.” [Online]. Available: <https://www.maisgasolina.com/estatisticas-dos-combustiveis/>.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco