



**António Luís Mendes Caldeira Fradique**

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Um Modelo do Efeito do *Eco-Drive* no  
Consumo de Combustível de Semirreboques**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso, Professora Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.

Coorientadora: Professora Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado,  
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade  
Nova de Lisboa.



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2015**



**Um Modelo do Efeito do *Eco-Drive* no Consumo de Combustível de Semirreboques.**

Copyright © António Luís Mendes Caldeira Fradique, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# Agradecimentos

Quero agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso e coorientadora Professora Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado por terem aceite o tema desta dissertação, pelo apoio e conhecimento fornecido bem como partilha de ideias que permitiram realizar este documento e contribuíram para o resultado final obtido.

Agradeço à empresa onde foi realizado este estudo, por todo o trabalho e confiança que tiveram neste projeto, permitindo assim a realização deste.

Um sentido de agradecimento à equipa *Mercedes-Benz* constituída por, Joana Corrêa Cordeiro, José Carlos Aguiar e Luís Lemos, pelo conhecimento fornecido no âmbito da formação de motoristas, utilização do sistema *FleetBoard* e veículos *Mercedes-Benz*.

Aos meus colegas de trabalho que me apoiaram durante a realização desta dissertação.

Um especial obrigado à minha família pelo apoio e tempo que prescindiram para a realização desta dissertação.

Um especial e profundo obrigado a Rafaela Canto pela ajuda que forneceu na realização dessa dissertação.

Por fim um especial agradecimento a Fiel Candeias, Carlos Sousa e Engenheiro Armando Oliveira pela oportunidade e apoio fornecido. Sem a vossa contribuição não seria possível realizar este estudo.



# Acknowledgements

I want to thank to my supervisor, Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso and to my co-supervisor Professora Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado, for accept the theme of this thesis for the support and knowledge provided and for the share of ideas which greatly contributed to the realization and final result obtained on this thesis.

Thanks to the company where this study was performed, for all the work and trust given in this project, allowing the accomplishment of this thesis.

A deep thanks to the *Mercedes-Benz* team, Joana Corrêa Cordeiro, José Carlos Aguiar e Luís Lemos, for the provided knowledge in scope of driver formation, utilization of *FleetBoard* system and *Mercedes-Benz* vehicles.

To my coworkers witch supported me during the realization of this thesis a deep thank you.

A special thanks to my family for the support given and time lost for the realization of this thesis.

A special and deep thanks to Rafaela Canto for the help provided to complete this thesis.

Finally a special thanks to Fiel Candeias, Carlos Sousa e Engineering Armando Oliveira for the chance and support given. Without your contribution this study was unable to be done.





# Resumo

---

Esta dissertação pretende responder à problemática que cada vez mais se faz sentir nos dias de hoje na área dos transportes, respeitante ao consumo de combustível e ainda às emissões de CO<sub>2</sub>.

Para tal, seleccionaram-se 12 motoristas que conduziram, durante 8 semanas, 10 camiões semirreboque (*Mercedes-Benz Actros III*), na região do Algarve, em Portugal.

Recorrendo ao programa de telemática *FleetBoard*, recolheram-se os dados das primeiras 4 semanas, em que nenhum sistema *Eco-Drive* se encontrava ainda em vigor. Desta análise, identificaram-se as áreas com mais potencialidade de serem melhoradas.

Com base nos resultados fornecidos pelo programa, na pesquisa bibliográfica realizada e ainda na formação que o autor desta dissertação obteve com a *Mercedes-Benz*, foi possível desenvolver um sistema *Eco-Drive* com propostas de melhoria.

Implementado o sistema *Eco-Drive*, recolheram-se novos dados durante outras 4 semanas. Os dados obtidos mostram uma redução no **Consumo médio total** de combustível (l/100 km) de 18,11%, face aos resultados correspondentes às 4 semanas iniciais. Observa-se igualmente uma redução de 18,22% nas **Emissões médias de CO<sub>2</sub>** (g/km).

Posteriormente, com o intuito de identificar qual, ou quais, as variáveis que possam ter contribuído para a redução de combustível, aplicou-se o método de regressão linear múltipla. Assim, demonstrou-se que 88,00% do valor da variável **Consumo médio total** de combustível pode ser justificado pela capacidade que um motorista tem de percorrer distância sem pressionar o acelerador (**% sem acelerador**) e ainda o modo como aciona o pedal de acelerador (**Movimentos de acelerador**).

O sistema *Eco-Drive* implementado resultou numa redução do consumo de combustível de aproximadamente 2 297,91 l num espaço de 4 semanas, fornecendo potencialidades que permitem poupar cerca de 27 574,92 l num ano. No que diz respeito às emissões de CO<sub>2</sub>, o sistema *Eco-Drive* conduziu a uma redução de 6 051,04 kg num espaço temporal de 4 semanas, o que corresponde, anualmente, a 72 612,48 kg.

Posto isto, e com o intuito de validar o sistema *Eco-Drive*, procedeu-se à contínua análise das variáveis **Consumo médio total** de combustível e **Emissões médias de CO<sub>2</sub>**, durante e entre a quinta e vigésima quarta semanas (5 meses) após implementação do sistema. Desta forma, foi possível verificar que o sistema manteve similar tendência a nível de resultados.

Assim, o sistema *Eco-Drive* implementado revelou ser uma metodologia eficaz, quer na redução do consumo de combustível, quer na redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Palavras-chave: Sistema *Eco-Drive*; Consumo de combustível; Emissões de CO<sub>2</sub>; Semirreboque.

# Abstract

---

The present thesis aims to answer to one of the biggest problems in transportation, which is fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions.

Therefore, 12 drivers who led 10 semi-trailer were selected. The truck model is a *Mercedes-Benz Actros III*. The study took place in Algarve, south of Portugal, during 8 weeks.

Using the telematics system *FleetBoard*, data were collected from first 4 weeks in which no *Eco-Drive* program was in force. From the former analysis, the main areas that could be more easily improved were identified.

Based on the results provided by the program, on the research that has been done to build this thesis and personal trainee that the author of this dissertation had with *Mercedes-Benz*, it was developed an *Eco-Drive* system with improvement proposals.

The designed *Eco-Drive* system was implemented and the system was measured again for another 4 weeks. The obtained data have shown a reduction in the average fuel consumption (l/100 km) of 18.11% compared to the results obtained in the initial 4 weeks. It was also observed an equal reduction of 18.22% in CO<sub>2</sub> emissions.

A method of multiple linear regression was applied, in order to discover what or which variables may have contributed to this result. The solution showed that 88.00% of the variable average fuel consumption (l/100 km) value, can be explained by the ability of a driver to drive without accelerating and the way a driver uses the accelerator pedal.

The implemented system resulted in a less fuel consumption of 2 297.91 l in a space time of 4 weeks, providing a potential saving of 27 574.92 l in one year. Regarding the emissions of CO<sub>2</sub>, the *Eco-Drive* system brought a reduction of 6 051.04 kg of CO<sub>2</sub> in a 4-week period, resulting in less 72 612.48 kg in a year.

After the described process has been completed, and with the purpose of check if the system was able to keep the obtained results, a continue review from the fifth to the twenty-fourth week (5 months) of the average fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions has been done. The results prove that the system was able to keep the same results.

Thus, the *Eco-Drive* system implemented has proven to be an effective methodology in reducing fuel consumption, as well as in reducing CO<sub>2</sub> emissions.

**Keywords:** *Eco-Drive* system; Fuel consumption; CO<sub>2</sub> emissions; Semi-trailer.

# Conteúdo

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 METODOLOGIA.....	2
1.4 ESTRUTURA .....	5
<b>2 ECO-DRIVE.....</b>	<b>7</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	7
2.2 SISTEMA ECO-DRIVE.....	7
2.3 FABRICANTES DE AUTOMÓVEIS E A SUA RESPONSABILIDADE.....	9
2.4 BENEFÍCIOS ECO-DRIVE.....	11
2.5 COMO APLICAR ECO-DRIVE .....	12
2.5.1 DECISÕES ESTRATÉGICAS .....	12
2.5.2 ANTECIPAR O FLUXO DE TRÂNSITO .....	15
2.5.3 VELOCIDADE E ACELERAÇÃO.....	15
2.5.4 CAIXA DE VELOCIDADES.....	20
2.5.5 PRESSÃO DOS PNEUS .....	21
2.5.6 AR CONDICIONADO E CONSUMÍVEIS ELÉTRICOS.....	22
2.5.7 OPERAÇÕES DE RALENTI.....	22
2.5.8 AERODINÂMICA.....	22
2.5.9 FUEL-CUT NA CONDUÇÃO EM DECLIVES NEGATIVOS.....	25
2.5.10 CONDUÇÃO EM DECLIVES POSITIVOS.....	28
2.6 APLICAÇÕES REAIS .....	28
2.7 SÍNTESE.....	30
<b>3 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>33</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	33
3.2.1 SOFTWARE E DISPOSITIVOS.....	35
3.2.2 FLEETBOARD.....	35
3.3 ANÁLISE PRELIMINAR DO CASO DE ESTUDO.....	40
3.4 SÍNTESE.....	43

<b>4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> .....</b>	<b>45</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	45
4.2 PROPOSTAS DE MELHORIA DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> .....	45
4.2.1 OPERAÇÕES DE RALENTI .....	46
4.2.2 AUMENTO DO <i>ECO-ROLL</i> .....	47
4.2.3 VELOCIDADE MÁXIMA E CONSTANTE .....	49
4.2.4 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA <i>CRUISE CONTROL</i> .....	49
4.2.5 MOVIMENTOS DO PEDAL DE ACELERADOR E CAIXA DE VELOCIDADES .....	49
4.2.6 CONDUÇÃO PREVENTIVA E CAIXA DE VELOCIDADES.....	51
4.3 SÍNTESE .....	52
<b>5 ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	53
5.2 RESULTADOS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> .....	53
5.3 TESTE DE FISHER E T-STUDENT ÀS VARIÁVEIS .....	56
5.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> .....	57
5.5 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....	60
5.6 ANÁLISE AO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E TRAVAGEM .....	71
5.7 BALANÇO DE CO <sub>2</sub> .....	73
5.8 ANÁLISE DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> IMPLEMENTADO DURANTE 5 MESES .....	73
5.9 SÍNTESE .....	75
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
6.1 CONCLUSÕES FINAIS .....	77
6.2 LIMITAÇÕES DA ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES .....	84
6.3 DESAFIOS PARA O FUTURO .....	85
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>91</b>
A1 – TESTES ESTATÍSTICOS DE FISHER ÀS VARIÁVEIS .....	91
A2 – TESTES ESTATÍSTICOS T-STUDENT ÀS VARIÁVEIS.....	98

# Lista de Figuras

FIGURA 2.1-IMPACTO DAS PARAGENS ENTRE DOIS PONTOS.....	13
FIGURA 2.2-ESQUEMA DO SISTEMA DE INCENTIVOS.....	14
FIGURA 2.3-PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS NUMA CONDUÇÃO ECONÓMICA E NÃO-ECONÓMICA.....	17
FIGURA 2.4-PERFIS DE VELOCIDADE <i>ECO-DRIVE</i> , NÃO <i>ECO-DRIVE</i> E RECOMENDADA.....	17
FIGURA 2.5-PERFIL DE ACELERAÇÃO DO CONDUTOR <i>ECO-DRIVE</i> .....	18
FIGURA 2.6-PERFIL DE ACELERAÇÃO DO CONDUTOR NÃO <i>ECO-DRIVE</i> .....	19
FIGURA 2.7-CURVAS DE BINÁRIO E POTÊNCIA DOS MOTORES D11 E D13 (EURO 6) <i>VOLVO</i> .....	21
FIGURA 2.8-EFEITO DO ARRASTO AERODINÂMICO NA TRASEIRA DE UM CAMIÃO.....	23
FIGURA 2.9-FUNÇÃO DO DEFLETOR SUPERIOR NA AERODINÂMICA DE UM CAMIÃO.....	23
FIGURA 2.10-FUNÇÃO DO DEFLETOR LATERAL NA AERODINÂMICA DE UM CAMIÃO.....	24
FIGURA 2.11-REPRESENTAÇÃO DO EFEITO AERODINÂMICO DOS DEFLETORES.....	24
FIGURA 2.12-PERDA DE ENERGIA NUM CAMIÃO A VELOCIDADE ELEVADA.....	25
FIGURA 3.1-EXEMPLO DO RESULTADO OBTIDO NO ESTILO DE CONDUÇÃO (DESTAQUE A AZUL) DE UM MOTORISTA, RESULTANTE DAS VARIÁVEIS ESTILO DE CONDUÇÃO (CONSUMO), ESTILO DE CONDUÇÃO (TRAVAGEM) E GRAU DE DIFICULDADE.....	36
FIGURA 3.2-VARIÁVEL ESTILO DE CONDUÇÃO EM FUNÇÃO DO ESTILO DE CONDUÇÃO (CONSUMO), ESTILO DE CONDUÇÃO (TRAVAGEM) E GRAU DE DIFICULDADE.....	36
FIGURA 3.3-EXEMPLO DE UM RESULTADO OBTIDO NO ESTILO DE CONDUÇÃO (CONSUMO) (DESTAQUE A LARANJA), RESULTANTE DAS VARIÁVEIS ESTILO DE CONDUÇÃO PREVENTIVO, MOVIMENTOS DE ACELERADOR, RALENTI, OPERAÇÃO CAIXA DE VELOCIDADES E VELOCIDADE CONSTANTE (DESTAQUES A VERDE).....	37
FIGURA 3.4-VARIÁVEL ESTILO DE CONDUÇÃO (CONSUMO), EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTILO DE CONDUÇÃO PREVENTIVO, MOVIMENTOS DE ACELERADOR, RALENTI, OPERAÇÃO CAIXA DE VELOCIDADES E VELOCIDADE CONSTANTE.....	37
FIGURA 3.5-EXEMPLO DE UM RESULTADO OBTIDO NO ESTILO DE CONDUÇÃO (TRAVAGEM) (DESTAQUE A AMARELO), RESULTANTE DAS VARIÁVEIS ESTILO DE CONDUÇÃO PREVENTIVO E DESACELERAÇÃO (DESTAQUES A VERDE). .....	38
FIGURA 3.6-VARIÁVEL ESTILO DE CONDUÇÃO (TRAVAGEM), EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTILO DE CONDUÇÃO PREVENTIVO E DESACELERAÇÃO.....	38
FIGURA 3.7-EXEMPLO DE UM RESULTADO OBTIDO NO GRAU DE DIFICULDADE (DESTAQUE A ROXO), RESULTANTE DAS VARIÁVEIS DECLIVE MÉDIO, PARAGENS E PESO MÉDIO (DESTAQUES A VERDE).....	39
FIGURA 3.8-VARIÁVEL GRAU DE DIFICULDADE, EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DECLIVE MÉDIO, PARAGENS E PESO MÉDIO.....	39
FIGURA 5.1-GRÁFICO DE PROBABILIDADE NORMAL DOS ERROS, OU RESÍDUOS.....	62
FIGURA 5.2-DISTRIBUIÇÃO NORMAL DOS ERROS, OU RESÍDUOS.....	63
FIGURA 5.3-GRÁFICO COM A DISPERSÃO DOS ERROS, OU RESÍDUOS.....	64
FIGURA 5.4-EVOLUÇÃO DO CONSUMO MÉDIO TOTAL (L/100KM) E EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MÉDIAS, AO LONGO DE 5 MESES.....	75





# Lista de Tabelas

TABELA 1.1-IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUALITATIVAS EM ESTUDO.....	4
TABELA 1.2-IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS EM ESTUDO.....	5
TABELA 2.1-RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE, RESISTÊNCIA AERODINÂMICA E RESISTÊNCIA DE ROLAMENTO E ACESSÓRIOS.....	25
TABELA 2.2-DIFERENTES TÉCNICAS DE CONDUÇÃO APLICADAS AO MESMO PERCURSO. ....	26
TABELA 2.3-CONDUÇÃO COM <i>FUEL-CUT</i> CONSOANTE O TIPO DE DECLIVE NEGATIVO.....	27
TABELA 2.4-RESULTADOS OBTIDOS ANTES, DEPOIS E 3 MESES APÓS A FORMAÇÃO <i>Eco-DRIVE</i> .....	29
TABELA 3.1-VARIÁVEIS CONVERTIDAS PARA VALORES MÉDIOS E A RESPECTIVA RAZÃO DE VALORES ABSOLUTOS.....	41
TABELA 3.2-VALORES OBTIDOS PARA AS VARIÁVEIS QUALITATIVAS NA ANÁLISE PRELIMINAR (ANTES DA FORMAÇÃO <i>Eco-DRIVE</i> ).....	42
TABELA 3.3-VALORES OBTIDOS PARA AS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS NA ANÁLISE PRELIMINAR (ANTES DA FORMAÇÃO <i>Eco-DRIVE</i> ).....	42
TABELA 5.1-VALORES OBTIDOS PARA AS VARIÁVEIS QUALITATIVAS, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>Eco-DRIVE</i> . .....	54
TABELA 5.2-VALORES OBTIDOS PARA AS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>Eco- DRIVE</i> .....	55
TABELA 5.3-VARIAÇÃO REGISTRADA PARA AS VARIÁVEIS QUALITATIVAS, ANTES E DEPOIS DO SISTEMA <i>Eco-DRIVE</i> ..	58
TABELA 5.4-VARIAÇÃO REGISTRADA PARA AS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS, ANTES E DEPOIS DO SISTEMA <i>Eco-DRIVE</i> . .....	59
TABELA 5.5-ESTATÍSTICA DE <i>DURBIN-WATSON</i> PARA O PRESSUPOSTO DA INDEPENDÊNCIA DOS RESÍDUOS.....	64
TABELA 5.6-ESTATÍSTICA DE RESÍDUOS: VALOR CENTRADO DE INFLUÊNCIA, DISTÂNCIA DE <i>COOK</i> E DISTÂNCIA DE <i>MAHALANOBIS</i> . ....	64
TABELA 5.7-ESTATÍSTICA DE RESÍDUOS, OU ERROS, APÓS A RESTRIÇÃO APLICADA NA DISTÂNCIA DE <i>MAHALANOBIS</i> . .....	65
TABELA 5.8-CORRESPONDÊNCIA DO NOME DA VARIÁVEL EM ESTUDO A UMA LETRA NO PROGRAMA SPSS.....	66
TABELA 5.9-DIAGNÓSTICO DE MULTICOLINEARIDADE (VALOR DE VIF). ....	67
TABELA 5.10-VALORES DE <i>SIG</i> (VALOR <i>P</i> ) E VALORES VIF. ....	67
TABELA 5.11-VALORES DE <i>SIG</i> (VALOR <i>P</i> ) E VIF, APÓS REMOÇÃO DAS VARIÁVEIS C, F E G. ....	68
TABELA 5.12-VALORES DE $R^2$ AJUSTADO, DESVIO PADRÃO E <i>DURBIN-WATSON</i> , DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA. ....	68
TABELA 5.13-VALORES DE $R^2$ AJUSTADO, DESVIO PADRÃO E <i>DURBIN-WATSON</i> , QUANDO A VARIÁVEL H (CONSUMO MÉDIO EM RALENTI) É REMOVIDA.....	68
TABELA 5.14-VALORES DE $R^2$ AJUSTADO, DESVIO PADRÃO E <i>DURBIN-WATSON</i> , QUANDO A VARIÁVEL K (VELOCIDADE CONSTANTE) É REMOVIDA.....	69
TABELA 5.15-VALORES DE $R^2$ AJUSTADO, DESVIO PADRÃO E <i>DURBIN-WATSON</i> , QUANDO A VARIÁVEL I (MOVIMENTOS DE ACELERADOR) É REMOVIDA.....	69
TABELA 5.16-VALORES DE <i>SIG</i> (VALOR <i>P</i> ) E VIF, APÓS REMOÇÃO DAS VARIÁVEIS H E K. ....	69
TABELA 5.17-VALORES DE <i>SIG</i> (VALOR <i>P</i> ) E VIF, APÓS REMOÇÃO DAS VARIÁVEIS D E J.....	70

TABELA 5.18-COEFICIENTE E DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS A (DISTÂNCIA PERCORRIDA COM >85,00 KM/H), B (% SEM ACELERADOR) E I (MOVIMENTOS DE ACELERADOR). .....	70
TABELA 5.19-VALOR DE $R^2$ AJUSTADO OBTIDO, ANTES DE SE REMOVER A VARIÁVEL A (DISTÂNCIA PERCORRIDA COM >85,00 KM/H). .....	70
TABELA 5.20-VALOR DE $R^2$ AJUSTADO OBTIDO, APÓS REMOÇÃO DA VARIÁVEL A (DISTÂNCIA PERCORRIDA COM >85,00 KM/H). .....	71
TABELA 5.21-COEFICIENTES PARA AS VARIÁVEIS B (% SEM ACELERADOR) E I (MOVIMENTOS DE ACELERADOR), APÓS O MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA TER SIDO CONCLUÍDO. ....	71
TABELA 5.22-VALORES DAS VARIÁVEIS CONSUMO MÉDIO TOTAL E EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MÉDIAS, 5 MESES APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> . .....	74
TABELA 6.1 – VARIAÇÃO REGISTRADA PARA AS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS CONSUMO MÉDIO TOTAL (L/100 KM) E EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MÉDIAS (G/KM) ANTES, IMEDIATAMENTE APÓS E 5 MESES APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>ECO-DRIVE</i> . .....	83

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

Os problemas associados ao excesso de consumo de combustível representam uma preocupação pessoal para o autor desta dissertação.

O crescimento económico dos países subdesenvolvidos promoveu o aumento do consumo de combustível e, nos últimos anos, tem-se assistido a uma grande instabilidade no que diz respeito à flutuação de preços de mercado, o que dificulta a gestão deste recurso.

As seguintes estatísticas apoiam o que foi mencionado no parágrafo anterior:

“264 mil milhões é o número de toneladas correspondentes às reservas de carvão nos Estados Unidos. Ao ritmo do consumo atual durariam 225 anos. A central elétrica Hunter do Utah alimenta a rede Oeste dos Estados Unidos. Consome 14 mil toneladas de carvão por dia.”

“2 é o número de centrais elétricas de carvão inauguradas semanalmente na China desde 2008.”

“A incessante procura de petróleo levou à perfuração de poços cada vez mais profundos e perigosos. A 20 de Abril de 2010 a plataforma petrolífera Deepwater Horizon afundou-se e provocou danos irreversíveis no golfo do México.”

“Tempo que o mundo demorou para consumir o seu primeiro bilião de barris de petróleo: 140 anos. Tempo que demorará para consumir o bilião seguinte: 30 anos.”

Todos os excertos anteriores foram transcritos da revista *National Geographic*, versão portuguesa, edição especial: “Energia - o grande dilema do nosso futuro”.

A motivação por detrás desta dissertação foi crescendo exponencialmente a cada passo do seu desenvolvimento, na medida em que, para a realização deste estudo, tornou-se necessário um contacto direto e intenso com a distribuição de produtos alimentares. Este envolvimento veio reforçar a ideia do quanto a sociedade depende deste tipo de veículos e deste tipo de indústria para a sua sobrevivência, ideia esta que muitas vezes cai no esquecimento da maioria.

## **1.2 Objetivos**

São objetivos desta dissertação:

- Mostrar que a implementação de um sistema *Eco-Drive* em veículos de mercadorias semirreboques, isto é a adoção de uma condução inteligente na atividade dos transportes, permite reduzir o consumo de combustível;
- Mostrar que a implementação de um sistema *Eco-Drive* em semirreboques, permite reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera;
- Desenvolver um modelo matemático para:
  - a) Quantificar a redução do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub> que se obtém através da implementação de sistema *Eco-Drive*.
  - b) Explicar as causas da redução do consumo de combustível em semirreboques através de variáveis, qualitativas e quantitativas, intrínsecas e extrínsecas ao sistema *Eco-Drive* e/ou passíveis de serem controladas pelo sistema *Eco-Drive*.

## **1.3 Metodologia**

Para atingir os objetivos identificados, selecionou-se uma frota de 10 camiões semirreboque *Mercedes-Benz Actro III* (novos) a operar em rotas fixas e rotativas na zona sul de Portugal – Algarve, e estudou-se a evolução do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>.

Os 10 veículos foram conduzidos por 12 motoristas, durante 8 semanas. Nas primeiras 4 semanas, os motoristas não tinham recebido qualquer formação em *Eco-Drive*. Nas restantes 4, os resultados obtidos resultam da condução por parte dos motoristas já com formação e implementado o sistema *Eco-Drive*.

A formação foi dada pelo próprio autor desta dissertação, que implicou o acompanhamento dos motoristas na cabine dos veículos em estudo, durante a atividade diária dos mesmos.

O sistema *Eco-Drive* aplicado é essencialmente sustentado pela formação em *Eco-Drive* dos motoristas em estudo. Esta formação passa pelo acompanhamento dos mesmos na cabine do veículo durante os seus trajetos e um controlo posterior do comportamento dos condutores com o auxílio de um programa de telemática (*FleetBoard*).

A metodologia de desenvolvimento da presente dissertação pode dividir-se em 5 partes: recolha e análise de dados antes da implementação de um sistema *Eco-Drive* (4 semanas);

a própria implementação do sistema *Eco-Drive*; recolha e análise de dados após a sua implementação (4 semanas); aplicação de um modelo de regressão linear múltipla; e, finalmente, uma análise do estado do sistema *Eco-Drive* durante 5 meses posteriores à sua implementação.

Não foram analisados parâmetros de resistência aerodinâmica, resistência/atrito de rolamento ou temperatura do ar, nem registado qualquer tipo de alteração climatérica. Relativamente à topografia das rotas, não foi feito nenhum estudo, uma vez que o programa *FleetBoard* devolve informação sobre a dificuldade dos trajetos e estes, para além de serem rotas pré-definidas, foram distribuídos aleatoriamente.

Esta aleatoriedade na distribuição dos trajetos pelos motoristas traduz-se numa igual oportunidade para que os mesmos possam experienciar todo o tipo de trajetos.

Para que os dados pudessem ser analisados da forma mais correta, e ainda para que fosse possível prover os motoristas com formação em *Eco-Drive*, o autor desta dissertação teve formação com o construtor dos veículos, neste caso, *Mercedes-Benz*.

Uma análise preliminar do estado do sistema em estudo foi feita com base nas primeiras 4 semanas e com o auxílio da ferramenta *Excel* da *Microsoft*, com o intuito de compreender qual o consumo médio total do sistema, bem como as respetivas emissões de CO<sub>2</sub>, e ainda quais as áreas com piores resultados. Posto isto, desenvolveu-se um plano de formação de condução *Eco-Drive* com propostas de melhorias (capítulo 4) que visassem resolver os problemas identificados.

Implementou-se um sistema de suporte e monitorização regular, com vista a ajudar os motoristas a manterem os resultados. Esse sistema de suporte foi sustentado por via telefone e ainda via correio eletrónico, com o objetivo de assegurar uma constante atualização e *feedback* aos motoristas em relação à sua *performance*.

Uma vez implementado o sistema *Eco-Drive*, mediu-se novamente o estado do sistema, recolheram-se os dados e realizou-se uma análise comparativa das primeiras 4 semanas, sem formação de *Eco-Drive*, *versus* as 4 semanas após a implementação do sistema.

Como se pretende estudar se houve variação no valor médio de cada variável, aplicou-se o teste estatístico de *Fisher* às variâncias das variáveis em estudo. As variáveis em estudo dividem-se em 2 grupos: qualitativas e quantitativas. A designação das variáveis foi transcrita diretamente do programa *FleetBoard*, alterando-se apenas o nome da variável quantitativa, Distância com piloto automático/Distância total (%) para *Cruise control*/Distância total (%). Ao longo do estudo, foram definidas variáveis (capítulo 3), de modo a criar ferramentas úteis para a análise do sistema implementado, sendo que,

nestes casos, o nome das variáveis foi adaptado pelo autor da dissertação. As tabelas 1.1 e 1.2 identificam as variáveis que foram motivo de análise nesta dissertação.

Após a aplicação do teste de *Fisher*, aplicou-se o teste *t-student* com o objetivo de estudar quais as variáveis que apresentavam nas suas médias valores estatisticamente diferentes.

Em seguida, comparou-se o impacto dos resultados obtidos, antes e após a implementação do sistema *Eco-Drive*, no consumo médio total de combustível e ainda nas respetivas emissões de CO<sub>2</sub> médias.

Feita a análise comparativa, aplicou-se o método de regressão linear múltipla, com o intuito de perceber qual, ou quais, as variáveis independentes que mais contribuíram para a alteração do consumo médio total de combustível.

Uma vez que se conhece que os efeitos de um sistema *Eco-Drive* são difíceis de manter a médio/longo prazo, analisou-se a evolução do consumo médio total de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> médias, durante 5 meses, já implementado o sistema *Eco-Drive*.

**Tabela 1.1-Identificação das variáveis qualitativas em estudo.**

<b>Variáveis Qualitativas</b>
<b>Estilo de condução</b>
<b>Estilo de condução (consumo)</b>
Estilo de condução preventivo
Movimentos de acelerador
Ralenti
Operação caixa de velocidades
Velocidade constante
<b>Estilo de condução (travagem)</b>
Estilo de condução preventivo
Desaceleração
<b>Grau de dificuldade</b>
Declive médio
Paragens
Peso médio

**Tabela 1.2-Identificação das variáveis quantitativas em estudo.**

<b>Variáveis Quantitativas</b>
Distância de travagem/Distância total (%)
Distância de travagem sem desgaste/Distância total (%)
Distância percorrida com >85,00 km/h (%)
% sem acelerador (%)
<i>Cruise control</i> /Distância total (%)
Velocidade média (km/h)
Paragens/100 km (n/100 km)
Tempo de condução/100 km (h:min:s)
Tempo em ralenti/100 km (h:min:s)
Consumo médio total (l/100 km)
Consumo médio em condução (l/100 km)
Consumo médio em ralenti (l/100 km)
Emissões de CO <sub>2</sub> médias (g/km)
Peso médio (t)

## **1.4 Estrutura**

Com o intuito de se reduzir, quer o consumo de combustível, quer as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, desenvolveu-se um caso de estudo que permitisse aplicar as metodologias envolvidas no sistema *Eco-Drive*.

Deste modo, no capítulo que se segue é apresentada uma revisão bibliográfica detalhada, respeitante ao estado de arte do sistema *Eco-Drive*, focando os principais benefícios que podem advir da sua implementação e as suas principais áreas de suporte. Este sistema apresenta-se como tendo várias áreas de ação, tais como, o controlo da velocidade excessiva, a antecipação ao fluxo de trânsito e a obstáculos, a minimização de acelerações bruscas, a utilização do motor e da caixa de velocidades nos regimes de binários corretos, bem como tirar proveito da massa do veículo para usufruir da propriedade de corte de combustível existente nos veículos atuais. O capítulo 2 é, portanto, o local desta dissertação onde se descreve com mais detalhe o que é o *Eco-Drive*.

Adiante, o capítulo 3 inicia com a exposição do caso de estudo onde se pretende aplicar o sistema *Eco-Drive*, seguindo-se a descrição do tipo de *software* utilizado na recolha e tratamento de dados. Nesse mesmo capítulo é feita a análise preliminar que permitiu evidenciar e quantificar o sistema inerente ao caso de estudo, durante as primeiras 4 semanas, antes da implementação do sistema *Eco-Drive*.

Ulteriormente, no capítulo 4, encontram-se identificadas as potenciais áreas de melhoria e propõe-se um sistema *Eco-Drive*, composto por um conjunto de propostas de melhoria, com o objetivo último de reduzir o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes.

De seguida, no capítulo 5, expõem-se os resultados obtidos durante as 4 semanas de utilização dos veículos após a implementação do sistema *Eco-Drive*. Após este processo é elaborada uma análise comparativa dos resultados obtidos antes e depois da implementação do sistema *Eco-Drive*. Foi possível constatar que algumas variáveis apresentavam alterações significativas no seu valor médio, utilizando os testes estatísticos de *Fisher* e *t-student*. Desenvolveu-se ainda um modelo de regressão linear múltipla, de modo a explicar a redução no consumo de combustível, com base nas variáveis cujos valores médios registaram alterações e em outras que se consideraram como potenciais variáveis explicativas. Ainda no capítulo 5, é efetuada uma análise ao consumo de combustível e às emissões de CO<sub>2</sub>, onde se procurou quantificar a potencial poupança nestes âmbitos decorrente da implementação do sistema *Eco-Drive*, durante 4 semanas. De acordo com os resultados obtidos, foi determinada igualmente a potencial redução de combustível obtida para um ano de implementação do sistema e respetivas emissões de CO<sub>2</sub>. Para além disso, realizou-se também uma análise da taxa de utilização do sistema de travagem (disco e pastilhas) ao longo do período em estudo, a qual revelou ter um impacto positivo, pela reduzida utilização. Posteriormente, no capítulo 5 procede-se a uma análise do estado do sistema durante um espaço temporal de 5 meses, mas apenas para o consumo médio de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> médias.

Por último, no capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões a respeito desta dissertação e ainda identificados alguns trabalhos e perspetivas futuras.

O sistema *Eco-Drive* aplicado a um período de 4 semanas resultou numa redução de cerca de 2 298 l no consumo de combustível o que se traduz numa redução do custo de aproximadamente 2 775 € (considerando o preço médio do combustível 1,20 €/l, em 2015).

Num período de 5 meses este sistema permitiu uma redução de aproximadamente 10 760,41 litros no consumo de combustível e, conseqüentemente, uma redução de aproximadamente 12 998 € no custo.



## **2 Eco-Drive**

### **2.1 Introdução**

Neste capítulo descreve-se o estado da arte do sistema *Eco-Drive* e os principais componentes desta técnica, bem como as principais áreas de ação e os principais benefícios que podem advir da sua implementação. São ainda descritas algumas técnicas de um dos principais fabricantes de veículos pesados e aplicações reais.

### **2.2 Sistema Eco-Drive**

A redução do consumo de combustíveis fósseis poluentes é uma preocupação atual, com vista à diminuição do impacto nas alterações climáticas e, conseqüentemente, da sobrecarga orçamental das empresas.

O transporte de mercadorias é importante para a sociedade contemporânea. Aviões, navios, comboios e camiões suportam a globalização e transportam as mercadorias para locais perto de nós. No entanto, a sociedade sofre conseqüências de efeitos secundários adversos, como o excesso de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), acidentes e poluição sonora (Arvidsson, Woxenius & Lammgard, 2013).

Com o intuito de controlar alguns destes efeitos secundários, a União Europeia definiu metas para a redução de 20% das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera até 2020 (COM/2008/0030). Para que estas metas possam ser atingidas, a União Europeia estabeleceu um plano de ação para a eficiência energética (COM/2006/0545). Este plano de ação identifica o sector dos transportes como um dos mais problemáticos e dependente de recursos fósseis (Liimatainen & Pollanen, 2010).

O perfil de condução *Eco-Drive* é traduzido pela adoção de uma condução inteligente, com o intuito de reduzir o consumo médio de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>. Acelerar suavemente, mudar de mudança mais cedo, antecipar o fluxo de tráfego e os sinais de trânsito, de modo a evitar paragens e arranques bruscos e, ainda, eliminar o excesso de *ralenti*, poderão ser métodos eficazes para se atingir o objetivo pretendido. A condução deverá ser praticada dentro dos limites de velocidade legais, ou mesmo abaixo destes, desde que seja seguro para os outros utilizadores da estrada (Barkenbus, 2010; Barth &

Boriboonsomsin, 2009; Dogan, Steg & Delhomme, 2011; Ericsson, 2001; Sivak & Schoettle, 2012; Xia, Boriboonsomsin & Barth, 2013).

Os avanços tecnológicos não são suficientes e carecem de ser complementados com o ensino de técnicas de utilização de recursos que facilitem e visem o objetivo da redução do consumo. Tem-se dado pouco valor à relevância que o comportamento do condutor pode ter no aumento da eficiência do combustível em prol de grandes investimentos a nível tecnológico, mas estudos mostram que o retorno do investimento, em alguns casos, demora bastante tempo (Hari *et al.* 2012).

A prática do *Eco-Drive* tem um elevado significado no quadro da mobilidade sustentável, pois contribui claramente para a proteção ambiental e redução de custos de combustível e manutenção (Barkenbus, 2010).

Um bom exemplo é a empresa alemã *Hamburger Wasserwerke*, que conseguiu obter reduções no consumo de combustível em 5,8% e de manutenção em 25% (Baric, Zovak & Perisa, 2013).

O estilo de condução *Eco-Drive* é um dos programas conservativos com uma relação custo-benefício de acordo com a Agência Internacional de Energia. Diferentes sistemas *Eco-Drive* na Europa e na Ásia têm demonstrado uma economia de combustível na ordem dos 5%, podendo mesmo chegar até aos 15% (Xia *et al.* 2013). Outros sistemas na Europa demonstraram reduções no consumo de combustível entre os 5% e os 20% (Barth & Boriboonsomsin, 2009; Degraeuwe & Beusen, 2013; Hari *et al.* 2012; Stromberg & Karlsson, 2013).

Adicionalmente, estes sistemas têm vindo a aumentar a segurança rodoviária, pois incidem sobre o controlo da velocidade excessiva (Barth & Boriboonsomsin, 2009).

Uma condução mais segura implica uma melhor leitura do trânsito, velocidades de cruzeiro mais baixas, manter a velocidade o máximo constante e realizar menos ultrapassagens (Barth & Boriboonsomsin, 2009; Choi, Ko & Jeung, 2013).

Duas empresas em Gotemburgo, na Suécia, afirmam que a perda de tempo por se conduzir cuidadosamente é pequena, quando comparada com a redução do combustível consumido (Arvidsson *et al.* 2013).

No entanto, se nos concentrarmos no comportamento do condutor, a redução no consumo de combustível pode ser sentida num curto prazo de tempo, através de formação aos motoristas. Porém, o efeito da formação poderá não se manter a longo prazo (Larsson & Ericsson, 2009; Waters & Laker, 1980; Vagg *et al.* 2013), uma vez que alguns motoristas voltam aos seus hábitos de condução e pioram a sua *performance* (Ando & Nishihori,

2012; Degraeuwe & Beusen, 2013). Estudos mostram que, a longo prazo, os valores de redução no consumo de combustível poderão manter-se entre 3-6% (Arvidsson *et al.* 2013).

Para se minimizar este efeito, é aconselhado um controlo regular após a formação, através de programas de telemática ou de tecnologia (Baric *et al.* 2013; Stromberg & Karlsson, 2013).

Quando em prática, o *Eco-Drive* reduz o consumo de combustível, aumenta a segurança rodoviária e traz benefícios para a economia, sem grandes variações sobre o tempo de viagem.

### **2.3 Fabricantes de automóveis e a sua responsabilidade**

Hoje em dia, os fabricantes de automóveis estão sensibilizados para o problema mundial do excesso de poluição e de consumo de combustível.

Devido a pressões políticas e sociais, os fabricantes de automóveis respondem cada vez melhor ao problema através de investigação e desenvolvimento tecnológico, promovendo de uma forma geral a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (Fiat, 2010).

No entanto, a responsabilidade dos fabricantes não acaba quando o cliente adquire o produto e sai do *stand* com o automóvel.

A *Fiat*, por exemplo, desenvolveu um conjunto de ações que permitem sensibilizar o cliente para o *Eco-Drive*. Essas ações passam pela instalação de um sistema de recolha de dados no veículo, permitindo ao condutor gravar os dados de um trajeto, através de uma *pen drive* que se liga por USB numa porta designada para o efeito no veículo. No fim do trajeto, o condutor pode consultar os seus dados no seu computador pessoal, através de um programa que a *Fiat* disponibiliza *online*. O programa devolve informação sobre o estilo de condução e atribui uma classificação. Desta forma, os condutores podem evoluir a sua condução, segundo a informação devolvida pelo *software* (Fiat, 2010; Barkenbus, 2010).

Através deste processo, a *Fiat* registou e analisou os dados dos veículos dos seus clientes - 9 000 000 viagens e 42 000 condutores. Os resultados dessa análise demonstraram que é possível melhorar o estilo de condução e obter assim reduções de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> entre 6-10% (Fiat, 2010).

Outro exemplo é o da *Nissan*, que tem equipada nos seus veículos uma barra que altera a sua cor e tamanho, consoante o tipo de comportamento do condutor. Já a *Honda*, em

1999, implementou uma pequena luz verde no painel de instrumentos que acende com a palavra “Eco”, sempre que o condutor do veículo estiver a praticar uma condução dentro dos parâmetros económicos (Barkenbus, 2010).

Com o intuito de responder ao problema das emissões de gases nocivos, ao longo do tempo, os fabricantes têm introduzido tecnologias que permitem reduzir este tipo de emissões. Exemplo disso é a tecnologia EGR (*Exhaust Recirculation Gases*), que consiste em introduzir na câmara de combustão gases provenientes do escape, para que a combustão seja menos rica em oxigénio e emita valores inferiores de óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) (Zheng, Reader & Hawley, 2004). Outros exemplos deste tipo de tecnologia passam pelo uso de filtros de partículas e catalisadores (Biswas, Verma, Schauer & Sioutas, 2009), entre outras.

Investigação na área da melhoria da combustão, novos comandos inteligentes para o tempo de abertura de válvulas, sistemas de *Common Rail*, veículos híbridos (Toyota, 2014) e outros 100% elétricos com 0% de emissões de CO<sub>2</sub>, revelam que os fabricantes apresentam no mercado alternativas que permitem um consumo de combustível inferior e níveis de emissões de gases de estufa mais baixos, ou mesmo nenhuns, no caso do veículo ser totalmente elétrico (Volkswagen, 2014; Nissan, 2014).

Outros fabricantes têm desenvolvido igualmente tecnologias que visam a economia de combustível e a redução de emissões, por exemplo a *Blue Motion* do grupo *Volkswagen* (Volkswagen, 2014) e a *Bluetec* da *Mercedes-Benz* (Mercedes-Benz, 2014), permitindo que os motores cumpram as normas de emissões de acordo com o regulamento (CE) n° 715/2007 (União Europeia, 2014), atualizado para a presente norma Euro 6, disponível no regulamento (CE) n° 415/2012 (União Europeia, 2014a).

Contudo, não é apenas no ramo dos veículos ligeiros que esta evolução tecnológica se tem feito sentir. Nos veículos pesados é uma realidade cada vez mais presente. Os motores dos camiões *Volvo* dos dias de hoje gastam menos 30% de combustível, quando comparados com os motores existentes na década de 80 do século passado (Volvo, 2014).

A *Volvo* garante que 95% dos seus veículos pesados é fabricado com materiais que podem ser reciclados e ainda que cerca de 33% de todo o veículo é construído com este mesmo material reciclado (Volvo, 2014a). Outros fabricantes de veículos ligeiros de passageiros, como a *Renault*, também usam recursos recicláveis e reciclados para fabricarem os seus veículos (Renault, 2014).

Os fabricantes de veículos pesados também estão sujeitos às normas de emissões de gases da União Europeia de acordo com o regulamento referente à norma Euro 6 (CE) n°595/2009 (União Europeia, 2014b).

De maneira a responder a estas restrições, foram desenvolvidas tecnologias como, por exemplo, o sistema complexo de tratamento de gases de escape que a *Volvo* equipou nos seus veículos pesados, que visam cumprir a norma Euro 6. O sistema de escape é composto por um catalisador de oxidação que produz  $\text{NO}_2$ , para que o funcionamento do filtro de partículas *diesel*, que filtra e guarda as partículas geradas pela combustão do *diesel*, possa funcionar corretamente. Depois do filtro, é injetada uma solução aquosa de ureia, mais conhecida por *AbBlue*, e os gases seguem para uma unidade nova de tratamento de gases, denominada de redução catalítica seletiva, onde os  $\text{NO}_x$  são transformados em azoto (N) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). No último segmento do escape encontra-se o catalisador com revestimento de amónia ( $\text{NH}_3$ ), responsável por remover a amónia restante (Volvo, 2014b).

Para além disso, os fabricantes de veículos pesados desenvolveram ainda caixas de velocidades que se adaptam consoante a inclinação do solo. Numa subida, selecionam a melhor relação de caixa e, caso detetem que estão na presença de uma ligeira descida, ou num troço plano, desengatam o veículo para que se possa beneficiar e conservar ao máximo a energia cinética (Volvo, 2014c; Mercedes-Benz, 2014).

Durante as décadas de 70 e 80 do século XX, a eficiência dos veículos pesados crescia anualmente a uma taxa de 0,7%. O facto de, entre 1980 e 2006, a eficiência dos veículos ter aumentado 40% (Arvidsson, *et al.* 2013), vem comprovar que os fabricantes cada vez mais produzem veículos com maiores níveis de eficiência.

## **2.4 Benefícios Eco-Drive**

Apresentam-se em seguida as vantagens mais comuns dos sistemas *Eco-Drive*, no que diz respeito à segurança, ao ambiente, à economia na condução e à responsabilidade social (Baric, *et al.* 2013).

Segurança:

- Aumento da segurança rodoviária.
- Melhoria das capacidades de condução.

Ambiente:

- Redução da emissão dos gases de efeito de estufa ( $\text{CO}_2$ ).
- Redução das emissões localizadas prejudiciais.
- Redução da poluição sonora (o barulho de 1 automóvel a trabalhar às 4 000 rotações por minuto é o mesmo que 32 a trabalhar às 2 000 rotações por minuto, e isto responde a um dos problemas base da poluição sonora no contexto urbano).

Economia na condução:

- Redução do consumo de combustível.
- Redução dos custos de manutenção.
- Redução dos custos devido a acidentes.

Responsabilidade social:

- Contribuição para uma condução mais responsável.
- Redução do *stress* durante a condução.
- Aumento do conforto na condução, tanto para os condutores, como para os passageiros.

## ***2.5 Como aplicar Eco-Drive***

O objetivo de um sistema *Eco-Drive* é induzir a prática de uma condução inteligente, com o intento de reduzir o consumo médio de combustível, sem que, ao mesmo tempo, prejudique significativamente, quer a velocidade média, quer a duração de uma viagem. O sistema *Eco-Drive* não só se traduz em melhorias económicas, como também contribui expressivamente para uma melhor proteção ambiental, redução de emissões, estando também relacionado diretamente com o aumento da segurança rodoviária, uma vez que minimiza o excesso de velocidade (Barkenbus, 2010; Barth & Boriboonsomsin, 2009; Dogan *et al.* 2011; Ericsson, 2001; Sivak & Schoettle, 2012).

### ***2.5.1 Decisões estratégicas***

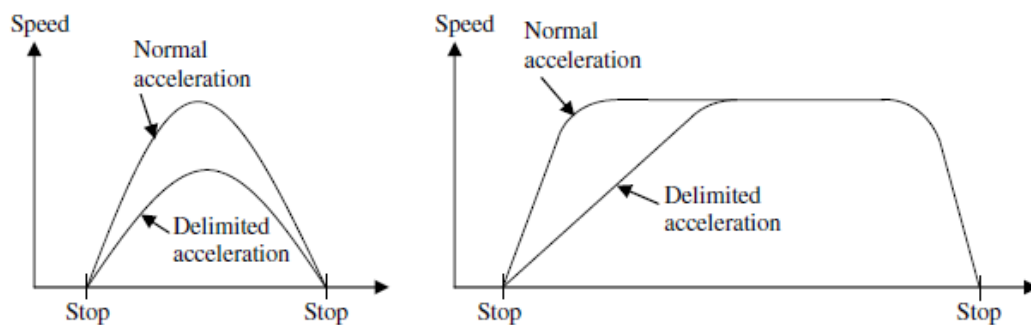
O comportamento humano na condução não é o único fator responsável pela redução, ou não, do consumo de combustível. Por exemplo, no caso de empresas que operam na distribuição, um mau dimensionamento de uma frota, assim como a aquisição de veículos antigos e com tecnologia antiga, são responsáveis por um consumo de combustível superior (Choi *et al.* 2013; Sivak & Schoettle, 2012).

No transporte, a maximização do volume e do peso é uma prática muito importante para quem pretende reduzir os custos e o consumo de combustível (Arvidsson *et al.* 2013; Liimatainen & Pollanen, 2010). Por isso, as entidades patronais devem ao máximo ter essa preocupação.

Do mesmo modo, a adoção de sistemas de navegação inteligentes - *Global Position System* (GPS), permite uma melhor gestão das rotas (Arvidsson *et al.* 2013). Com a utilização destes sistemas, a distância percorrida pode diminuir entre cerca de 5-10%. Contudo, a diminuição dos quilómetros percorridos pode não estar diretamente ligada à

economia de combustível, uma vez que trajetos mais curtos podem implicar declives mais acentuados, ou maior percurso em áreas urbanas (McKinnon, 1999).

Em veículos pesados, uma paragem adicional a cada 10 quilómetros aumenta o consumo em aproximadamente 35%. No entanto, se o valor aumentar para 10 paragens com acelerações em cada 10 quilómetros, então o consumo pode aumentar para valores aproximados de 130% - figura 2.1 (Volvo, 2014d; Larsson & Ericsson, 2009).



**Figura 2.1-Impacto das paragens entre dois pontos.** Fonte: Larsson & Ericsson (2009).

O aumento do número de paragens não permite uma velocidade uniforme, o que implica um aumento do consumo (Larsson & Ericsson, 2009). Isto suporta a teoria de que o consumo, em estradas congestionadas e com muito fluxo de trânsito, aumenta, devido ao incremento de acelerações e desacelerações (Barth & Boriboonsomsin, 2009).

A topografia da estrada também deve ser um aspeto a analisar, uma vez que, entre dois destinos, a escolha de uma estrada plana, em relação a uma com inclinações, explica uma redução no consumo entre 15-20% (Sivak & Schoettle, 2012).

Portanto, diferentes tipos de trajetos e de estrada resultam em diferentes velocidades médias e em diferentes perfis de aceleração e desaceleração. Consequentemente, o consumo de combustível altera-se. Por exemplo, o consumo médio em auto-estrada, com uma velocidade estipulada de 80 km/h, é aproximadamente 9% menor do que nos outros tipos de estrada (Sivak & Schoettle, 2012).

A utilização de dispositivos GPS inteligentes deve ser acompanhada pela implementação de *software* de telemática que devolva *feedback* sobre o comportamento do condutor (Barkenbus, 2010).

Experiências têm demonstrado um *feedback* positivo por parte dos condutores, em relação à instalação de dispositivos de controlo de combustível e de informação sobre o tipo de condução em tempo real (Barkenbus, 2010; Stromberg & Karlsson, 2013).

Uma estratégia que se tem revelado bastante eficaz é a implementação de incentivos de natureza económica para ajudar a ultrapassar os maus hábitos de condução. Os incentivos devem ser atribuídos aos motoristas que apresentarem melhores resultados (Barkenbus, 2010). A figura 2.2 apresenta o sistema de incentivos proposto por Barkenbus (2010).



**Figura 2.2-Esquema do sistema de incentivos.** Adaptado de: Barkenbus (2010).

A manutenção e compra dos pneus mais indicados é um fator decisivo para a redução do consumo de combustível. Circular com os pneus com a pressão incorreta é outro fator a considerar (Barkenbus, 2010).

Manter o veículo com os lubrificantes de origem e com as especificações segundo os fabricantes são também fatores importantes para quem tenciona implementar medidas de economia de combustível. Aliás, Sivak & Schoettle (2012) referem mesmo que, se o óleo recomendado for 5w-30, e se o óleo colocado for 10w-30, o número de quilómetros percorridos pode diminuir entre 1 e 2%, com a mesma quantidade de combustível consumido.

Alguns fabricantes também disponibilizam informações sobre esta matéria. Segundo o fabricante *Volvo*, o consumo de combustível pode aumentar em 10% se o veículo não fizer a sua manutenção regularmente e circular com peças não aprovadas (Volvo, 2014d).



### **2.5.2 Antecipar o fluxo de trânsito**

Um aumento da distância em 3 segundos para o carro da frente permite reduzir flutuações na velocidade, sendo possível uma condução a velocidades mais constantes (Eco drive project, 2009).

A *Fiat* defende que um condutor que apresente um perfil económico se distingue por apresentar uma melhor antecipação às alterações de trânsito, permitindo menos paragens e arranques e uma condução com velocidades mais constantes (Fiat, 2010).

Segundo o programa da *Toyota*, assim que se avista um semáforo ou um sinal de *Stop*, deve-se libertar o acelerador instantaneamente e aproveitar a massa do veículo para rolar (Toyota, 2014).

Sabendo que se pretende um estilo de condução com velocidade o mais constante possível, o trânsito em redor influencia muito este fator (Xia, *et al.* 2013). Por isso, a antecipação do fluxo de trânsito é um dos fatores que mais contribui para o *Eco-Drive*, uma vez que influencia a velocidade constante e, como será explicado adiante, a alteração da velocidade implica uma variação da aceleração, o que pode traduzir-se numa diferença muito significativa na economia de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub> (Baric, *et al.* 2013; Delhomme, Cristea, & Paran, 2013; Dogan, *et al.* 2011; Xia, *et al.* 2013).

Dependendo dos tipos de veículo e de estrada, a redução da economia de combustível pode oscilar entre 20-40% com a variação do trânsito existente, sendo que estes valores são maximizados em perfis de trânsito urbanos, ou de fluxo instável “para-arranca” (Sivak & Schoettle, 2012). O congestionamento das estradas na União Europeia custa 1% do Produto Interno Bruto (PIB) da Europa, tendo correspondido, em 2007, a cerca de 123 biliões de euros (Arvidsson, *et al.* 2013).

### **2.5.3 Velocidade e aceleração**

Velocidades constantes permitem reduzir o consumo de combustível, quando comparadas com velocidades variáveis e sequências de acelerações e travagens sucessivas (Eco drive project, 2009; Barth & Boriboonsomsin, 2009). Picos de velocidade mais elevados e travagens bruscas, não só aumentam o consumo de combustível, como também elevam o nível de *stress* do condutor, o que pode pôr em causa a segurança rodoviária e a sua *performance* como *Eco-Driver* (Larsson & Ericsson, 2009).

A condução *Eco-Drive* envolve um estilo de condução suave, sem perturbações ou flutuações, no que respeita a velocidade e aceleração (Eco drive project, 2009 ;Barth & Boriboonsomsin, 2009; Choi, *et al.* 2013; Dogan, *et al.* 2011; Ruddy, Matthews, Andrey,

& Del Matto, 2013). Manter uma velocidade constante, dentro ou mesmo abaixo dos limites de velocidade, contribui para uma condução *Eco-Drive* (Barkenbus, 2010; Larsson & Ericsson, 2009).

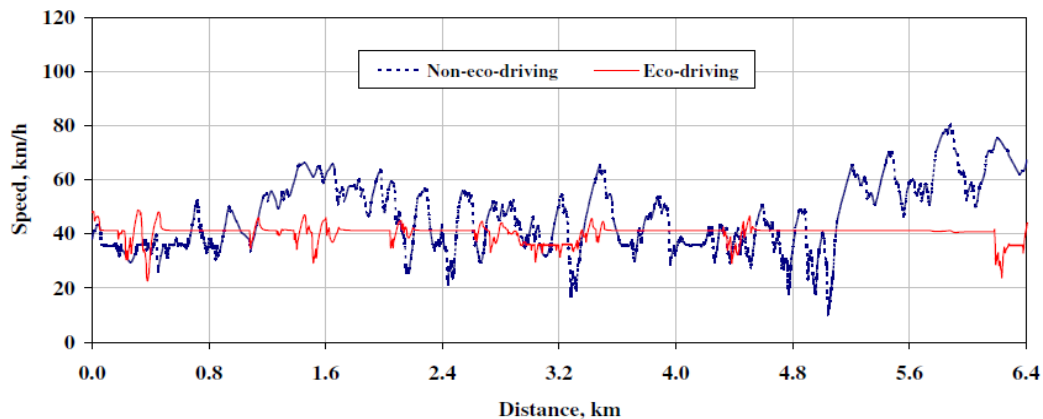
Conduzir a velocidades mais elevadas, ou com o motor em altas rotações, origina um aumento no consumo de combustível. Se este estilo de condução for praticado em trajeto urbano, o aumento no consumo de combustível é ainda mais significativo, não implicando um aumento da velocidade média, uma vez que, neste tipo de trajeto, o tempo de viagem depende fundamentalmente de fatores como o trânsito, semáforos, entre outros (Eco drive project, 2009; Edmunds, 2014a; Sivak & Schoettle, 2012; Barth & Boriboonsomsin, 2009; Dogan, *et al.* 2011).

A condução deve ser suave, com a caixa de velocidades engrenada na mudança mais elevada possível, de maneira a que a deslocação do veículo seja feita a velocidade constante e a baixas rotações por minuto, sem ficarem abaixo do binário ideal do motor (Ando & Nishihori, 2012; Andrieu & Saint Pierre, 2012; Barth & Boriboonsomsin, 2009; Delhomme, *et al.* 2013).

Não se pode ignorar que o facto do veículo se deslocar com maior velocidade, por mais pequeno que seja o incremento, o arrasto provocado pelo ar também aumenta. Aliado a este facto, uma velocidade maior, como já foi referido anteriormente, implica mais rotações por minuto e, conseqüentemente, um aumento no consumo de combustível (Eco drive project, 2009; Andrieu & Saint Pierre, 2012). Portanto, em velocidades mais elevadas, o motor necessita de fazer mais trabalho (W) e o arrasto aerodinâmico aumenta, provocando um maior consumo de combustível e, ainda, um maior número de emissões (Eco drive project, 2009).

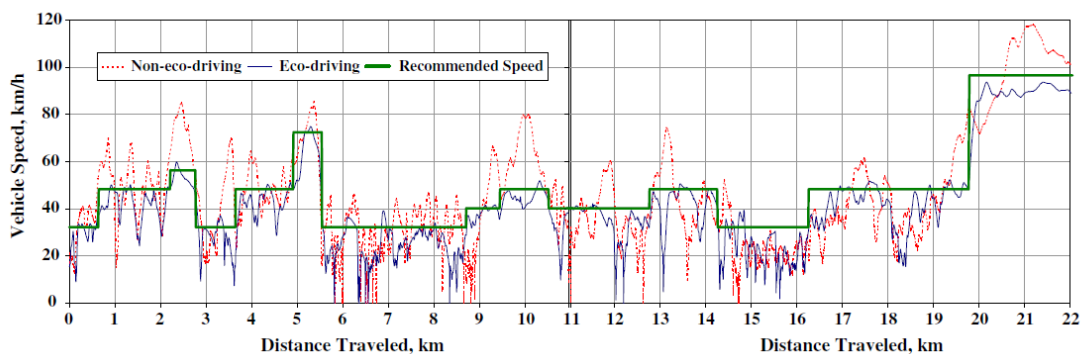
É importante perceber que o consumo não está unicamente relacionado com aceleração a fundo ou brusca, mas também com a desaceleração. Quanto mais tempo se desacelerar com o motor, mais tempo se conduz sem acionar o acelerador e, assim, torna-se possível percorrer maior distância sem haver necessidade de injeção de combustível (Andrieu & Saint Pierre, 2012; Choi, *et al.* 2013; Larsson & Ericsson, 2009).

A figura 2.3 apresenta as diferenças no perfil de velocidades entre a adopção de uma condução económica e outra não-económica (Barth & Boriboonsomsin, 2009). Pode-se observar que é possível obter um perfil de condução mais suave com menos variação de velocidade e, conseqüentemente, menos consumo de combustível, mantendo uma velocidade média muito semelhante (a diferença registada foi apenas de menos 3,10 km/h no caso do condutor económico, ou *Eco-Driver*).



**Figura 2.3-Perfis de velocidade obtidos numa condução económica e não-económica.** Fonte: Barth & Boriboonsomsin (2009).

Barth & Boriboonsomsin (2009) recolheram dados reais de perfis de velocidade, de densidade e de fluxo de trânsito numa auto-estrada na Califórnia. Esses dados reais foram transformados e simulados computacionalmente para uma distância de 22 km. A figura 2.4 mostra os resultados dessa mesma simulação (Barth & Boriboonsomsin, 2009).



**Figura 2.4-Perfis de velocidade *Eco-Drive*, não *Eco-Drive* e recomendada.** Fonte: Barth & Boriboonsomsin (2009).

Os resultados finais mostram que a diferença no consumo de combustível entre os 2 tipos de condução (*Eco-Drive* e não *Eco-Drive*) é de 13%, sendo o tipo de condução *Eco-Drive* o que apresenta o menor consumo de combustível. Contudo, neste tipo de condução, regista-se uma redução da velocidade máxima em cerca de 24 km/h, que correspondeu a um aumento do tempo de viagem em 6 minutos. A adoção de uma condução *Eco-Drive* levou ainda a uma redução de 12% nas emissões de CO<sub>2</sub> (Barth & Boriboonsomsin, 2009).

A velocidade pode ser vista, portanto, como um fator que tem impacto na variação do consumo de combustível. Sabe-se que a aceleração consiste em variar a velocidade de um corpo num período de tempo específico (equação 1):

$$a = dv/dt \quad (1)$$

Em que:

$a$  - vetor aceleração;

$v$  - vetor velocidade; e

$t$  - tempo.

A aceleração é diretamente proporcional à velocidade. Logo, quando existe variação na velocidade, a aceleração também varia. A figura 2.5 mostra os dados relativos à aceleração por parte de um condutor *Eco-Drive*, recolhidos no mesmo trajeto que a figura 2.3 (Barth & Boriboonsomsin, 2009). O gradiente de cores representa a intensidade da frequência dos valores.

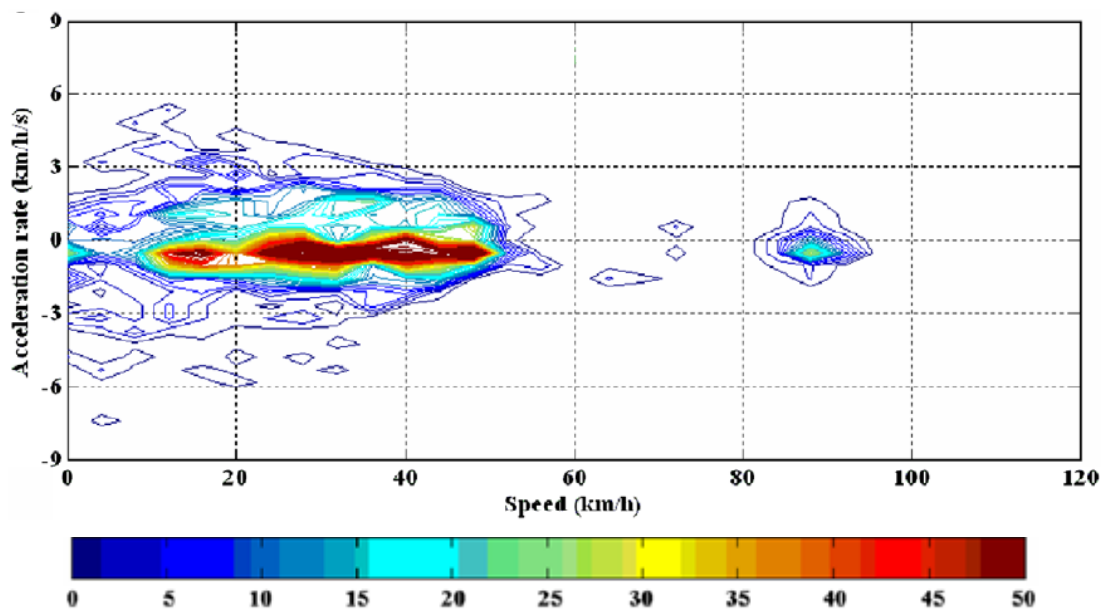


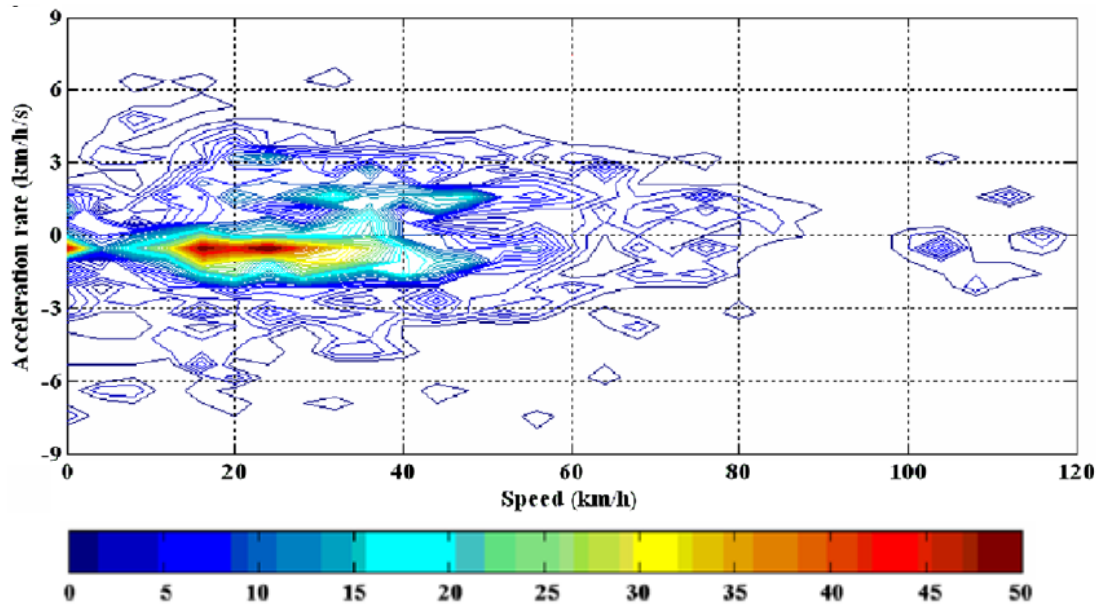
Figura 2.5-Perfil de aceleração do condutor *Eco-Drive*. Fonte: Barth & Boriboonsomsin (2009).

Denote-se que o perfil de aceleração está maioritariamente concentrado à volta de 0 km/h/s e sensivelmente entre 1,5 km/h/s e -1,5 km/h/s. Valores com pouca dispersão e perto de 0 km/h/s sugerem uma velocidade constante e acelerações suaves.

Na figura 2.6 é possível observar o teste sob as mesmas condições, contudo, praticado fora do contexto *Eco-Drive*.

Comparando a figura 2.5 e a figura 2.6, é perceptível que o condutor da figura 2.6 (não *Eco-Drive*) ultrapassou mais vezes os 3 km/h/s e permaneceu mais tempo acima deste valor, relativamente ao condutor da figura 2.5 (condutor *Eco-Drive*). Além disso, repare-se que, a partir dos 40 km/h, enquanto o condutor económico apresenta as linhas de

aceleração com um perfil de queda abaixo dos 3 km/h/s, o condutor da figura 2.6 continua com estes valores até aos 80 km/h.



**Figura 2.6-**Perfil de aceleração do condutor não *Eco-Drive*. Fonte: Barth & Boriboonsomsin (2009).

Apesar da diferença nas acelerações, a velocidade média foi apenas alterada em 1,8 km/h, sendo o cenário de menor velocidade média atribuído ao estilo de condução *Eco-Drive* (figura 2.5).

A eficiência de combustível aumenta cerca de 10 a 30%, se a condução for feita a 80 km/h (Toyota, 2014). As velocidades recomendadas situam-se acima dos 15 km/h, de modo a que seja possível vencer a inércia e procurar aumentar a proporção de tempo em que se circula entre os 50 e os 70 km/h (Larsson & Ericsson, 2009).

A economia de combustível é uma função invertida em forma de “U” da função velocidade/rotações por minuto, na maioria dos motores de combustão interna. Por exemplo, num motor v6 utilizado em 2007 num *Honda Accord*, o pico de melhor consumo de economia deu-se a 97 km/h, tendo-se obtido um consumo de 7,44 l/100 km. No entanto, assim que se aumentou a velocidade para 144 km/h, o consumo subiu para 11,10 l/100 km - um aumento de 31% (Sivak & Schoettle, 2012).

A *Volvo* afirma que a redução da velocidade nos camiões dos 90 para os 80 km/h poderá reduzir o consumo até 6% (Volvo, 2014d). Portanto, o fator velocidade está ligado ao fator aceleração, sendo estes determinantes para o consumo de combustível (Barth & Boriboonsomsin, 2009).

### **2.5.4 Caixa de velocidades**

Recomenda-se mudar de relação de caixa de velocidades a rotações mais baixas, considerando o trânsito existente e ainda as especificações do veículo. A mudança de relação de caixa de velocidades deve ser feita em pontos ótimos específicos da curva de binário de um veículo. As acelerações entre as mudanças de caixa devem ser suaves, principalmente nas relações de caixa mais baixas (Eco drive project, 2009; Andrieu & Saint Pierre, 2012; Arvidsson, *et al.* 2013; Baric, *et al.* 2013; Hari, *et al.* 2012; Larsson & Ericsson, 2009; Vagg, *et al.* 2013).

No caso de viaturas pesadas, recomenda-se uma passagem de caixa mais cedo do que no caso dos veículos ligeiros, pois têm motores menos rotativos, com uma curva de binário disponível mais cedo, quando comparado com outro tipo de motor (Delhomme, *et al.* 2013).

A caixa de velocidades deve ser usada consoante o estilo de condução que se pretende. Para uma condução económica, a passagem de caixa deve ser feita o mais cedo possível, mas em conformidade com a curva de binário, no ponto ótimo de operação (Vagg, Brace, Wijetunge, Akehurst, & Ash, 2012).

A figura 2.7 apresenta as curvas de binário de dois motores *Volvo*, na categoria de viaturas pesadas. Os motores são D11 e D13, em que os números 11 e 13 correspondem a 11 000 cc e 13 000 cc de cilindrada do motor, respetivamente. A linha a tracejado fornece informação sobre o binário do motor, enquanto a linha contínua informação sobre a potência.

As passagens de relação de caixa de velocidades devem ser feitas dentro do espaço de binário ótimo, que nestes dois casos se situa, sensivelmente, entre as 1 000 e as 1 400 rotações por minuto (rpm), mudando-se assim as relações de caixa de velocidades no ponto ótimo da curva de binário disponível.

Como já foi referido, conduzir a elevadas rotações por minuto, consome mais combustível do que a baixas rotações. Por esta razão, recomenda-se, sempre que possível, engrenar uma mudança mais alta. Desta forma, provoca-se uma queda nas rotações e consegue-se usar a curva de binário disponível em regimes mais baixos (Eco drive project, 2009; Barth & Boriboonsomsin, 2009; Vagg, *et al.* 2013).

No caso de caixa de velocidades automática, deve evitar-se o *kick-down* (redução brusca efetuada pelo robô, quando se pressiona bruscamente o acelerador), ou seja, a redução repentina do motor por esmagamento brusco do pedal (Eco drive project, 2009).

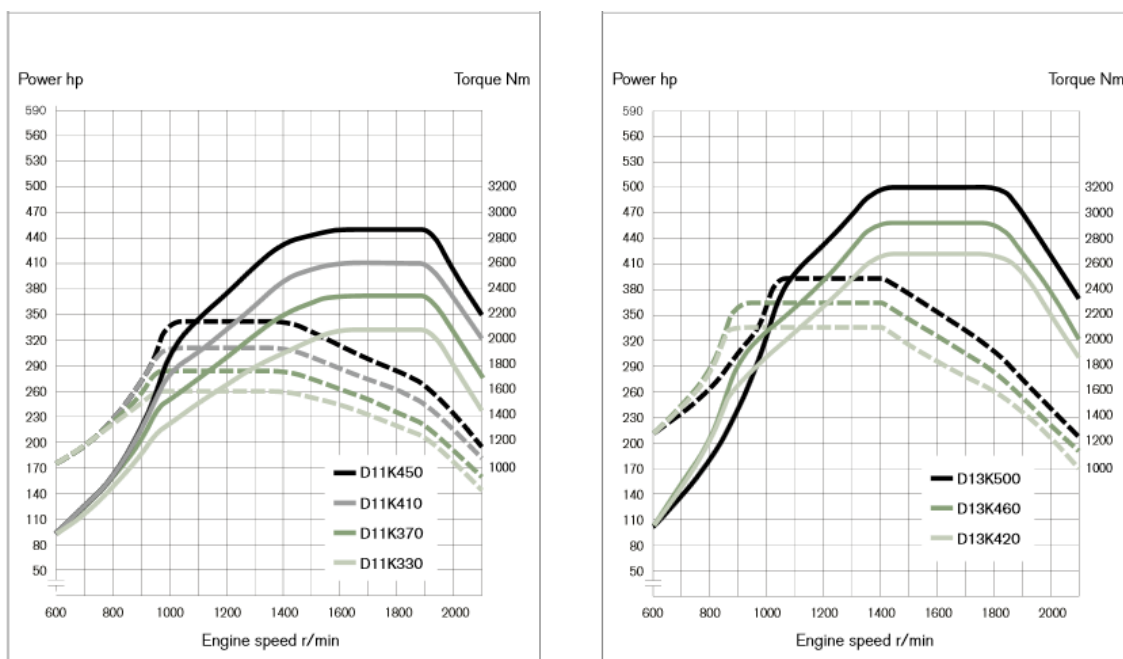


Figura 2.7-Curvas de binário e potência dos motores D11 e D13 (Euro 6) Volvo. Fonte: Volvo (2014e).

Para mudar intencionalmente de relação de caixa de velocidades em caso de transmissão automática (neste caso, mudar para uma mudança mais alta), e andar em velocidade de cruzeiro com esta engrenada, deve aliviar-se a pressão no acelerador, mantendo o pé constante (Eco drive project, 2009).

Ao contrário do que a maioria acredita, conduzir a baixas rotações não prejudica o motor. As partículas que bloqueiam os filtros dos carros *diesel*, por exemplo, não resultam da condução a baixas rotações, mas sim das baixas temperaturas do motor, devido, por exemplo, a viagens de pequenas distâncias. O aquecimento incorreto do motor, não só provoca estes entupimentos, como também um consumo excessivo de combustível (Eco drive project, 2009).

### 2.5.5 Pressão dos pneus

Uma das medidas referidas por Arvidsson, *et al.* (2013) para aumentar a eficiência dos transportes rodoviários é a verificação da pressão dos pneus. Deve manter-se os pneus com uma pressão correta. Um pneu com uma pressão abaixo da de referência pode implicar riscos para a segurança, bem como um consumo elevado de combustível. Para além disso, circular com um pneu vazio provoca um maior aquecimento e, conseqüentemente, um *stress* térmico maior no material do pneu (Ecodrive, 2009; Barth & Boriboonsomsin, 2009).

Segundo o plano de *Eco-Drive* da *Toyota*, a eficiência do combustível desce cerca de 2% na cidade e 4% fora dos trajetos urbanos, se a pressão dos pneus estiver 0,5 kg/cm<sup>2</sup> ou 50 kPa abaixo do valor especificado. Esta diminuição de pressão provoca um aumento da superfície de contacto do pneu com a estrada e, conseqüentemente, um aumento do atrito, diminuindo o tempo de vida dos pneus e aumentando o consumo de combustível (Toyota, 2014; Sivak & Schoettle, 2012).

### **2.5.6 Ar condicionado e consumíveis elétricos**

Deve fazer-se uso do ar condicionado e do equipamento elétrico de uma forma sábia e ponderada, como, por exemplo, desligando-os quando não necessários. Qualquer trabalho extra que se aplique no motor representa um aumento no consumo (Eco drive project, 2009). O uso do ar condicionado pode contribuir para o aumento do consumo de combustível entre 5 e 25% (Sivak & Schoettle, 2012).

### **2.5.7 Operações de *ralenti***

As operações de *ralenti* são um dos tipos de operação mais criticados num sistema *Eco-Drive*, já que imensos condutores não estão sensibilizados para o facto destas operações poderem representar gastos entre 0,95 e 1,90 litros de combustível por hora, dependendo do tipo de veículo (Sivak & Schoettle, 2012).

Quando é esperado que o motor esteja em funcionamento mais de 1 minuto em *ralenti*, é rentável desligar o motor (Edmunds, 2014a). Edmunds (2014a) realizou um estudo em que verificou que, desligar o motor num ciclo de 10 processos de *ralenti*, com mais de 2 minutos, num trajeto de 10 milhas, aumenta o número de quilómetros percorridos em cerca de 19%.

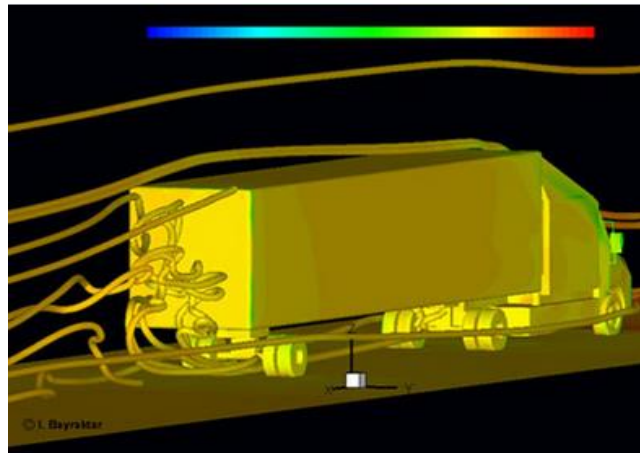
### **2.5.8 Aerodinâmica**

A eficiência de um veículo é função das perdas de energia no sistema de transmissão, arrasto aerodinâmico, resistência de rolamento, gravidade (subidas) e energia gasta para acelerar um veículo até à velocidade pretendida (Liimatainen & Pollanen, 2010). Essencialmente, na aerodinâmica de um automóvel tudo se centraliza em volta do coeficiente de arrasto aerodinâmico (Edmunds, 2014).

Uma vez que esta dissertação se foca no estudo de veículos pesados, a figura 2.8 mostra as diferenças de pressão na traseira de um atrelado. À saída do atrelado, na parte superior, existe pressão gerada pelo preenchimento de vácuo, em comparação com a parte inferior, onde a pressão é menor. Este acontecimento é o que provoca o tão conhecido “turbilhão”



existente na traseira de um caminhão, que contribui para um consumo extra de combustível (Tecplot, 2014; Patten *et al.* 2012).



**Figura 2.8-Efeito do arrasto aerodinâmico na traseira de um caminhão.** Fonte: Tecplot (2014).

As figuras 2.9, 2.10 e 2.11 mostram a importância dos defletores aerodinâmicos no topo da cabine de um caminhão, assim como nas suas laterais.



**Figura 2.9-Função do defletor superior na aerodinâmica de um caminhão.** Fonte: Patten *et al.* (2012).

Aparentemente, os defletores “organizam a aerodinâmica”. Desta forma, o ar não penetra no espaço existente entre a cabine e o atrelado, minimizando a turbulência que se instala nessa zona, permitindo assim uma circulação com menos perturbações (Patten *et al.* 2012).



Figura 2.10-Função do defletor lateral na aerodinâmica de um camião. Fonte: Patten *et al.* (2012).

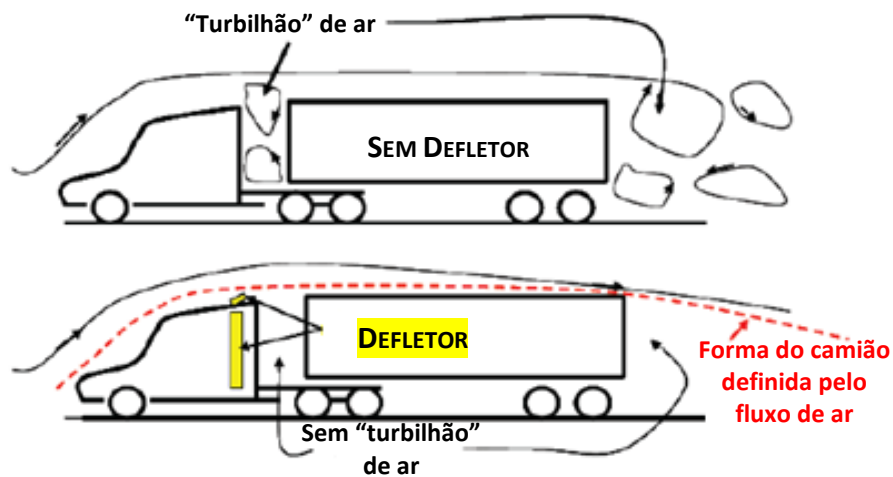


Figura 2.11-Representação do efeito aerodinâmico dos defletores. Adaptado de: Patten *et al.* (2012).

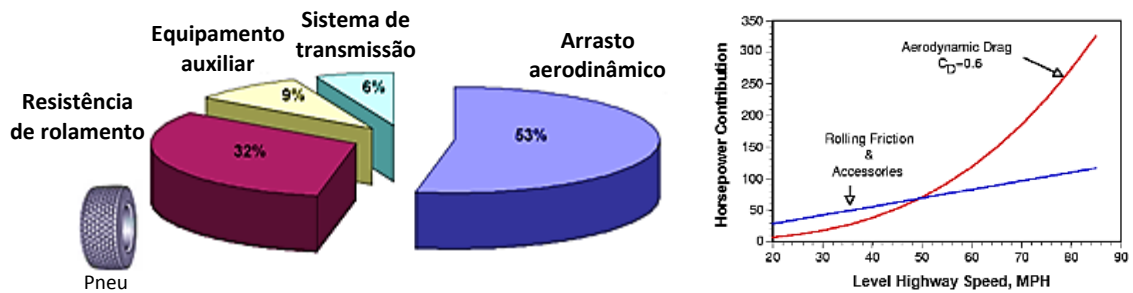
A tabela 2.1 estabelece relações existentes entre velocidade, resistência aerodinâmica, resistência de rolamento e acessórios (Patten *et al.* 2012). Segundo esta tabela, é possível compreender que, com o aumento da velocidade, a resistência aerodinâmica instala-se com mais vigor e, conseqüentemente, o consumo de combustível incrementa. Circular, portanto, acima dos 80 km/h num camião, pode ser uma prática errada sob o ponto de vista económico (consumo de combustível) (Patten *et al.* 2012).

No entanto, repare-se que, se a velocidade praticada for muito lenta, também existe um consumo elevado por parte da resistência mecânica do veículo (tabela 2.1) (Patten *et al.* 2012).

**Tabela 2.1-Relação entre velocidade, resistência aerodinâmica e resistência de rolamento e acessórios.** Adaptado de: Patten *et al.* (2012).

Velocidade do veículo (km/h)	Resistência aerodinâmica (%)	Resistência de rolamento e acessórios (%)
32	28	72
53	33	66
64	36	64
80	50	50
96	62	38
105	67	33
113	70	30

Enquanto a função da resistência de rolamento e acessórios se mantém linear (azul), a função que define o arrasto aerodinâmico (vermelho) tem um aspeto semelhante a uma função exponencial (figura 2.12). Ou seja, um pequeno incremento no eixo das abcissas (velocidade) pode traduzir-se num aumento considerável no eixo das ordenadas (potência).



**Figura 2.12-Perda de energia num camião a velocidade elevada.** Adaptado de: Doe Annual Merit Review (2012).

### 2.5.9 Fuel-cut na condução em declives negativos

*Fuel-cut*, ou “corte de combustível”, é uma tecnologia que está presente nos veículos modernos, tanto em veículos pesados como em ligeiros. Consiste num sistema simples que, ao estar ligado à Unidade de Controlo de Motor (UCM), permite cortar a injeção de combustível aquando do processo de desaceleração (levantar o pé do acelerador).

A vantagem deste sistema é que permite usar a energia cinética do veículo nas descidas, possibilitando a poupança de quantidades consideráveis de combustível (Choi, *et al.* 2013). De facto, pode trazer poupanças na ordem dos 4%, consoante o condutor. Pode também ser enquadrado na categoria de *hypermiling* (incrementar a distância percorrida com a mesma quantidade de combustível) (Choi, *et al.* 2013).

Uma das desvantagens da técnica *Fuel-cut* é a segurança rodoviária, visto que, reduzir a velocidade em prol do consumo de combustível, em certos cenários, pode ser um risco para os utilizadores da estrada e, por isso, deve ser usado com alguma ponderação, consoante o fluxo de trânsito existente (Barkenbus, 2010).

Devem ser aplicadas diferentes técnicas de *Fuel-cut*, dependendo do declive negativo da estrada. Choi, *et al.* (2013) realizou um estudo com 3 tipos de declives negativos: 10, 20 e 30,00 m/km. Estes autores concluíram que, para gradientes suaves, como 10 e 20 m/km, o condutor deve utilizar todo o declive (negativo) para efetuar *Fuel-cut*, e a recuperação da velocidade deve ser feita numa zona plana e de forma suave. Para declives negativos mais acentuados, como o de 30 m/km, o condutor deve aproveitar o final da descida para voltar à velocidade inicial. Assim, conseguirá usufruir melhor da energia cinética e embalar o veículo de forma mais eficiente, de maneira a recuperar a velocidade do veículo após ter feito *Fuel-cut*. De uma forma geral, a redução do consumo de combustível aumenta, quando numa descida se aplica a técnica *Fuel-cut*, obtendo, em troca, perda de velocidade. No entanto, não se deve permitir que a velocidade reduza em excesso, pois o combustível consumido para restituir o veículo à velocidade inicial pode ser superior ao economizado durante o processo de corte de combustível (Choi, *et al.* 2013).

Choi, *et al.* (2013) realizaram uma simulação na West Coast Highway, uma auto-estrada localizada na Coreia do Sul, em que é utilizado um veículo ligeiro de passageiros com 2 000 cc de cilindrada e onde se aplicou o conceito *Fuel-cut* (tabelas 2.2 e 2.3).

**Tabela 2.2-Diferentes técnicas de condução aplicadas ao mesmo percurso.** Adaptado de: Choi, *et al.* (2013).

<b>Técnica adotada</b>	<b>Consumo total (l)</b>	<b>Velocidade média (km/h)</b>	<b>Distância por litro (km/l)</b>	<b>Redução no consumo (%)</b>
<b>Velocidade Constante</b> 100 km/h	25,48	110,00	12,57	0,00
<b><i>Fuel-cut</i></b> 110-100 km/h	24,85	107,01	12,89	2,54
<b><i>Fuel-cut</i></b> 110-95 km/h	24,36	106,40	13,15	4,60

Obteve-se uma redução no consumo de combustível na ordem dos 4,60% quando a função *Fuel-cut* é ativada, apesar de haver redução de velocidade (tabela 2.2). Para se obterem estes valores, a redução de velocidade não pode ultrapassar os 95 km/h (desejavelmente deve ser mantida entre os 110 e os 95 km/h; para se regressar à velocidade inicial de 110 km/h, a aceleração tem que ser suave) (Choi, *et al.* 2013). A redução de 4,60% no consumo de combustível foi obtida para variações de velocidade entre 110 e 95 km/h, em descidas, em auto-estrada, e ativando a função *Fuel-cut*, quando comparada com o mesmo

perfil de condução, no mesmo trajeto, mas mantendo a velocidade constante nos 110 km/h (Choi, *et al.* 2013).

A tabela 2.3, mais específica, apresenta os resultados obtidos quando a recuperação da velocidade é ainda feita no final da descida, onde é aproveitado o declive negativo.

**Tabela 2.3-Condução com *Fuel-cut* consoante o tipo de declive negativo.** Adaptado de: Choi, *et al.* (2013).

<b>Velocidade inicial: 110,00 km/h</b>		
<b>Declive (m/km)</b>	<b>Velocidade mínima (km/h)</b>	<b>Economia de combustível (km/l)</b>
<b>10,00</b>	100,00	18,20
	95,00	21,60
	90,00	22,20
	85,00	23,90
	68,60	26,40
<b>20,00</b>	100,00	28,90
	95,00	32,60
	90,00	36,50
	85,00	39,30
	82,00	42,10
<b>30,00</b>	100,00	57,10
	95,30	75,50
	95,00	68,10
	90,00	42,30
	85,00	36,30

Analisando os valores da coluna Economia de combustível (km/l), a quantidade extra de quilómetros que seria possível fazer por litro de combustível aumenta, ou seja, é possível fazer mais quilómetros com o mesmo litro de combustível, se for efetuado o processo de desaceleração em descidas mais íngremes. Quando o condutor abdica da velocidade, através do processo de desaceleração (deixar de exercer pressão no pedal de acelerador), a função eletrónica *Fuel-cut* é ativada (Choi, *et al.* 2013).

Para declives negativos mais acentuados, não há rentabilidade em deixar cair a velocidade mínima para valores abaixo dos 95,30 km/h. Para declives negativos menos acentuados, torna-se vantajoso deixar a velocidade mínima atingir valores mais baixos. Contudo, advertências para a segurança afirmam que deixar cair a velocidade para valores baixos pode representar perigo, e cabe assim ao condutor avaliar as condições de trânsito, de forma a evitar situações de possível perigo

para os outros utilizadores da estrada (Choi, *et al.* 2013; Barkenbus, 2010; Fröberg, *et al.* 2006).

### **2.5.10 Condução em declives positivos**

Caso se verifique, através de observação visual, ou de informação por GPS, que, imediatamente depois de uma descida, existe uma subida, deve acelerar-se na descida e, se possível, ainda no declive negativo disponível, de modo a que o veículo ganhe energia cinética para que a possa aproveitar na subida (Fröberg *et al.* 2005).

Com base na experiência obtida e na formação recebida pelos fabricantes de veículos pesados, se o veículo for de transmissão automática, uma subida com declive acentuado deve ser percorrida com a transmissão em modo manual.

## **2.6 Aplicações reais**

Baric, *et al.* (2013) realizaram um estudo comparativo de 3 cenários, considerando parâmetros respeitantes a:

- Campanhas de informação;
- Formação de condutores;
- Tecnologia *on-board* (dentro do habitáculo do veículo);
- *Gamification* (uso de mecânica de jogos, com o objetivo de incrementar a participação e gerar comprometimento por parte dos utilizadores).

Utilizando um veículo *MAN 10.180*, foram avaliados, para cada condutor, certos parâmetros, recorrendo ao sistema *Key Driving Training System*, relativamente aos 3 cenários:

**Cenário 1:** Antes do treino *Eco-Drive*.

**Cenário 2:** Depois do treino *Eco-Drive*.

**Cenário 3:** 3 meses depois do treino *Eco-Drive*.

O sistema *Key Driving Training System* instalado no veículo permitiu medir e analisar o comportamento em termos de condução, nomeadamente, velocidade do veículo, mudança engrenada, rotações por minuto, número de vezes que o pedal do travão foi acionado, consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, entre outros.

O estudo decorreu em área urbana (cidade de Zagreb, Croácia), sempre na mesma rota e sem desvios, para que não houvesse distância extra percorrida. Os testes e recolha de

dados foram feitos no mesmo dia da semana e à mesma hora, de modo a garantir as mesmas condições de trânsito, com a mesma carga e pressão dos pneumáticos (tabela 2.4).

De acordo com os resultados obtidos, depois da sensibilização e da primeira formação *Eco-Drive*, o consumo de combustível diminuiu aproximadamente 32%. Os principais fatores que podem ter influenciado essa diminuição foram os seguintes:

- Condução utilizando baixas rotações por minuto;
- Utilização menos frequente dos travões (travar com o motor);
- Maior distância viajada sem utilizar o acelerador;
- Utilização do *Cruise control*;
- Troca da relação de caixa de velocidades o mais cedo possível.

**Tabela 2.4-Resultados obtidos antes, depois e 3 meses após a formação *Eco-Drive*.** Adaptado de: Baric, *et al.* (2013).

Parâmetro	Cenário				
	1	2	3	$\Delta$ (2-1)	$\Delta$ (3-1)
<b>Tempo total</b> (h:min:s)	0:41:23	0:42:11	0:43:10	0:00:48 (1,93%)	0:00:59 (2,33%)
<b>Distância total</b> (km)	25,71	25,77	25,68	0,06 (0,23%)	-0,09 (-0,35%)
<b>Velocidade média</b> (km/h)	37,27	36,66	35,70	-0,61 (-1,64%)	-0,96 (-2,62%)
<b>Consumo em <i>ralenti</i></b> (l)	0,09	0,07	0,11	-0,02 (-22,22%)	0,04 (57,14%)
<b>Consumo de combustível em condução</b> (l)	5,29	3,58	3,48	-1,71 (-32,33%)	-0,10 (-2,79%)
<b>Consumo de combustível total</b> (l)	5,37	3,65	3,60	-1,72 (-32,02%)	-0,05 (-1,37%)
<b>Consumo médio</b> (l/100 km)	20,90	14,20	14,00	-6,70 (-32,06%)	-0,20 (-1,41%)
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> médias</b> (kg/100 km)	55,60	37,70	37,30	-17,90 (-32,19%)	-0,40 (-1,06%)

O consumo médio de combustível reduziu de 20,90 para 14,20 l/100 km, após a formação *Eco-Drive*, como se pode observar na tabela 2.4. Contudo, a redução da velocidade média foi de apenas 1,64 e 2,62%, imediatamente e 3 meses após a formação *Eco-Drive*, respetivamente.

Outro estudo utilizou um dispositivo em tempo real colocado no veículo, com o objectivo de melhorar o estilo de condução dos motoristas, nomeadamente na utilização do pedal de acelerador e da caixa de velocidades (Hari, *et al.* 2012). O estudo foi realizado no Reino Unido, em várias empresas, tendo sido recolhida informação de percursos realizados por 15 carrinhas, num total de 39 000 quilómetros.

O dispositivo é visual, constituído por um conjunto de 9 Díodos Emissores de Luz (LED) e por um pequeno indicador triangular luminoso, sendo acompanhado por um sistema componente sonoro. Os LED alteram a sua cor, em função da variação da aceleração e velocidade, enquanto o indicador triangular acende, sempre que existem condições favoráveis para ser engrenada uma mudança superior e/ou inferior. O sinal sonoro emite ainda um aviso, sempre que o condutor se afasta do valor dos parâmetros de condução *Eco-Drive* considerados.

Com o uso do dispositivo, constatou-se um decréscimo médio de 7,6% no consumo de combustível, sendo o valor máximo de 12%. A velocidade média de operação do motor e a utilização do pedal de acelerador também reduziram. Os motoristas exibiram uma utilização mais suave do acelerador e uma utilização mais eficiente da caixa de velocidades, para alcançarem a velocidade pretendida (Hari, *et al.* 2012).

## **2.7 Síntese**

Atualmente, existem cada vez mais movimentos de cidadãos e normas que sustentam a necessidade de implementação de um sistema de redução do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub>.

De facto, a União Europeia está a condicionar cada vez mais a circulação dos veículos dentro do seu espaço geográfico, estando essa normalização focada nas emissões de CO<sub>2</sub> e no consumo de combustível. Um dos melhores exemplos é a introdução e regularização da norma Euro 6. Consequentemente, os fabricantes de veículos europeus têm responsabilidade nesta matéria e têm demonstrado nos últimos anos uma evolução neste âmbito.

Este capítulo demonstra a importância do comportamento do condutor na redução do consumo de combustível e respetivas emissões de CO<sub>2</sub>, nomeadamente por circular a velocidades mais constantes, minimizando as acelerações quer positivas, quer negativas.

O comportamento de um condutor passa também pela escolha de uma condução em que as passagens de caixa de velocidades são feitas dentro do binário ideal do motor e, ainda, o mais cedo possível, principalmente nas mudanças mais baixas, onde se regista um maior consumo de combustível instantâneo.

Fez-se ainda referência ao modo de como a condução deve ser realizada em declives negativos, através da função *Fuel-cut* (“corte de combustível”), de maneira a reduzir o consumo de combustível.



Por fim, foram apresentados alguns estudos de sistemas *Eco-Drive* e respectivos resultados, tendo sido identificados os benefícios que um sistema com estas configurações pode trazer. Estes estudos permitiram concluir que há uma percentagem relevante de redução no consumo de combustível e um decréscimo nas intervenções de manutenção do veículo, reduzindo assim os custos nesta área.



## 3 Descrição do Caso de Estudo

### 3.1 Introdução

Neste capítulo faz-se uma breve descrição e caracterização do caso de estudo, nomeadamente no que diz respeito aos veículos utilizados, às suas especificações, entre outros. É descrito o *software* de telemática utilizado (*FleetBoard*) - fonte de alguns dos dados sujeitos a análise.

Para finalizar, faz-se uma análise preliminar, com o objetivo de se identificar o estado do sistema durante as primeiras 4 semanas, antes da implementação do sistema *Eco-Drive*.

### 3.2 Descrição do caso de estudo

Esta dissertação tem como objetivos: mostrar que a implementação de um sistema *Eco-Drive* em veículos de mercadorias semirreboques permite reduzir o consumo de combustível e as respetivas emissões de CO<sub>2</sub> médias; quantificar essa mesma redução; e ainda explicá-la através de um modelo matemático (regressão linear múltipla). Assim, foi utilizado um caso de estudo. Para determinar se existe algum impacto no consumo médio de combustível, através da alteração do comportamento dos motoristas, foram selecionados 10 veículos pesados de mercadorias de uma empresa de distribuição, na região do Algarve (Albufeira, Algoz, Almancil, Armação de Pêra, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Olhão, Ourique, Portimão, Tavira e Vila Real de Santo António).

Os veículos iniciam a rota de distribuição a partir de um entreposto, onde o veículo é carregado com mercadoria, com o objetivo de a entregar em vários supermercados pertencentes ao cliente. Por razões de confidencialidade, não são divulgados os nomes da empresa responsável pela distribuição, nem do cliente para o qual a distribuição é feita.

As rotas são determinadas com base nos pedidos dos clientes e são atribuídas de forma aleatória a cada motorista, com base no horário de trabalho e em conformidade com a lei. A distribuição é do tipo multiponto, ou seja, são visitados vários destinos (supermercados) numa única rota. Registaram-se algumas atividades que implicaram retorno de vasilhame ao entreposto, por isso, nem sempre os camiões em estudo fizeram as viagens de regresso ao entreposto em vazio.

Os 10 veículos utilizados para este estudo têm as mesmas especificações, tanto no que respeita ao trator, como ao reboque. Foram utilizados camiões semirreboque com atrelados frigoríficos da marca *Mercedes-Benz*, modelo Actros III, adquiridos novos em Janeiro de 2014.

As especificações técnicas do conjunto em estudo (trator e reboque) são as seguintes:

Especificações do trator *Mercedes-Benz Actros III*:

- Tara: 6 610 kg;
- Peso Bruto: 40 000 kg;
- Número de eixos: 2;
- Distância entre eixos: 3 600 mm;
- Pneumáticos: 315/80 R 22,50;
- Marca dos pneumáticos: *Continental*;
- Cilindrada: 11 946 cm<sup>3</sup>;
- Potência útil: 300 kw = 400 cv,;
- Tipo de combustível: gasóleo;
- Travão de motor: travão com borboleta de escape e duas posições de válvula estranguladora;

Especificações do reboque *SchmitzCargoBull Sko24*:

- Tara: 7 890 kg;
- Peso bruto: 35 000 kg;
- Número de eixos: 3;
- Distância entre eixos: 7 600 mm;
- Pneumáticos: 385/65 R 22,50;
- Marca dos pneumáticos: *Continental*;
- Comprimento máximo da caixa: 13 550 mm.

O caso de estudo envolveu os 10 veículos conduzidos por 12 motoristas, durante um período de 8 semanas, fazendo a distribuição para os mesmos supermercados e usando estradas nacionais (sem percursos em auto-estrada).

Nas primeiras 4 semanas, em Maio de 2014, foram recolhidos dados relativamente à condução dos veículos. No mês de Junho, os motoristas receberam formação em *Eco-Drive*. Nas outras 4 semanas, em Julho de 2014, os motoristas puderam aplicar os conhecimentos adquiridos e foram recolhidos novos dados de condução.

O número total de quilómetros percorridos pelos motoristas durante as 8 semanas em estudo foram 82 526,20 km, 45 403,30 km dos quais nas primeiras 4 semanas e 37 122,90 km nas restantes 4.

### **3.2.1 Software e dispositivos**

Os dados foram recolhidos a partir do programa *FleetBoard*, tendo sido feito o tratamento e análise dos dados através da ferramenta *Excel* da *Microsoft* e ainda do programa *SPSS*.

Utilizou-se ainda um *iPad Mini (Apple)* para consultar dados, usando o *FleetBoard*, dentro da cabine do camião e assim poder fornecer algumas informações aos motoristas durante o processo de formação.

Seguidamente, é realizada uma descrição detalhada do *FleetBoard*.

### **3.2.2 FleetBoard**

O programa *FleetBoard* recolhe variáveis relativamente ao comportamento de condução de um motorista, tanto qualitativos, como quantitativos. A cada motorista fica assim associada uma avaliação de condução, independentemente do veículo que o motorista conduz. Para isso, há que instalar o sistema *FleetBoard* nos veículos.

O sistema de *hardware* do *FleetBoard* está ligado ao tacógrafo digital do veículo e lê o cartão do motorista. Assim que o motorista insere o seu cartão no tacógrafo, o programa regista o evento e, a partir desse momento, toda a atividade diária (condução, trajeto, tempos de condução, entre outros) é registada e associada a esse cartão.

Quando o motorista remove o cartão, o programa *FleetBoard* encerra a sessão, gravando os dados da condução daquele motorista. Isto significa que, se um veículo estiver a ser usado por um motorista no turno da manhã e por outro no turno da tarde, os dados da condução são gravados e associados aos 2 motoristas individualmente. Isto é vantajoso em sistemas complexos, em que existe rotatividade de motoristas na utilização dos veículos, e no caso em que os veículos trabalham por turnos e são conduzidos por dois motoristas, ou mais.

Das várias opções que o *FleetBoard* apresenta, apenas as que foram úteis no desenvolvimento desta dissertação são aqui expostas. Existem outras funcionalidades, como planos de manutenção, consulta de estado de viatura e ainda de administração, que não trazem valor acrescentado para o que se pretende analisar, mas que são essenciais para a gestão.

O programa permite seleccionar os dados referentes a um período de tempo, para que se possa elaborar uma análise de desempenho. Esta análise é uma opção disponível no programa, que resume um número vasto de variáveis, qualitativas e quantitativas, disponibilizando-as de forma ordenada. A designação de todas as variáveis utilizadas é a

mesma que o próprio programa devolve, tendo-se apenas alterado o nome da variável “Distância com piloto automático/Distância total” para *Cruise control/Distância total*.

As variáveis qualitativas são medidas numa escala entre 1,00 e 10,00 valores, sendo que 10,00 representa a melhor pontuação e, quanto mais perto de 1,00, a pior, excetuando as variáveis **Grau de dificuldade**, **Declive médio**, **Paragens** e **Peso médio**, em que se verifica o contrário. As variáveis qualitativas são subdivididas em 3 grupos: **Estilo de condução (consumo)**, **Estilo de condução (travagem)** e **Grau de dificuldade** do trajeto realizado. O resultado combinado dos 3 grupos devolve a nota final do **Estilo de condução**, também compreendida entre 1,00 e 10,00 valores.

Na figura 3.1 é apresentado um exemplo do resultado obtido para o **Estilo de condução** por um motorista, num dia de atividade (azul), em função dos valores obtidos para as variáveis **Estilo de condução (consumo)** (laranja), **Estilo de condução (travagem)** (amarelo) e **Grau de dificuldade** (roxo). Na figura 3.2 apresenta-se um esquema que permite visualizar a relação entre todas estas variáveis.

<b>Estilo de condução (pontuação)</b>	<b>8,26</b>		
<b>Estilo de condução (consumo) (pontuação)</b>	<b>7,86</b>		
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05	Operação caixa de velocidades (pontuação)	9,45
Movimentos de acelerador (pontuação)	7,22	Velocidade constante (pontuação)	6,15
Ralenti (pontuação)	6,17		
<b>Estilo de condução (travagem) (pontuação)</b>	<b>8,07</b>	Desaceleração (pontuação)	9,09
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05		
<b>Grau de dificuldade (pontuação)</b>	<b>5,48</b>	Peso médio (pontuação)	4,34
Declive médio (pontuação)	6,31		
Paragens (pontuação)	5,99		

Figura 3.1-Exemplo do resultado obtido no Estilo de condução (destaque a azul) de um motorista, resultante das variáveis Estilo de condução (consumo), Estilo de condução (travagem) e Grau de dificuldade.

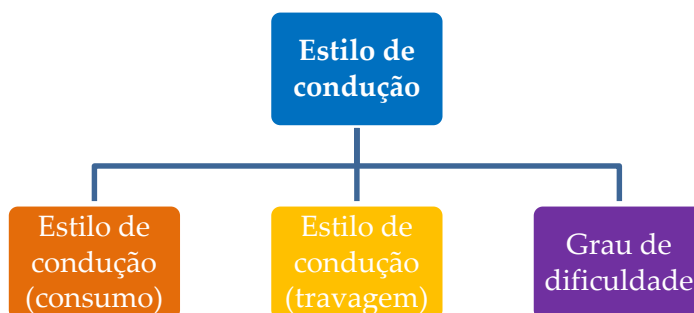


Figura 3.2-Variável Estilo de condução em função do Estilo de condução (consumo), Estilo de condução (travagem) e Grau de dificuldade.

A variável **Estilo de condução (consumo)** é calculada com base em 5 variáveis:

- **Estilo de condução preventivo** - capacidade de um motorista antever obstáculos e antecipar-se aos mesmos, levantando o pé do acelerador mais cedo e aproveitando a inércia do veículo;
- **Movimentos de acelerador** - capacidade de um motorista acelerar de forma suave ou brusca e/ou com flutuações, como, por exemplo, “bombear” o pedal;
- **Ralenti** - *ralenti* praticado pelo motorista;
- **Operação caixa de velocidades** - capacidade de um motorista utilizar corretamente a caixa de velocidades;
- **Velocidade constante** - capacidade de um motorista manter a velocidade constante.

Na figura 3.3 é apresentado um exemplo do resultado obtido para o **Estilo de condução (consumo)** por um motorista, num dia de atividade (laranja), em função dos valores obtidos para as variáveis **Estilo de condução preventivo**, **Movimentos de acelerador**, **Ralenti**, **Operação caixa de velocidades** e **Velocidade constante** (que se encontram a verde). A figura 3.4 apresenta um esquema simplificado da relação existente entre estas variáveis.

Estilo de condução (pontuação)	8,26		
<b>Estilo de condução (consumo) (pontuação)</b>	<b>7,86</b>		
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05	Operação caixa de velocidades (pontuação)	9,45
Movimentos de acelerador (pontuação)	7,22	Velocidade constante (pontuação)	6,15
Ralenti (pontuação)	6,17		
Estilo de condução (travagem) (pontuação)	8,07	Desaceleração (pontuação)	9,09
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05	Peso médio (pontuação)	4,34
Grau de dificuldade (pontuação)	5,48		
Declive médio (pontuação)	6,31		
Paragens (pontuação)	5,99		

Figura 3.3-Exemplo de um resultado obtido no **Estilo de condução (consumo)** (destaque a laranja), resultante das variáveis **Estilo de condução preventivo**, **Movimentos de acelerador**, **Ralenti**, **Operação caixa de velocidades** e **Velocidade constante** (destaques a verde).

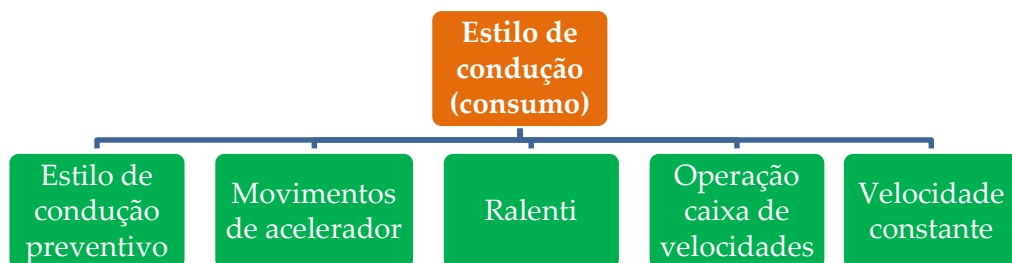


Figura 3.4-Variável **Estilo de Condução (consumo)**, em função das variáveis **Estilo de condução preventivo**, **Movimentos de acelerador**, **Ralenti**, **Operação caixa de velocidades** e **Velocidade constante**.

O valor da variável **Estilo de condução (travagem)** é calculado com base em 2 variáveis:

- **Estilo de condução preventivo** - capacidade de um motorista utilizar o travão de motor, em relação ao travão de pedal;
- **Desaceleração** - capacidade de um motorista desacelerar o veículo.

A figura 3.5 apresenta um exemplo do resultado obtido para o **Estilo de condução (travagem)** por um motorista, num dia de atividade (amarelo), em função dos valores obtidos para as variáveis **Estilo de condução preventivo** e **Desaceleração** (que se encontram a verde). Na figura 3.6 apresenta-se um esquema simplificado da relação entre elas.

Estilo de condução (pontuação)	8,26		
Estilo de condução (consumo) (pontuação)	7,86		
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05	Operação caixa de velocidades (pontuação)	9,45
Movimentos de acelerador (pontuação)	7,22	Velocidade constante (pontuação)	6,15
Ralenti (pontuação)	6,17		
<b>Estilo de condução (travagem) (pontuação)</b>	<b>8,07</b>	<b>Desaceleração (pontuação)</b>	<b>9,09</b>
<b>Estilo de condução preventivo (pontuação)</b>	<b>7,05</b>		
Grau de dificuldade (pontuação)	5,48	Peso médio (pontuação)	4,34
Declive médio (pontuação)	6,31		
Paragens (pontuação)	5,99		

Figura 3.5-Exemplo de um resultado obtido no Estilo de condução (travagem) (destaque a amarelo), resultante das variáveis Estilo de condução preventivo e Desaceleração (destaques a verde).

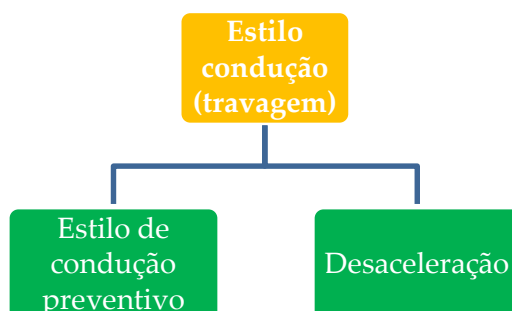


Figura 3.6-Variável Estilo de Condução (travagem), em função das variáveis Estilo de condução preventivo e Desaceleração.

Embora a variável **Estilo de condução preventivo** esteja presente, quer na avaliação do **Estilo de condução (consumo)**, quer na avaliação do **Estilo de condução (travagem)** e, embora o seu valor para as 2 avaliações seja igual, é contabilizado nestas 2 avaliações com efeitos diferentes.



O valor da variável **Grau de dificuldade** é calculado com base em 3 variáveis:

- **Declive médio** - grau de inclinação do trajeto;
- **Paragens** - número de paragens do trajeto;
- **Peso médio** - peso médio do conjunto (veículo e carga), durante o trajeto.

A figura 3.7 exemplifica o resultado obtido para o **Grau de dificuldade** por um motorista, num dia de atividade (roxo), em função dos valores obtidos para as variáveis **Declive médio**, **Paragens** e **Peso médio** (que se encontram a verde). A figura 3.8 apresenta um esquema simplificado da relação existente entre as variáveis.

Estilo de condução (pontuação)	8,26		
Estilo de condução (consumo) (pontuação)	7,86		
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05	Operação caixa de velocidades (pontuação)	9,45
Movimentos de acelerador (pontuação)	7,22	Velocidade constante (pontuação)	6,15
Ralenti (pontuação)	6,17		
Estilo de condução (travagem) (pontuação)	8,07	Desaceleração (pontuação)	9,09
Estilo de condução preventivo (pontuação)	7,05		
<b>Grau de dificuldade (pontuação)</b>	<b>5,48</b>	<b>Peso médio (pontuação)</b>	<b>4,34</b>
<b>Declive médio (pontuação)</b>	<b>6,31</b>		
<b>Paragens (pontuação)</b>	<b>5,99</b>		

Figura 3.7-Exemplo de um resultado obtido no **Grau de dificuldade** (destaque a roxo), resultante das variáveis **Declive médio**, **Paragens** e **Peso médio** (destaques a verde).

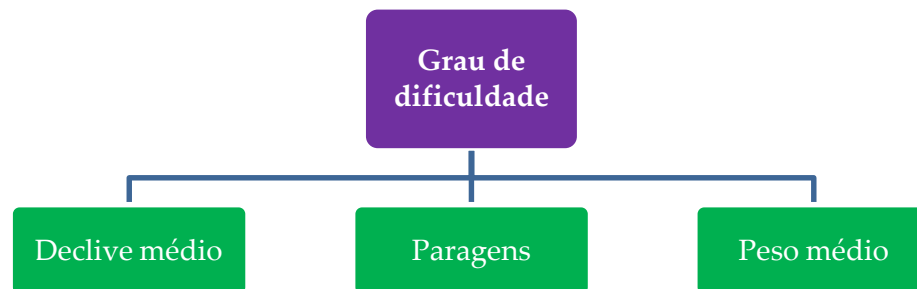


Figura 3.8-Variável **Grau de dificuldade**, em função das variáveis **Declive médio**, **Paragens** e **Peso médio**.

As variáveis quantitativas que o programa devolve são:

- **Distância total** (km) - distância total percorrida, em quilómetros;
- **Distância de travagem** (km) - distância total de travagem com o pedal, em quilómetros;
- **Distância de travagem/Distância total** (%) - percentagem de distância a travar com o pedal, em relação à distância total;

- **Distância de travagem sem desgaste** (km) - distância total de travagem com o motor, em quilómetros;
- **Distância de travagem sem desgaste/Distância total** (%) - percentagem de distância a travar com o motor, em relação à distância total;
- **Distância total com >85,00 km/h** (km) - distância percorrida com velocidade acima de 85,00 km/h, em quilómetros;
- **Distância percorrida com >85,00 km/h** (%) - percentagem de distância percorrida acima de 85,00 km/h, em relação à distância total;
- **Distância sem acelerador** (km) - distância total percorrida sem acionar o acelerador, em quilómetros;
- **% sem acelerador** (%) - percentagem de distância percorrida sem acionar o acelerador, em relação à distância total;
- **Cruise control/Distância total** (%) - percentagem de distância percorrida com *Cruise control*, em relação à distância total;
- **Velocidade média** (km/h) - velocidade média registada do trajeto, em quilómetros por hora;
- **Número de paragens** (n) - número de vezes que as rodas do veículo param;
- **Tempo de condução** (h:min:s) - tempo a conduzir (rodas do veículo em movimento), em horas:minutos:segundos;
- **Tempo em ralenti** (h:min:s) - tempo com o motor a trabalhar e as rodas do veículo paradas, em horas:minutos:segundos;
- **Consumo total** (l) - consumo total de combustível num trajeto, em litros;
- **Consumo médio total** (l/100 km) - consumo de combustível, em litros, a cada 100 quilómetros percorridos;
- **Consumo total em condução** (l) - consumo total de combustível num trajeto, enquanto as rodas do veículo estiverem em movimento, em litros;
- **Consumo médio em condução** (l/100 km) - consumo de combustível, em litros, a cada 100 quilómetros percorridos, enquanto as rodas do veículo estiverem em movimento;
- **Consumo total em ralenti** (l) - consumo total de combustível num trajeto, enquanto as rodas do veículo estiverem paradas, em litros;
- **Emissões de CO<sub>2</sub>** (kg) - emissões totais de CO<sub>2</sub> num trajeto, em quilogramas;
- **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** (g/km) - emissões de CO<sub>2</sub>, em gramas, a cada 100 quilómetros percorridos;
- **Peso médio** (t) - peso médio do conjunto (veículo e carga), em toneladas.

### ***3.3 Análise preliminar do caso de estudo***

Os dados recolhidos nas primeiras 4 semanas foram importados do *Fleetboard* e inseridos no *Excel*, para que pudessem ser tratados e editados.

Uma vez que se pretende estudar a variável **Consumo médio total**, converteram-se algumas variáveis quantitativas em valores standardizados aos 100 km. A conversão está disponível na tabela 3.1.

**Tabela 3.1-Variáveis convertidas para valores médios e a respetiva razão de valores absolutos.**

Variável obtida	Razão (valores absolutos)	Unidade
Paragens/100 km	Número de paragens/Distância total	n/100 km
Tempo de condução/100 km	Tempo de condução/Distância total	h:min:s/100 km
Tempo em ralenti/100 km	Tempo em ralenti/Distância total	h:min:s/100 km
Consumo médio em ralenti/100 km	Consumo total em ralenti/Distância total	l/100 km

Para facilitar os cálculos, converteram-se algumas das variáveis noutras, de modo a que os dados ficassem num formato com as mesmas unidades. Converteu-se o **Número de paragens** no número de paragens, a cada 100 quilómetros percorridos (**Paragens/100 km**); o **Tempo de condução** no tempo que se demora a conduzir 100 km (**Tempo de condução/100 km**); o **Tempo em ralenti** no tempo em *ralenti* a cada 100 km (**Tempo em ralenti/100 km**); e ainda o **Consumo total em ralenti** no consumo médio em *ralenti* a cada 100 km (**Consumo médio em ralenti/100 km**).

Desta forma, a variável **Distância total**, em valor absoluto, deixa de ter influência nos dados (algumas variáveis passaram a ser medidas aos 100 km e não em número bruto), uma vez que nas primeiras 4 semanas a distância percorrida foi diferente da distância percorrida nas semanas restantes.

Os resultados obtidos antes da formação *Eco-Drive* estão disponíveis nas tabelas 3.2 (variáveis qualitativas) e 3.3 (variáveis quantitativas). Na tabela 3.2 estão assinalados a negrito os 3 grandes grupos das variáveis qualitativas descritas no capítulo 3.2.2.

Analisando a tabela 3.2, a nível qualitativo, o **Estilo de condução (consumo)** registou uma pontuação de 5,89 valores. O **Estilo de condução (travagem)** registou 5,71 valores, tendo sido obtido um **Grau de dificuldade** de 4,78 valores. Com base nestes 3 valores, o **Estilo de condução** foi pontuado em 6,07 valores.

O valor mais baixo obtido, na escala de 1,00 a 10,00, foi no **Estilo de condução preventivo**, com um resultado de 2,30. Outra variável que registou uma pontuação baixa (4,33 valores) foi a variável **Movimentos de acelerador**, que revela acelerações fortes e um “bombear” de acelerador, o que não é económico, nem benéfico, para a redução do consumo de combustível.

**Tabela 3.2-Valores obtidos para as variáveis qualitativas na análise preliminar (antes da formação *Eco-Drive*).**

Variáveis Qualitativas	Média (valores)	Desvio Padrão
<b>Estilo de condução</b>	<b>6,07</b>	<b>0,66</b>
<b>Estilo de condução (consumo)</b>	<b>5,89</b>	<b>0,68</b>
Estilo de condução preventivo	2,30	1,41
Movimentos de acelerador	4,33	1,65
Ralenti	6,00	1,61
Operação caixa de velocidades	9,21	0,07
Velocidade constante	6,85	0,74
<b>Estilo de condução (travagem)</b>	<b>5,71</b>	<b>0,71</b>
Estilo de condução preventivo	2,30	1,41
Desaceleração	9,12	0,08
<b>Grau de dificuldade</b>	<b>4,78</b>	<b>0,39</b>
Declive médio	4,15	0,18
Paragens	5,96	1,62
Peso médio	4,69	0,30

**Tabela 3.3-Valores obtidos para as variáveis quantitativas na análise preliminar (antes da formação *Eco-Drive*).**

Variáveis Quantitativas	Média	Desvio Padrão
<b>Distância de travagem/Distância total (%)</b>	7,26	2,22
<b>Distância de travagem sem desgaste/Distância total (%)</b>	8,35	4,74
<b>Distância percorrida com &gt;85,00 km/h (%)</b>	12,57	9,69
<b>% sem acelerador (%)</b>	39,61	3,52
<b>Cruise control/Distância total (%)</b>	10,57	11,00
<b>Velocidade média (km/h)</b>	50,28	4,26
<b>Paragens/100 km (n/100 km)</b>	44,92	23,39
<b>Tempo de condução/100 km (h:min:s)</b>	2:03:43	0:09:36
<b>Tempo em ralenti/100 km (h:min:s)</b>	0:24:08	0:12:19
<b>Consumo médio total (l/100 km)</b>	34,19	2,46
<b>Consumo médio em condução (l/100 km)</b>	32,99	2,08
<b>Consumo médio em ralenti (l/100 km)</b>	1,20	0,58
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> médias (g/km)</b>	899,00	64,72
<b>Peso médio (t)</b>	23,52	0,97

Analisando a tabela 3.3, a nível quantitativo, a **Distância de travagem/Distância total** foi de 7,26%, sendo a **Distância de travagem sem desgaste/Distância total** de 8,35%. Esta observação demonstra que a utilização do travão de motor não estava a ser efetuada de forma eficiente, uma vez que a percentagem de travagem com o travão de motor, ou seja, a percentagem de distância de travagem sem desgaste deve ser muito superior à distância de travagem.

Em relação à variável **Distância percorrida com >85 km/h** regista-se uma percentagem de 12,57 %, indicando a presença de velocidades que implicam um maior aumento no arrasto aerodinâmico.

Em relação à variável **% sem acelerador** regista-se um valor de 39,61% seguido de 10,57 % na variável **Cruise control/Distância total** e de uma **Velocidade média** de 50,28 km/h.

O número médio de **Paragens/100 km** foi de aproximadamente 45/100 km.

O tempo de condução necessário para percorrer 100 km (**Tempo de condução/100 km**) foi de 2h03min43s/100 km, sendo que o **Tempo em ralenti/100 km** correspondeu a cerca de 24 min/100 km, que revela ser um valor muito elevado para o tipo de serviço efetuado. Normalmente, é em serviços que requerem camiões com trator bomba ou compressor, ou camiões que transportam cimento ou bombas de projetar cimento, que se registam tempos em ralenti/100 km mais elevados.

O **Consumo médio total** dos veículos foi de 34,19 l/100 km. O **Consumo médio em ralenti/100 km** foi de 1,20 l/100 km.

As **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** corresponderam a, aproximadamente, 899,00 g/km sendo que o **Peso médio** registado foi de 23,52 toneladas.

Não esquecer que estes dados foram determinados com base numa distância percorrida de 45 403,30 quilómetros.

### **3.4 Síntese**

Para efetuar este estudo analisaram-se 12 motoristas, durante 8 semanas, em 10 veículos pesados *Mercedes-Benz Actros III*, todos com as mesmas configurações, quer de tamanho, quer de potência.

A atividade ocorreu na região do Algarve, onde os veículos partem de Algoz e entregam mercadorias alimentares a vários clientes nesta zona do país.

Das 8 semanas em estudo, nas primeiras 4, os motoristas conduziram sem formação *Eco-Drive*, que correspondem ao mês de Maio (2014). Nas 4 restantes semanas, referentes a Julho, os motoristas conduziram após a formação *Eco-Drive*.

Para se estudarem os perfis de condução e se retirarem resultados sobre as variáveis em estudo, utilizou-se o *software Fleetboard*.

Procedeu-se à análise preliminar do sistema, com o intuito de se estudarem quais os resultados obtidos nas primeiras 4 semanas, permitindo assim desenvolver um sistema

*Eco-Drive* com propostas que visem a melhoria da *performance* dos motoristas e a redução do consumo de combustível.

As variáveis qualitativas **Estilo de condução preventivo** e **Movimentos de acelerador**, nas primeiras 4 semanas, foram as que apresentaram valores mais próximo de 1,00, numa escala de 1,00 (pior) a 10,00 (melhor).

Já as variáveis quantitativas **Consumo médio total** e **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, para o mesmo espaço temporal, foram de 34,19 l/100 km e 899,00 g/km, respetivamente.

## 4 Implementação do Sistema *Eco-Drive*

### 4.1 Introdução

Este capítulo descreve as propostas de melhoria implementadas no sistema *Eco-Drive* desenvolvido, bem como as áreas onde foram aplicadas.

As propostas de melhoria foram sugeridas com base na formação fornecida pela *Mercedes-Benz*, durante aproximadamente 2 semanas, em documentos científicos consultados, e ainda na experiência obtida durante o período de testes *Eco-Drive* em 10 veículos pesados, conduzidos por 12 motoristas, durante 4 semanas.

### 4.2 Propostas de melhoria do sistema *Eco-Drive*

Na sequência da análise dos resultados obtidos na análise preliminar, no capítulo anterior, verificou-se que as maiores dificuldades que os motoristas apresentavam no seu estilo de condução resultavam da quase inexistente condução preventiva (**Estilo de condução preventivo** - 2,30 valores) nas variáveis qualitativas **Estilo de condução (consumo)** e **Estilo de condução (travagem)**, seguido de uma classificação de 4,33 valores para a variável **Movimentos de acelerador**, numa escala de 1,00 (pior) a 10,00 (melhor).

As variáveis acima descritas são identificadas como sendo fatores decisivos no consumo de combustível, no capítulo 2. Adotar uma condução preventiva, e acelerar de forma constante e suave, são determinantes para o consumo de combustível.

Tendo em atenção a estes factos, foram desenvolvidas propostas de melhoria em conformidade com a formação dada pelo fabricante, com a Legislação Portuguesa, nomeadamente o Código da Estrada Português, e ainda com a pesquisa bibliográfica efetuada.

A implementação das propostas de melhoria foi efetuada, numa primeira fase, através de formação facultada aos motoristas dos veículos e, numa segunda fase, com o desenvolvimento de um sistema *Eco-Drive*, seguido de um controlo rigoroso do modo de condução dos motoristas.

A formação foi dada no veículo durante o período de atividade diária do motorista, ou seja, em média, durante 7 a 8 horas.

Esta formação *Eco-Drive*, bem como as propostas de melhoria, foram vocacionadas para as seguintes áreas:

- i) Diminuição do tempo de *ralenti*, uma vez que se considerou excessivo na análise preliminar (cerca de 24 minutos, por cada 100 km percorridos);
- ii) Aumento do *Eco-roll* (distância percorrida sem acionar o acelerador e com o veículo desengatado), porque se detetou desconhecimento sobre esta matéria por parte dos motoristas;
- iii) Velocidade máxima e constante, uma vez que, se a velocidade terminal de um camião for reduzida em 10,00 km/h, pode haver uma redução do consumo de combustível (tabela 2.1).
- iv) Utilização do *Cruise control*, já que nem sempre é o sistema mais económico;
- v) Movimentos do pedal de acelerador, pois verificou-se existir um resultado de 4,33 valores para a variável **Movimentos de acelerador**, na análise preliminar do caso de estudo. Sabendo que na escala de 1,00 a 10,00 quanto maior melhor, então o resultado verificado mostra haver uma oportunidade para melhorar esta variável. Embora seja uma variável qualitativa, está intimamente ligada com as acelerações, logo tem um impacto no consumo de combustível e na forma como uma caixa automática se comporta;
- vi) Adoção de uma condução preventiva combinada com a utilização do travão de motor;
- vii) Utilização da caixa de velocidades, já que engrenar uma mudança mais cedo contribui para a redução do consumo de combustível. Uma boa utilização da caixa de velocidades na aplicação do travão de motor torna a travagem mais eficiente.

Deste modo, as áreas onde a formação teve maior incidência foram na condução preventiva (**Estilo de condução preventivo**) e nos movimentos do pedal de acelerador (**Movimentos de acelerador**).

#### ***4.2.1 Operações de ralenti***

O consumo de combustível em *ralenti* ocorre, essencialmente, devido a descuido por parte dos motoristas, devido ao facto de estes não terem noção de quanto este processo tem impacto no aumento do consumo de combustível.

Visto que a profissão de motorista de veículos pesados de transporte de mercadorias exige vários processos de carga e descarga de produtos, assinaturas de guias de transporte, entre outros documentos, é frequente registar-se um *ralenti* excessivo, devido ao facto do



veículo não ser desligado durante a ocorrência deste tipo de processos. É de referir ainda o registo de tempos de *ralenti* excessivos quando, por exemplo, o motorista se desloca à casa de banho, ou vai beber café, ou até quando lava o veículo no final da sua atividade diária.

Os reboques têm uma plataforma basculante para descarregar a carga, que funciona com baterias. Alguns motoristas pensavam que, para preservar a carga das baterias e para evitar a perda de carga total, o que impediria o posterior processo de arranque, tinham de deixar o motor a trabalhar durante o processo de descarga, processo este que pode chegar a ter uma duração superior a 40 minutos.

De modo a corrigir esta atitude, foi explicado aos motoristas que a plataforma basculante, embora hidráulica e elétrica, apenas usa corrente elétrica quando sobe e que, quando desce, usa a força da gravidade.

Outro aspeto a referir foi o modo como os motoristas faziam o arranque e a paragem dos veículos. Muitos dos motoristas praticavam um *ralenti* excessivo no arranque e na paragem do veículo. De acordo com as alegações dos motoristas, o *ralenti* excessivo era exercido para que o motor aquecesse. No entanto, de acordo com as especificações dos veículos, o arranque deve ser feito imediatamente assim que se liga o motor. Por outro lado, a condução durante o processo de aquecimento do motor deve ser feita em regimes baixos.

Caso o veículo esteja imobilizado durante um período de tempo prolongado, ou no caso da temperatura exterior ser demasiado baixa (perto de 0 °C), deve então haver um período de espera em marcha em *ralenti* durante uns breves minutos.

Em relação à paragem do motor, só em casos de esforço extremo e prolongado se deve proceder a uma marcha em *ralenti*, que, por sua vez, não deve exceder os 2 minutos.

Os motoristas foram informados sobre o consumo de combustível em processo de *ralenti* e passaram a inibir-se de usar estas práticas.

#### **4.2.2 Aumento do Eco-roll**

Todos os veículos em estudo estão equipados com caixas de velocidades de última geração, com uma função disponível que nem todos os motoristas sabiam usar da forma mais correta.

Quando o veículo está em movimento, se o motorista levantar o pé do acelerador, e caso não se trate de uma descida demasiado íngreme, a caixa de velocidades desengata-se e

coloca o veículo em rodas livres. A caixa de velocidades desengata num mecanismo que está ligado ao eixo de transmissão e não às engrenagens, tornando assim o sistema seguro.

Esta opção visa evitar a resistência mecânica do motor e das transmissões do veículo, impedindo que perca demasiada velocidade à medida que se movimenta.

Quando o veículo desce um declive significativo e o motorista levanta o pé do acelerador com o veículo engrenado, não há injeção de combustível e, conseqüentemente, o consumo instantâneo de combustível durante esse processo é nulo. Isto deve-se ao facto de ser a inércia do veículo que movimenta as bielas e os pistões, sendo que a única substância inserida dentro das câmaras de combustão é ar atmosférico - *Fuel-cut* ou “corte de combustível”. Contudo, sempre que esta técnica é usada, perde-se velocidade, porque o motor oferece um binário resistente que determina a diminuição da rotação deste e, conseqüentemente, da velocidade do veículo.

Com o veículo desengatado, ou em *Eco-roll*, evita-se assim o processo descrito anteriormente.

Nos casos em que o declive negativo é mais acentuado, existe um ganho de velocidade por se iniciar o processo de *Eco-roll*. No caso de descidas muito acentuadas, o veículo engata uma engrenagem automaticamente e atribui às rodas a resistência do motor, para que não haja um aumento excessivo de velocidade.

Não é só nas descidas acentuadas que se pode aproveitar esta função, uma vez que um veículo pesado semirreboque de transporte de mercadorias, quando carregado, pode chegar a atingir as 40 toneladas. Devido a esse facto, quando o veículo está em movimento, existe uma grande quantidade de energia cinética (visto que a massa do veículo é elevada) que pode ser utilizada para fazer *Eco-roll* em trajetos que sejam relativamente planos, ou com um grau de inclinação (descida) reduzido.

Em termos práticos, os motoristas foram instruídos no sentido de aumentar o número de quilómetros em *Eco-roll* e de retirar o pé do acelerador, sempre que as condições do terreno assim o permitam.

A utilização desta prática foi aconselhada em situações específicas, uma vez que, mesmo desengatado, o veículo perde velocidade devido a outros fatores para além da resistência mecânica do motor e das transmissões, como, por exemplo, a resistência aerodinâmica e de rolamento dos pneus. Uma vez perdida a velocidade, o motorista terá de consumir combustível para voltar a alcançar a velocidade pretendida. Caso a velocidade diminua para valores muito baixos, o combustível consumido para se recuperar a velocidade

pretendida poderá ser superior ao que foi economizado durante o período que o veículo esteve em *Eco-roll*.

#### **4.2.3 Velocidade máxima e constante**

Para minimizar o efeito que o arrasto aerodinâmico produz no consumo de combustível, os motoristas foram instruídos para não ultrapassarem (sempre que o horário de entrega o permitisse) os 80 km/h, uma técnica que, segundo Patten *et al.* (2012), evita desperdício de energia por arrasto aerodinâmico. O conhecimento dos motoristas considerados no desenvolvimento desta dissertação sobre a matéria de arrasto aerodinâmico era quase inexistente.

É de referir ainda que, reduzir a velocidade do veículo, implica reduzir o número de rotações por minuto do motor, o que representa um decréscimo no consumo de combustível.

Fez parte ainda do sistema *Eco-Drive* implementado minimizar as flutuações de aceleração, procurando que os motoristas circulassem com uma velocidade o mais constante possível, minimizando assim algumas oscilações de velocidade entre os 80,00 e os 90,00 km/h (tabela 2.1), sentidas aquando do acompanhamento dos motoristas (Patten *et al.* 2012).

#### **4.2.4 Utilização do sistema Cruise control**

A utilização do *Cruise control* foi desaconselhada aos motoristas, porque, geralmente, as rotas dos veículos em estudo não implicavam a utilização de vias rápidas ou de auto-estradas, e ainda devido ao tempo de resposta lento que o sistema apresenta quando se pretende fazer *Eco-roll*. Embora o *Cruise control* desengate a caixa de velocidades automaticamente, o tempo que demora a fazê-lo é superior do que se o controlo for explorado pelo motorista.

O veículo não tem capacidade de identificar antecipadamente quando é que uma descida ou subida se inicia ou termina. Muitas vezes, o desengate da caixa só acontecia quando o veículo já estava no processo de descida, o que pode ser evitado se for o motorista a iniciar o processo de desengate da caixa de velocidades, levantando o pé do acelerador o quanto antes.

#### **4.2.5 Movimentos do pedal de acelerador e caixa de velocidades**

O comportamento dos motoristas na condução permitiu verificar que os movimentos do pedal de acelerador eram uma questão problemática. Revelou-se muito importante

melhorar esta variável, uma vez que as acelerações estão intimamente ligadas ao pedal de acelerador e têm um grande impacto no consumo de combustível.

Num veículo com o tipo de configurações dos veículos em análise no caso de estudo presente nesta dissertação, ler consumos instantâneos na ordem dos 350,00 l/100 km, quando se procede a um arranque, é comum, e é exatamente neste processo de arranque que o veículo apresenta um consumo superior.

A caixa de velocidades destes veículos tem 12 mudanças, o que significa que o arranque é demorado e lento, logo existia uma tendência por parte dos motoristas para "carregar/esmagar" o pedal de acelerador com mais intensidade do que o desejado.

A aliar a esta tendência, existe ainda um problema comum aos veículos com transmissão automática - o pedal de acelerador é um parâmetro de *input* para o computador que gere os parâmetros do motor e da caixa de velocidades. Isto é, a caixa de velocidades mede a posição do pedal de acelerador, entre outros parâmetros, e, consoante o comportamento do motorista em relação ao pedal de acelerador, gere as passagens de caixa. Se o motorista pressionar o pedal de acelerador bruscamente, a caixa de velocidades interpreta isso como uma necessidade de potência e as passagens de caixa passam a ser realizadas mais tarde e a rotações por minuto (rpm) mais elevadas.

Para minimizar este efeito, os motoristas foram instruídos a, pelo menos até à oitava mudança e aproximadamente 40,00 km/h, manterem o pé no acelerador de forma suave e constante. Desta forma, a caixa de velocidades passou a realizar passagens de caixa mais cedo e a rotações por minuto mais baixas.

Outra forma de fazer com que a caixa de velocidades troque as mudanças é o motorista parar de pressionar o pedal de acelerador e mantê-lo constante e, em alguns casos, fazer um ligeiro alívio da pressão aplicada ao pedal. Em vez de as trocas da caixa de velocidades ocorrerem, aproximadamente, entre as 1 400 e as 1 600 rpm, podem antes ocorrer entre as 1 100 e as 1 300 rpm.

Estes valores de rotações alteram-se, por exemplo, se o veículo estiver numa subida e, nesses casos, a caixa de velocidades troca as mudanças a uma rotação mais elevada.

Andar neste espectro de rotações não danifica o motor do veículo, uma vez que, segundo o construtor, o binário máximo do veículo é atingido às 1 080 rpm e mantém-se constante até, aproximadamente, às 1 400 rpm.

Uma vez esgotada a curva de binário máximo, não existe rentabilidade em aumentar as rotações do motor e devem trocar-se as relações de caixa de velocidades, tal como foi explicado no capítulo 2.5.4.

#### **4.2.6 Condução preventiva e caixa de velocidades**

A condução preventiva e o uso da caixa de velocidades foram as questões em que os motoristas apresentaram mais dificuldade de compreensão e correção.

A condução preventiva na travagem consiste na utilização do travão de motor, em vez do sistema de travão de pedal convencional, o que permite que o motorista poupe o sistema de travagem convencional (disco e pastilhas) e consiga percorrer uma distância maior, sem ter de acionar o acelerador. Em quase todos os casos, os motoristas diziam conhecer o travão de motor, no entanto, referiam que não tinha eficácia e, por isso, usavam-no poucas vezes.

O travão de motor tem duas posições neste veículo, em que a primeira posição tem um efeito de travão com menos intensidade do que a segunda. Uma vez que os motoristas referiam não sentir o efeito do travão de motor, havia a tendência para o colocar imediatamente na segunda posição, sem antes passarem pela primeira posição.

O travão de motor funciona através do estrangulamento de gases inseridos na câmara de combustão e através de uma borboleta de escape. Uma vez os gases inseridos na câmara, as válvulas de escape fecham e estrangulam os gases quando o pistão do motor sobe, aumentando o poder de travagem.

Para incrementar o efeito do travão de motor neste tipo de veículos, torna-se necessário aumentar o número de rotações por minuto através de reduções da caixa de velocidades. Este processo confere à caixa de velocidades um papel fundamental. Portanto, os motoristas foram instruídos no sentido de reduzirem as relações de caixa e aplicarem o travão de motor. Este exercício torna-se bastante difícil de aplicar, visto que o travão de motor é lento e exige uma grande capacidade de antecipação aos obstáculos e grande distância de travagem.

Como o travão de motor só funciona se o motorista não estiver a pressionar o acelerador, é importante iniciar o processo de aliviar o acelerador com a maior antecipação possível. Só assim o motorista tem tempo e distância suficientes para abrandar o veículo sem utilizar o pedal de travão, isto é, utilizando o travão de motor. A condução preventiva focada na redução do consumo de combustível é fundamental nesta situação. O consumo de combustível diminui porque, sempre que se ativa o travão de motor e se alivia o pedal de acelerador, a função *Fuel-cut* é ativada na injeção e, conseqüentemente, percorre-se distância sem se consumir combustível.

Levantar o pé do acelerador mais cedo, aquando de um obstáculo, torna possível usufruir da função *Fuel-cut*, e ainda preparar o veículo para aplicar a travagem com o travão de motor.

Para além disso, fazer aproximações mais suaves e com maior antecipação aos semáforos, rotundas e cruzamentos, possibilita criar um compasso de espera vantajoso, na medida em que permite, por exemplo, entrar em “modo de espera” na aproximação a um semáforo ao ponto de ele ficar verde, minimizando assim o número de paragens e, conseqüentemente, de arranques.

### **4.3 Síntese**

O sistema *Eco-Drive* implementado visa resolver os problemas mais comuns encontrados no sistema em estudo, como, por exemplo, a quase inexistente condução preventiva e ainda uma incorreta utilização do pedal de acelerador.

Resumidamente, as propostas de melhoria que compõem o sistema *Eco-Drive* implementado incidiram sobre:

- i)** Diminuir as práticas de *ralenti*;
- ii)** Aumentar as distâncias percorridas em *Eco-roll*;
- iii)** Reduzir a velocidade terminal para os 80,00 km/h;
- iv)** Evitar a utilização do sistema *Cruise control* em trajetos sinuosos;
- v)** Acelerar de forma menos brusca e mais suave, de modo a que a caixa de velocidades troque as relações mais cedo;
- vi)** Adotar uma condução preventiva, com o intuito de minimizar o desperdício de combustível e desgaste do sistema de travagem (disco e pastilhas).
- vii)** Utilizar a caixa de velocidades, já que engrenar uma mudança mais cedo contribui para a redução do consumo de combustível.

# 5 Análise de Resultados

## 5.1 Introdução

Neste capítulo faz-se uma análise comparativa dos valores das variáveis qualitativas e quantitativas, antes e depois da implementação do sistema *Eco-Drive*.

Para analisar a variação do valor médio de cada variável usaram-se os testes estatísticos de *Fisher* e *t-student*. Uma vez identificadas as variáveis cujo valor médio foi alterado na sequência da implementação do referido sistema de *Eco-Drive*, procedeu-se à quantificação dessa mesma variação.

Com o objetivo de identificar as variáveis que mais contribuíram para a alteração do valor médio do **Consumo médio total** de combustível dos veículos, aplicou-se o método de regressão linear múltipla. Após este exercício, elabora-se uma análise do consumo de combustível e desgaste do sistema de travagem, que visa quantificar a poupança conseguida em combustível e no sistema de travagem no tempo em que este estudo decorreu. Semelhantemente, o mesmo processo foi realizado para as **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**.

Após este processo concluído e, uma vez que a bibliografia pesquisada indica que um sistema *Eco-Drive* pode reduzir a sua potencial poupança após alguns meses, fez-se uma breve observação do sistema durante 5 meses, com o intuito de se estudar se houveram, ou não, grandes alterações no **Consumo médio total** e nas **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, durante esse período.

## 5.2 Resultados após implementação do sistema *Eco-Drive*

Os resultados obtidos nas 4 semanas após a implementação do sistema *Eco-Drive* estão disponíveis nas tabelas 5.1 (variáveis qualitativas) e 5.2 (variáveis quantitativas).

De modo a enquadrar as variáveis sujeitas a análise neste subcapítulo, segue a identificação e definição das variáveis qualitativas e quantitativas utilizadas para avaliar o sistema *Eco-Drive* implementado.

O valor qualitativo do **Estilo de condução** é obtido com base no resultado de 3 variáveis qualitativas: **Estilo de condução (consumo)**, **Estilo de condução (travagem)** e **Grau de dificuldade** do trajeto realizado.

A variável **Estilo de condução (consumo)** é calculada com base em 5 variáveis:

- **Estilo de condução preventivo** - capacidade de um motorista antever obstáculos e antecipar-se aos mesmos, levantando o pé do acelerador mais cedo e aproveitando a inércia do veículo;
- **Movimentos de acelerador** - capacidade de um motorista acelerar de forma suave ou brusca e/ou com flutuações, como, por exemplo, “bombear” o pedal;
- **Ralenti** - *ralenti* praticado pelo motorista;
- **Operação caixa de velocidades** - capacidade de um motorista utilizar corretamente a caixa de velocidades;
- **Velocidade constante** - capacidade de um motorista manter a velocidade constante.

Por outro lado, o valor da variável **Estilo de condução (travagem)** é calculado com base em 2 variáveis:

- **Estilo de condução preventivo** - capacidade de um motorista utilizar o travão de motor, em relação ao travão de pedal;
- **Desaceleração** - capacidade de um motorista desacelerar o veículo.

**Tabela 5.1-Valores obtidos para as variáveis qualitativas, após implementação do sistema *Eco-Drive*.**

Variáveis Qualitativas	Média (valores)	Desvio Padrão
<b>Estilo de condução</b>	<b>8,63</b>	<b>0,64</b>
<b>Estilo de condução (consumo)</b>	<b>8,27</b>	<b>0,61</b>
Estilo de condução preventivo	8,03	1,52
Movimentos de acelerador	7,15	1,15
Ralenti	6,66	1,01
Operação caixa de velocidades	9,34	0,08
Velocidade constante	7,70	0,56
<b>Estilo de condução (travagem)</b>	<b>8,56</b>	<b>0,75</b>
Estilo de condução preventivo	8,03	1,52
Desaceleração	9,09	0,13
<b>Grau de dificuldade</b>	<b>4,70</b>	<b>0,30</b>
Declive médio	4,13	0,21
Paragens	5,26	1,20
Peso médio	4,95	0,32



Finalmente, o valor da variável **Grau de dificuldade** é calculado com base em 3 variáveis:

- **Declive médio** - grau de inclinação do trajeto;
- **Paragens** - número de paragens do trajeto;
- **Peso médio** - peso médio do conjunto (veículo e carga), durante o trajeto.

**Tabela 5.2-Valores obtidos para as variáveis quantitativas, após implementação do sistema *Eco-Drive*.**

Variáveis Quantitativas	Média	Desvio Padrão
<b>Distância de travagem/Distância total (%)</b>	2,29	1,05
<b>Distância de travagem sem desgaste/Distância total (%)</b>	11,64	3,33
<b>Distância percorrida com &gt;85,00 km/h (%)</b>	7,08	5,33
<b>% sem acelerador (%)</b>	45,25	4,88
<b><i>Cruise control</i>/Distância total (%)</b>	8,16	11,45
<b>Velocidade média (km/h)</b>	48,31	3,16
<b>Paragens/100 km (n/100 km)</b>	36,74	11,51
<b>Tempo de condução/100 km (h:min:s)</b>	2:06:09	0:08:27
<b>Tempo em ralenti/100 km (h:min:s)</b>	0:11:41	0:05:12
<b>Consumo médio total (l/100 km)</b>	27,99	1,32
<b>Consumo médio em condução (l/100 km)</b>	27,43	1,23
<b>Consumo médio em ralenti (l/100 km)</b>	0,57	0,23
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> médias (g/km)</b>	736,11	35,03
<b>Peso médio (t)</b>	24,27	1,03

De seguida, a identificação e significado das variáveis quantitativas:

- **Distância de travagem/Distância total (%)** - percentagem de distância a travar com o pedal, em relação à distância total;
- **Distância de travagem sem desgaste/Distância total (%)** - percentagem de distância a travar com o motor, em relação à distância total;
- **Distância percorrida com >85,00 km/h (%)** - percentagem de distância percorrida acima de 85,00 km/h, em relação à distância total;
- **% sem acelerador (%)** - percentagem de distância percorrida sem acionar o acelerador, em relação à distância total;
- ***Cruise control*/Distância total (%)** - percentagem de distância percorrida com *Cruise control*, em relação à distância total;
- **Velocidade média (km/h)** - velocidade média registada do trajeto, em quilómetros por hora;
- **Paragens/100 km (n/100 km)** - número de vezes que as rodas do veículo pararam, em cada 100 quilómetros;

- **Tempo de condução/100 km** (h:min:s/100 km) - tempo de condução, em horas:minutos:segundos, a cada 100 quilômetros percorridos;
- **Tempo em ralenti/100 km** (h:min:s/100 km) - tempo de *ralenti*, em horas:minutos:segundos, a cada 100 km percorridos;
- **Tempo em ralenti/100 km** (h:min:s/100 km) - tempo de *ralenti*, em horas:minutos:segundos, a cada 100 km percorridos;
- **Consumo médio total** (l/100 km) - consumo de combustível, em litros, a cada 100 quilômetros percorridos;
- **Consumo médio em condução** (l/100 km) - consumo de combustível, em litros, a cada 100 quilômetros percorridos, enquanto as rodas do veículo estiverem em movimento;
- **Consumo médio em ralenti** (l/100 km) - consumo médio em *ralenti*, em litros, por cada 100 quilômetros percorridos;
- **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** (g/km) - emissões de CO<sub>2</sub>, em gramas, a cada 100 quilômetros percorridos;
- **Peso médio** (t) - peso médio do conjunto (veículo e carga), em toneladas.

### 5.3 Teste de Fisher e t-student às variáveis

Com o fim de se verificar a existência de diferenças significativas nas médias das variáveis em estudo, antes e depois da implementação do sistema *Eco-Drive*, aplicaram-se testes estatísticos.

O primeiro teste a ser aplicado foi o teste de *Fisher*, que permite testar se as variâncias são, ou não, estatisticamente iguais. Em seguida, aplicou-se o teste estatístico *t-student*, de modo a testar a diferença entre duas médias. No entanto, é preciso saber se as variâncias são iguais ou diferentes, problema que o teste preliminar de *Fisher* visa resolver.

No teste de hipóteses de *Fisher*, considerando que  $F_0$  é a estatística calculada pelo teste e  $F_{\text{crítico}}$  é o valor tabelado, se  $F_0 > F_{\text{crítico}}$ , rejeita-se a hipótese nula ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ), concluindo-se que as variâncias são estatisticamente diferentes. Para o caso de  $F_0 < F_{\text{crítico}}$ , conclui-se que as variâncias não são estatisticamente diferentes e não se rejeita a hipótese nula ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ). O teste foi realizado com um nível de significância de 5%.

Os resultados do teste de *Fisher* efetuado às variáveis estão disponíveis em tabelas em anexo (Anexo A1).

As variáveis segundo o teste de *Fisher* em que a hipótese nula não é rejeitada são: **Estilo de condução**, **Estilo de condução (consumo)**, **Desaceleração**, **% sem acelerador**, e

**Tempo de condução/100 km.** Logo, a variância destas variáveis não variou com a implementação do sistema *Eco-Drive*.

Uma vez feito o teste às variâncias, aplicou-se o teste *t-student*, com o intuito de verificar se houve alteração nas médias das variáveis em estudo. Desta forma, é possível perceber se a média das variáveis alterou, em relação ao seu valor inicial, depois do sistema *Eco-Drive* desenvolvido ter sido implementado.

No teste de hipótese *t-student*, considerando que  $T_0$  é a estatística calculada pelo teste e  $T_{\text{crítico}}$  é o valor tabelado, se  $T_0 > T_{\text{crítico}}$ , rejeita-se a hipótese nula ( $\mu_1 = \mu_2$ ), concluindo-se que as médias são estatisticamente diferentes. No caso de  $T_0 < T_{\text{crítico}}$ , não se rejeita a hipótese nula ( $\mu_1 = \mu_2$ ) e conclui-se que as médias não são estatisticamente diferentes. O teste foi realizado com um nível de significância de 5%.

Os resultados dos testes *t-student* efetuados às variáveis estão disponíveis em tabelas em anexo (Anexo A2).

O valor médio das variáveis **Desaceleração**, **Grau de dificuldade**, **Declive médio**, **Cruise control/Distância total** e **Tempo de condução/100 km** não apresentam médias estatisticamente diferentes, uma vez que não se rejeita a hipótese nula. Pode-se então afirmar que, com a implementação do sistema *Eco-Drive*, não houve variação do valor médio das variáveis descritas e, devido a esse facto, foram excluídas em cálculos futuros.

Assim, analisam-se no capítulo 5.4 as variáveis que apresentaram variação no seu valor médio, antes a após o sistema *Eco-Drive* ter sido implementado, simplificando a análise dos resultados.

#### ***5.4 Comparação de resultados após a implementação do sistema Eco-Drive.***

Com o objetivo de se estudar o efeito da implementação do sistema *Eco-Drive*, compararam-se as variáveis (qualitativas e quantitativas) cujos valores médios são significativamente diferentes, relativas às 4 semanas que antecederam a formação *Eco-Drive* facultada aos motoristas, com os valores das 4 semanas seguintes, após o sistema *Eco-Drive* ter sido implementado (tabelas 5.3 e 5.4).

Observando a tabela 5.3, a variável **Estilo de condução** aumentou 42,17%, em relação ao seu valor inicial. Este aumento é justificado pelo aumento na variável **Estilo de condução (consumo)** de 40,41% e de 49,91% na variável **Estilo de condução (travagem)**. Uma vez que a variável **Grau de dificuldade** não apresentou uma média

estatisticamente diferente nos testes *t-student*, deixou de ser considerada para efeitos de análise. Adotou-se a mesma metodologia para as variáveis qualitativas **Desaceleração** e **Declive médio**.

O aumento registado na variável **Estilo de condução preventivo** foi de 249,13%, o que demonstra que os motoristas adotaram uma condução preventiva, após a implementação do sistema *Eco-Drive*. Passaram a desacelerar mais cedo quando um obstáculo é avistado, usufruindo assim da inércia do veículo e da função *Fuel-cut* descrita no capítulo 2. Este aumento também pode ser justificado pela utilização do travão de motor de forma correta, aumentando assim o poder de travagem e reduzindo a utilização dos sistemas de travagem (disco e pastilhas).

**Tabela 5.3-Varição registada para as variáveis qualitativas, antes e depois do sistema *Eco-Drive*.**

Variáveis Qualitativas	Média (valores)		Variação (%)
	Semanas		
	1-4	5-8	
<b>Estilo de condução</b>	<b>6,07</b>	<b>8,63</b>	<b>42,17</b>
<b>Estilo de condução (consumo)</b>	<b>5,89</b>	<b>8,27</b>	<b>40,41</b>
Estilo de condução preventivo	2,30	8,03	249,13
Movimentos de acelerador	4,33	7,15	65,13
Ralenti	6,00	6,66	11,00
Operação caixa de velocidades	9,21	9,34	1,41
Velocidade constante	6,85	7,70	12,41
<b>Estilo de condução (travagem)</b>	<b>5,71</b>	<b>8,56</b>	<b>49,91</b>
Estilo de condução preventivo	2,30	8,03	249,13
Paragens	5,96	5,26	-11,74
Peso médio	4,69	4,95	5,54

O valor da variável qualitativa **Movimentos de acelerador** aumentou em 65,13%, após a implementação do sistema *Eco-Drive*. Este aumento é explicado pela formação dada aos motoristas para fazerem arranques mais suaves, conduzirem com acelerações menos bruscas, principalmente nas mudanças com menor relação de caixa de velocidades, e ainda para manterem o pedal de acelerador o mais constante possível e sem flutuações. Em sequência desta prática, a caixa de velocidades automática troca a relação de caixa mais cedo.

A qualidade da variável **Ralenti** aumentou 11,00%, revelando que haviam práticas de *ralenti* desnecessárias, antes da formação ter sido dada, e ainda uma inibição destas práticas após o sistema *Eco-Drive* ter sido implementado.

Após a formação, os motoristas mostraram capacidade de operar melhor a caixa de velocidades automática e, conseqüentemente, o valor obtido na variável **Operação caixa de velocidades** aumentou 1,41%. As melhorias que se verificaram podem ser explicadas pelo facto de a caixa permitir intervenção do motorista em modo automático. Os motoristas, aquando da formação, receberam instruções para proceder a reduções durante a aplicação do travão de motor e a “ajudar” a caixa de velocidades aquando de rotações excessivas, já que o robô da caixa de velocidades, por vezes, apresentava dificuldades em escolher a relação de caixa adequada ao trajeto.

O aumento do valor para a variável **Velocidade constante** em 12,41% deve-se ao facto de, na formação fornecida, o condutor ser instruído para tentar manter a velocidade do veículo o mais constante possível, em vez de proceder a picos de velocidade elevados e, conseqüentemente, a uma maior variação desta.

Considerou-se que a variável qualitativa **Paragens** não é controlada pelo comportamento do motorista. Contudo, regista-se um decréscimo de 11,74% no valor desta variável.

Em relação à variável qualitativa **Peso médio**, regista-se um aumento de 5,54%, o que traduz um aumento do peso transportado pelos veículos, o mesmo pode ser confirmado pelo aumento de 3,19% da variável quantitativa **Peso médio** (tabelas 5.3 e 5.4).

**Tabela 5.4-Variação registada para as variáveis quantitativas, antes e depois do sistema *Eco-Drive*.**

Variáveis Quantitativas	Média		Variação (%)
	Semanas		
	1-4	5-8	
<b>Distância de travagem/Distância total (%)</b>	7,26	2,29	-68,46
<b>Distância de travagem sem desgaste/Distância total (%)</b>	8,35	11,64	39,40
<b>Distância percorrida com &gt;85,00 km/h (%)</b>	12,57	7,08	-43,68
<b>% sem acelerador (%)</b>	39,61	45,25	12,46
<b>Velocidade média (km/h)</b>	50,28	48,31	-3,92
<b>Paragens/100 km (n/100 km)</b>	44,92	36,74	-18,22
<b>Tempo em ralenti/100 km (h:min:s)</b>	00:24:08	00:11:41	-51,56
<b>Consumo médio total (l/100 km)</b>	34,19	27,99	-18,11
<b>Consumo médio em condução (l/100 km)</b>	32,99	27,43	-16,85
<b>Consumo médio em ralenti (l/100 km)</b>	1,20	0,57	-52,50
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> médias (g/km)</b>	899,00	736,11	-18,22
<b>Peso médio (t)</b>	23,52	24,27	3,19

Na tabela 5.4, observa-se que a variável **Distância de travagem/Distância total** diminuiu 68,46%, uma vez que os motoristas foram instruídos para utilizarem com maior

regularidade o travão de motor, em vez do travão de pedal (travagem com desgaste), o que provocou um aumento da variável **Distância de travagem sem desgaste/Distância total** em 39,40%.

A variável **Distância percorrida com >85,00 km/h** diminuiu 43,68%, em relação ao seu valor inicial, o que demonstra que os motoristas, após a implementação do sistema *Eco-Drive*, reduziram a percentagem de velocidade acima dos 85,00 km/h, minimizando assim potenciais perdas de eficiência devido ao arrasto aerodinâmico.

Após a implementação do sistema *Eco-Drive*, os motoristas aumentaram a distância em *Eco-roll*, o que provocou um aumento de 12,46% na variável **% sem acelerador**. O valor desta variável também pode ter sido influenciado pela instrução dada de levantar o pé do acelerador quando avistassem um obstáculo, de modo a usarem a inércia do veículo e a função *Fuel-cut*, percorrendo uma maior distância sem necessidade de pressionar o acelerador.

A variável **Velocidade média** diminuiu 3,92% após a implementação do sistema *Eco-Drive*. No entanto, este decréscimo não foi suficiente para provocar uma alteração na variável **Tempo de condução/100 km**, uma vez que esta variável não apresentou diferenças estatisticamente diferentes no seu valor médio, antes e depois da implementação do sistema *Eco-Drive*.

Considerou-se que a variável **Paragens/100 km** não é controlada pelo comportamento do motorista. Contudo, regista-se um decréscimo de 18,22% no número de paragens efetuadas, a cada 100 quilómetros.

Após a implementação do sistema *Eco-Drive*, registou-se um decréscimo de 51,56% na variável **Tempo em ralenti/100 km**, o que confirma as más práticas de *ralenti* referidas na análise preliminar do caso de estudo, no subcapítulo 4.2.1. Justifica ainda o decréscimo do valor da variável **Consumo médio em ralenti** em 52,50%.

A variável **Consumo médio total** reduziu o seu valor na ordem dos 18,11%, em relação ao seu valor antes da implementação do sistema *Eco-Drive*. O mesmo aconteceu nas **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** em 18,22%. Já a variável quantitativa **Peso médio** aumentou 3,19%.

## ***5.5 Regressão linear múltipla***

A alteração dos valores das variáveis em estudo provocou a redução do **Consumo médio total** de combustível. No entanto, não se sabe qual variável, ou quais variáveis,

contribuíram mais para tal efeito. Com o intuito de as identificar, aplicou-se o modelo de regressão linear múltipla considerando apenas as variáveis que registaram alteração do seu valor médio.

Retiraram-se ainda outras variáveis que apresentavam um elevado nível de correlação com as já consideradas anteriormente, sendo elas: **Tempo em ralenti/100 km**, uma vez que temos a variável **Consumo médio em ralenti**; o **Consumo médio em condução**, já que a variável **Consumo médio total** está disponível e contabiliza o valor das variáveis **Consumo médio em condução** e **Consumo médio em ralenti**; e ainda se retirou a variável **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, uma vez que depende da quantidade de combustível consumido.

As variáveis qualitativas **Estilo de condução preventivo**, **Ralenti**, **Paragens** e **Peso médio** também não foram consideradas, uma vez que existem variáveis quantitativas que fornecem informação sobre estas práticas, sendo elas: **Distância de travagem sem desgaste/Distância total**, **Consumo médio em ralenti**, **Paragens/100 km** e **Peso médio**, respetivamente.

Ao remover estas variáveis do estudo de regressão linear múltipla, reduz-se a probabilidade do efeito de multicolinearidade. O efeito de multicolinearidade acontece quando as variáveis independentes estão fortemente correlacionadas entre si, podendo influenciar o resultado final da regressão (Maroco, 2007).

Na regressão linear múltipla, evitou considerar-se as variáveis qualitativas. No entanto, consideraram-se 3 variáveis com este atributo, imprescindíveis para o estudo do **Consumo médio total** de combustível. São elas: **Movimentos de acelerador**, já que o acelerador está relacionado com a quantidade de combustível que é inserida dentro dos cilindros; **Operação caixa de velocidades**, uma vez que é um parâmetro que contribui bastante para o consumo de combustível; e ainda a variável **Velocidade constante**, dado que a pesquisa bibliográfica realizada indica que uma alteração da velocidade implica uma alteração da aceleração, e isto implica alterações no consumo de combustível.

A regressão linear associa a variação do declive da variável dependente, mediante a variação do declive das variáveis independentes em estudo. E caso se verifique que existe uma relação, permite identificar se a causa-efeito é positiva ou negativa. O grau de associação ou grau de causa-efeito é devolvido pelo valor de  $r^2$  ajustado (coeficiente de determinação ajustado), obtido na estatística de regressão. Quanto mais alto for o valor de  $r^2$  ajustado, maior será o grau de causa-efeito entre as variáveis (Elizabeth, 2012) e, conseqüentemente, melhor será o ajustamento entre as variáveis independentes e a variável dependente.

Foram assim consideradas 11 variáveis independentes nomeadamente:

- **Movimentos de acelerador;**
- **Operação caixa de velocidades;**
- **Velocidade constante;**
- **Distância de travagem/Distância total;**
- **Distância de travagem sem desgaste/Distância total;**
- **Distância percorrida com >85,00 km/h;**
- **% sem acelerador;**
- **Velocidade média;**
- **Paragens/100 km;**
- **Consumo médio em ralenti;**
- **Peso médio** (variável quantitativa).

Os valores das variáveis independentes foram recolhidos durante as 8 semanas de observação e inseridos no programa SPSS. No modelo de regressão linear múltipla estas variáveis independentes, são as potenciais variáveis explicativas da variável **Consumo médio total**.

Para se aplicar o modelo de regressão linear múltipla, existem pressupostos a ser cumpridos:

i) *Os erros ou resíduos têm de ser normalmente distribuídos* (Maroco, 2007). Para tal, construiu-se um gráfico de probabilidade normal (figura 5.1).

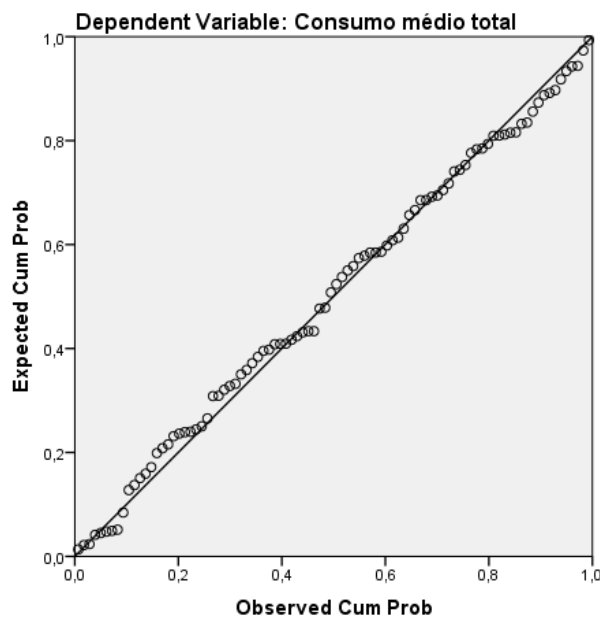


Figura 5.1-Gráfico de probabilidade normal dos erros, ou resíduos.



Na figura 5.1, o eixo das abcissas representa a probabilidade observada acumulada dos erros, ou resíduos, e o eixo das ordenadas representa a probabilidade acumulada, se os erros apresentarem uma distribuição normal.

Se os erros seguirem uma distribuição normal, então os valores desse mesmo gráfico devem distribuir-se ao longo da diagonal principal. Ao observar a figura 5.1, os erros, ou resíduos, encontram-se distribuídos ao longo da diagonal principal. Assim, os erros, ou resíduos, são normalmente distribuídos (Maroco, 2007). O histograma na figura 5.2 também suporta o que foi referido, mostrando que os erros, ou resíduos, seguem uma distribuição normal.

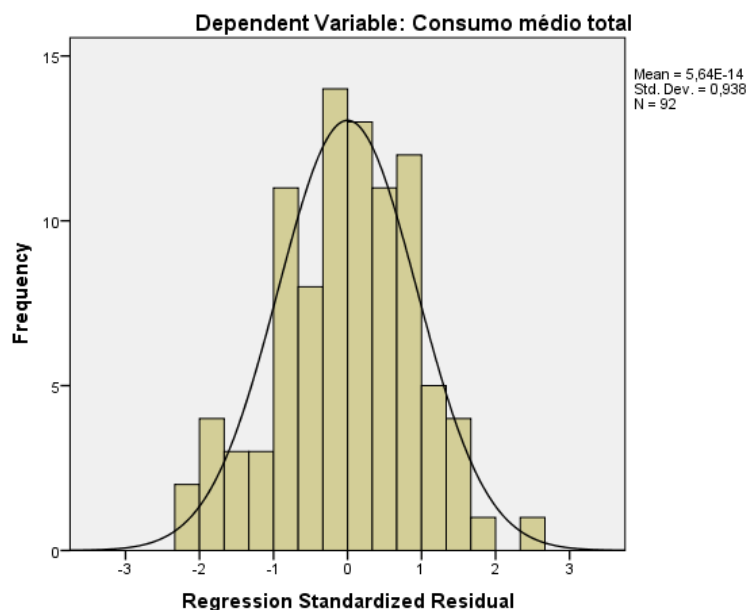


Figura 5.2-Distribuição normal dos erros, ou resíduos.

ii) **Os erros ou resíduos têm de ser independentes.** Para tal, efetuou-se o teste de *Durbin-Watson*, que testa se existe dependência entre os resíduos. Os valores de *Durbin-Watson* situam-se entre 0,00 e 4,00. Regra geral, para valores superiores a 2,00 existe dependência negativa e, para valores menores que 2,00 existe dependência positiva. Se os valores de *Durbin-Watson* se situarem em torno de 2,00 ( $\pm 0,20$ ), não existe dependência (Maroco, 2007).

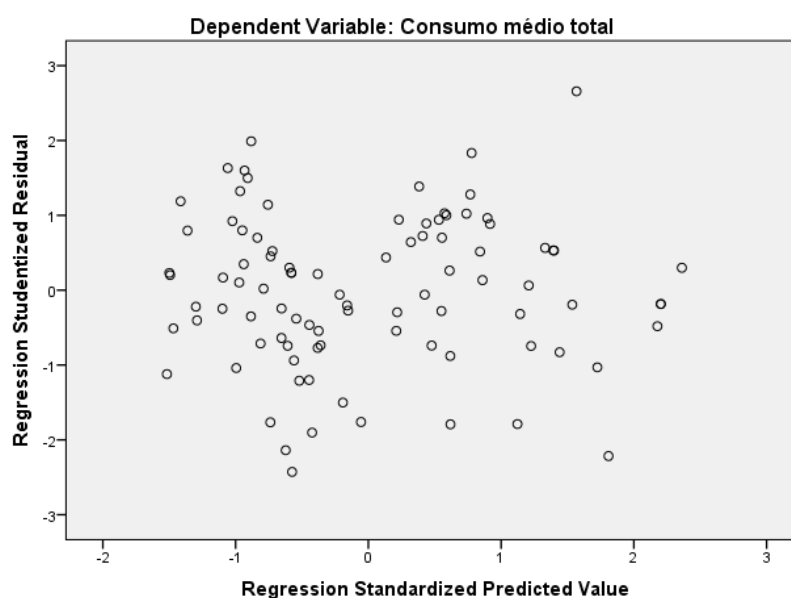
A tabela 5.5 mostra o resultado de *Durbin-Watson* obtido através do programa SPSS. Como se pode observar, o valor obtido de *Durbin-Watson* foi de 1,91, encontrando-se dentro do intervalo estipulado ( $2,00 \pm 0,20$ ), concluindo-se então que os erros são independentes.

**Tabela 5.5-Estatística de *Durbin-Watson* para o pressuposto da independência dos resíduos.**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	<i>Durbin-Watson</i>
1	0,98	0,97	0,96	0,74	1,91

iii) *Os erros ou resíduos têm de ser homogêneos.* Este pressuposto pode confirmar-se graficamente, pela posição que os resíduos, ou erros, apresentam. Os resíduos, ou erros, devem estar distribuídos de forma aleatória, em torno do valor 0. (Maroco, 2007).

A figura 5.3 mostra a disposição dos erros, ou resíduos, indicando que estes são homogêneos.



**Figura 5.3-Gráfico com a dispersão dos erros, ou resíduos.**

iv) *Existência de outliers nos erros, ou resíduos.* Este pressuposto pode ser verificado através de uma tabela de estatística de resíduos. A tabela 5.6 é um excerto da tabela de estatística de resíduos obtida através do programa SPSS.

**Tabela 5.6-Estatística de resíduos: Valor Centrado de Influência, distância de *Cook* e distância de *Mahalanobis*.**

Estatística de Resíduos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	n
Valor Centrado de Influência	0,03	0,30	0,12	0,05	96
Distância de <i>Cook</i>	0,00	0,10	0,01	0,02	96
Distância de <i>Mahalanobis</i>	2,33	28,73	10,89	4,65	96

Nesta tabela encontram-se o Valor Centrado de Influência (*Centered Leverage Value*), a distância de *Cook* (*Cook's distance*) e a distância de *Mahalanobis* (*Mahalanobis*

*distance*) - métricas mais comuns para a análise de *outliers*, na ferramenta informática SPSS.

Para o Valor Centrado de Influência, o limite acima do qual se classificam observações como *outliers* é dado pela fórmula  $3x(p/n)$ , em que  $p$  é o número de variáveis independentes e  $n$  o número de observações (Maroco, 2007). Neste caso de estudo, o Valor Centrado de Influência é aproximadamente 0,34. Observando a tabela 5.6, o Valor Centrado de Influência máximo é 0,30 o que sugere que não existe nenhum valor *outlier* na base de dados.

Outra forma de confirmar se existem *outliers* será observar o valor da distância de *Cook*. Regra geral, consideram-se *outliers* os valores que apresentem uma distância superior a 1,00 (Maroco, 2007). Na tabela 5.6 não se observa nenhum valor máximo de distância de *Cook* superior a 1,00 indicando a inexistência de valores *outliers*.

Existe ainda outra estatística que permite verificar a existência de *outliers*. Essa estatística é conhecida por distância de *Mahalanobis*. O valor máximo admissível para a distância de *Mahalanobis* é dada pela distribuição de  $X^2$ . Para  $\alpha = 0,05$  e número de graus de liberdade igual a 11 (número de variáveis independentes), o valor crítico é 19,86. Ao observar a tabela 5.6, o valor máximo da distância de *Mahalanobis* é 28,73, indicando uma probabilidade de existência de *outliers*.

Para eliminar a existência de *outliers*, aplicou-se uma restrição na distância de *Mahalanobis*, cujo limite máximo é menor ou igual a 19,86 - correspondente ao valor crítico calculado para a distância de *Mahalanobis*. Os resultados estão disponíveis na tabela 5.7.

**Tabela 5.7-Estatística de resíduos, ou erros, após a restrição aplicada na distância de *Mahalanobis*.**

Estatística de Resíduos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	n
Valor Centrado de Influência	0,03	0,21	0,13	0,04	87
Distância de <i>Cook</i>	0,00	0,12	0,01	0,02	87
Distância de <i>Mahalanobis</i>	2,42	18,03	10,87	3,71	87

Observando a tabela 5.7, verifica-se que a distância máxima de *Mahalanobis* é 18,03, sendo inferior ao limite máximo de 19,86, e verifica-se também que a distância de *Cook* é inferior a 1,00. Uma vez que se removeu os casos de *outliers*, alterou-se o número de observações, logo foi necessário calcular de novo o valor crítico do Valor Centrado de Influência. O valor crítico obtido foi de 0,39, cumprindo-se assim os pressupostos da não existência de *outliers*.

v) **Existência de multicolinearidade entre as variáveis independentes**. Para se detetar a existência de multicolinearidade, analisam-se os valores do Fator de Inflação da Variância, conhecido no SPSS por VIF (*Value Inflation Fator*). Valores de VIF superiores a 10,00 indicam uma probabilidade de multicolinearidade. Para resolver este problema, retiram-se as variáveis que apresentarem valores de VIF maiores do que 10,00 (Maroco, 2007).

Uma vez que o SPSS é um programa que não permite a inserção de certos caracteres no nome das variáveis, converteu-se o nome destas para letras. A tabela 5.8 estabelece a relação entre o nome da variável em estudo e a letra correspondente.

**Tabela 5.8-Correspondência do nome da variável em estudo a uma letra no programa SPSS.**

Variável	Letra
<b>Distância percorrida com &gt;85,00 km/h (%)</b>	A
<b>% sem acelerador (%)</b>	B
<b>Velocidade média (km/h)</b>	C
<b>Peso médio (t)</b>	D
<b>Distância de travagem/Distância total (%)</b>	E
<b>Distância de travagem sem desgaste/Distância total (%)</b>	F
<b>Paragens/100 km (n/100 km)</b>	G
<b>Consumo médio em ralenti (l/100 km)</b>	H
<b>Movimentos de acelerador</b>	I
<b>Operação caixa de velocidades</b>	J
<b>Velocidade constante</b>	K

Para se cumprir o pressuposto de multicolinearidade, o valor de VIF não deve ser superior a 10,00. Na tabela 5.9 é possível observar que a variável E (**Distância de travagem/Distância total**) apresenta um valor de VIF acima de 10,00. Assim, retirou-se esta variável e iniciou-se de novo o processo de regressão linear múltipla.

A tabela 5.10 resume os resultados do diagnóstico de multicolinearidade após ter sido removida a variável E (**Distância de travagem/Distância total**). Como se pode observar, mais nenhuma variável apresenta valores de VIF acima de 10,00.

Uma vez os pressupostos cumpridos para o valor VIF, pode iniciar-se a análise do valor de *P* (*P value*). No processo de regressão linear múltipla, se o valor *P* (conhecido no SPSS por *Sig*) de uma variável for maior ou igual a 0,05, rejeita-se essa mesma variável e prossegue-se para um novo processo de regressão linear múltipla.

Analisando a tabela 5.10, a variável C (**Velocidade média**) apresenta um valor de *Sig* maior que 0,05, assim como a variável F (**Distância de travagem sem**

**desgaste/Distância total)** e a variável G (**Paragens/100 km**) que constitui uma condição de rejeição de uma variável no modelo de regressão linear múltipla. Assim, retiraram-se estas variáveis e repetiu-se o modelo de regressão linear múltipla.

**Tabela 5.9-Diagnóstico de multicolinearidade (valor de VIF).**

Variáveis	Intervalo de confiança a 95 %		Estatística de Colinearidade	
	Limite Inferior	Limite Superior	Tolerância	VIF
Constante	46,34	106,75	0,00	0,00
A	0,04	0,11	0,37	2,71
B	-0,12	-0,03	0,48	2,07
C	-0,21	-0,02	0,25	3,96
D	0,16	0,52	0,77	1,31
<b>E</b>	0,34	0,74	<b>0,07</b>	<b>14,58</b>
F	0,07	0,21	0,27	3,75
G	-0,03	0,03	0,37	2,70
H	0,59	1,91	0,21	4,86
I	-0,97	-0,56	0,15	6,91
J	-8,62	-1,82	0,27	3,66
K	-0,25	0,88	0,15	6,50

**Tabela 5.10-Valores de Sig (Valor P) e valores VIF.**

Variáveis	Sig (Valor P)	Intervalo de confiança a 95 %		Estatística de Colinearidade	
		Limite Inferior	Limite Superior	Tolerância	VIF
Constante	0,00	46,20	116,79	0,00	0,00
A	0,00	0,04	0,12	0,37	2,71
B	0,00	-0,18	-0,09	0,65	1,54
<b>C</b>	<b>0,65</b>	-0,13	0,08	0,29	3,49
D	0,02	0,03	0,45	0,80	1,25
<b>F</b>	<b>0,40</b>	-0,04	0,10	0,40	2,51
<b>G</b>	<b>0,41</b>	-0,02	0,05	0,39	2,57
H	0,00	0,98	2,46	0,22	4,52
I	0,00	-1,22	-0,78	0,18	5,65
J	0,03	-8,54	-0,60	0,27	3,65
K	0,04	-1,11	-0,04	0,23	4,31

A tabela 5.11 resume os resultados de Sig (*P value*) e VIF após as variáveis C, F e G terem sido removidas. Como se pode observar, nenhuma variável apresenta um valor de VIF superior a 10,00 e nenhuma variável apresenta um valor de Sig (*P value*) maior do que 0,05.

**Tabela 5.11-Valores de Sig (Valor P) e VIF, após remoção das variáveis C, F e G.**

Variáveis	Sig (Valor P)	Intervalo de confiança a 95 %		Estatística de Colinearidade	
		Limite Inferior	Limite Superior	Tolerância	VIF
Constante	0,00	43,22	108,07	0,00	0,00
A	0,00	0,04	0,10	0,49	2,04
B	0,00	-0,17	-0,09	0,76	1,31
D	0,01	0,07	0,47	0,86	1,17
H	0,00	0,96	2,19	0,32	3,11
I	0,00	-1,21	-0,81	0,20	4,90
J	0,04	-7,56	-0,23	0,32	3,09
K	0,00	-1,27	-0,30	0,30	3,45

A tabela 5.12 mostra o valor obtido de  $r^2$  ajustado de 0,94, o que significa que as variáveis A (**Distância percorrida com >85,00 km/h**), B (**% sem acelerador**), D (**Peso médio**), H (**Consumo médio em ralenti**), I (**Movimentos de acelerador**), J (**Operação caixa de velocidades**) e K (**Velocidade constante**), presentes na tabela 5.11 explicam em 94,00% a variável **Consumo médio total**.

**Tabela 5.12-Valores de  $r^2$  ajustado, Desvio padrão e Durbin-Watson, do modelo de regressão linear múltipla.**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	Durbin-Watson
1	0,97	0,95	0,94	0,88	1,88

Com o objetivo de aumentar a sensibilidade do modelo, procuraram-se as variáveis que apresentaram um valor de VIF mais elevado na tabela 5.10. As variáveis H (**Consumo médio em ralenti**), I (**Movimentos de acelerador**) e K (**Velocidade constante**) apresentam os 3 valores de VIF mais elevados. Removeram-se então estas variáveis, uma a uma, e observaram-se as alterações no valor de  $r^2$  ajustado, diminuindo assim a probabilidade do efeito de multicolinearidade.

A tabela 5.13 resume o resultado obtido para o valor de  $r^2$  ajustado quando a variável H (**Consumo médio em ralenti**) é removida. A tabela 5.14 resume o resultado obtido para o valor de  $r^2$  ajustado quando a variável K (**Velocidade constante**) é removida, e a tabela 5.15, o mesmo resultado, mas quando se remove a variável I (**Movimentos de acelerador**).

**Tabela 5.13-Valores de  $r^2$  ajustado, Desvio padrão e Durbin-Watson, quando a variável H (Consumo médio em ralenti) é removida.**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	Durbin-Watson
1	0,97	0,93	0,93	1,00	2,12

**Tabela 5.14-Valores de  $r^2$  ajustado, Desvio padrão e Durbin-Watson, quando a variável K (Velocidade constante) é removida.**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	Durbin-Watson
1	0,97	0,94	0,94	0,93	1,93

**Tabela 5.15-Valores de  $r^2$  ajustado, Desvio padrão e Durbin-Watson, quando a variável I (Movimentos de acelerador) é removida.**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	Durbin-Watson
1	0,94	0,88	0,88	1,31	1,83

Como se pode observar nas tabelas 5.13 e 5.14, quando as variáveis H (**Consumo médio em ralenti**) e K (**Velocidade constante**) são removidas, o valor de  $r^2$  ajustado diminui de 94,00% para 93,00%, no caso da variável H, e no caso da variável K não existe alteração neste valor. Isto significa que, ao remover estas variáveis, o poder explicativo do modelo altera-se pouco.

Contudo, quando se remove a variável I (**Movimentos de acelerador**), o valor de  $r^2$  ajustado diminui de 94,00% para 88,00% (tabela 5.15), demonstrando que esta variável tem uma maior influência na variável dependente **Consumo médio total**, em relação às variáveis H e K.

Deste modo, removeram-se as variáveis H (**Consumo médio em ralenti**) e K (**Velocidade constante**) do modelo de regressão linear e manteve-se a variável I (**Movimentos de acelerador**) (tabela 5.16).

**Tabela 5.16-Valores de Sig (Valor P) e VIF, após remoção das variáveis H e K.**

Variáveis	Sig (Valor P)	Intervalo de confiança a 95 %		Estatística de Colinearidade	
		Limite Inferior	Limite Superior	Tolerância	VIF
Constante	0,00	20,13	92,70	0,00	0,00
A	0,00	0,04	0,10	0,80	1,25
B	0,00	-0,21	-0,11	0,79	1,26
<b>D</b>	<b>0,06</b>	-0,01	0,49	0,91	1,10
I	0,00	-1,74	-1,40	0,49	2,05
<b>J</b>	<b>0,39</b>	-5,70	2,25	0,45	2,21

A tabela 5.16 resume os resultados de Sig (*P value*) e VIF, após as variáveis H e K terem sido removidas. As variáveis J (**Operação caixa de velocidades**) e D (**Peso médio - variável quantitativa**) apresentam um valor de SIG maior do que 0,05. Removeram-se então as variáveis J e D e iniciou-se outro processo de regressão linear múltipla.

A tabela 5.17 resume os resultados obtidos após as variáveis D e J terem sido removidas do modelo de regressão linear múltipla. Como se pode observar, nenhuma variável apresenta valor de VIF maior do que 10,00 nem valores de Sig (*P value*) maiores do que 0,05.

**Tabela 5.17-Valores de Sig (Valor P) e VIF, após remoção das variáveis D e J.**

Variáveis	Sig (Valor P)	Intervalo de confiança a 95 %		Estatística de Colinearidade	
		Limite Inferior	Limite Superior	Tolerância	VIF
Constante	0,00	43,84	48,64	0,00	0,00
A	0,00	0,04	0,11	0,85	1,17
B	0,00	-0,21	-0,11	0,85	1,17
I	0,00	-1,70	-1,47	0,99	1,00

A tabela 5.18 mostra os coeficientes das variáveis: A (**Distância percorrida com >85,00 km/h**), B (**% sem acelerador**) e I (**Movimentos de acelerador**), após o modelo de regressão linear estar concluído.

Como o valor (bruto) do coeficiente da variável A (**Distância percorrida com >85,00 km/h**) é mais pequeno, em relação às variáveis B (**% sem acelerador**) e I (**Movimentos de acelerador**), removeu-se esta variável (A), com o intuito de se estudar que alteração provoca no valor de  $r^2$  ajustado.

**Tabela 5.18-Coeficiente e Desvio padrão das variáveis A (Distância percorrida com >85,00 km/h), B (% sem acelerador) e I (Movimentos de acelerador).**

Variáveis	Coeficientes não padronizados	
	Coeficiente	Desvio Padrão
Constante	46,24	1,21
A	0,07	0,02
B	-0,16	0,03
I	-1,59	0,06

Antes de se remover a variável A, o valor de  $r^2$  ajustado foi aproximadamente 91,00% (tabela 5.19). No entanto, após a remoção desta variável, o valor de  $r^2$  ajustado obtido foi de aproximadamente 88,00% (tabela 5.20). Ao remover esta variável não houve uma grande redução do poder explicativo do modelo ( $r^2$  ajustado).

**Tabela 5.19-Valor de  $r^2$  ajustado obtido, antes de se remover a variável A (Distância percorrida com >85,00 km/h).**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	Durbin-Watson
1	0,95	0,91	0,91	1,14	2,26



**Tabela 5.20-Valor de  $r^2$  ajustado obtido, após remoção da variável A (Distância percorrida com >85,00 km/h).**

Modelo	$r$	$r^2$	$r^2$ ajustado	Desvio Padrão	Durbin-Watson
1	0,94	0,89	0,88	1,26	2,19

Pode então afirmar-se que a variável dependente **Consumo médio total** nas condições em que este estudo decorreu (geografia, topologia de estrada e tipo de veículo, entre outras) é explicada em 88,00% pela variação das variáveis independentes: **% sem acelerador** e **Movimentos de acelerador**.

A tabela 5.21 mostra os coeficientes obtidos para as variáveis B (**% sem acelerador**) e I (**Movimentos de acelerador**), após o modelo de regressão linear estar concluído.

**Tabela 5.21-Coeficientes para as variáveis B (% sem acelerador) e I (Movimentos de acelerador), após o modelo de regressão linear múltipla ter sido concluído.**

Variáveis	Coeficientes não padronizados	
	Coeficiente	Desvio Padrão
Constante	48,84	1,16
B	-0,20	0,03
I	-1,60	0,07

Dados estes factos, pode escrever-se a equação (2):

$$y = 48,84 - 0,20b - 1,60i \quad (2)$$

Em que  $y$  é o **Consumo médio total**,  $b$  representa a variável quantitativa **% sem acelerador** e  $i$  a variável quantitativa **Movimentos de acelerador**; 48,84 corresponde ao valor da ordenada na origem, -0,20 ao coeficiente de  $b$  (**% sem acelerador**) e -1,60 ao coeficiente de  $i$  (**Movimentos de acelerador**).

## **5.6 Análise ao consumo de combustível e travagem**

A implementação de um sistema *Eco-Drive* visa a redução do consumo de combustível. A análise efetuada neste capítulo tenta responder à questão de quantos litros de combustível foi possível reduzir após a implementação do sistema *Eco-Drive*.

Antes de se implementar o sistema *Eco-Drive*, a média de consumo dos veículos era de 34,19 l/100 km percorridos. Após a implementação do sistema, a média do consumo, por cada 100 km percorridos, desceu para, aproximadamente, 28,00 l (18,11%).

Sabendo que foram percorridos 37 122,90 km, entre as semanas 5 (inclusive) e 8, após a implementação do sistema *Eco-Drive*, pode calcular-se a diferença de litros que se evitou consumir.

Se as viaturas, antes da implementação do sistema *Eco-Drive*, gastavam, em média, 34,19 l/100 km, então, para se percorrer 37 122,90 km, o número de litros consumidos seria aproximadamente de 12 692,32 l de combustível. Todavia, sabe-se que estes 37 122,90 km foram percorridos com um consumo médio de aproximadamente 28,00 l/100 km, logo foram consumidos aproximadamente 10 394,41 l de combustível.

O número de litros que se pouparam com o sistema *Eco-Drive* implementado foi de aproximadamente 2 297,91 l, ou seja, menos 229,80 l por veículo, no espaço de tempo de um mês.

Fazendo a projeção deste valor para 12 meses, o sistema *Eco-Drive* implementado, poderá trazer uma redução de aproximadamente 27 574,92 l, em apenas 10 veículos, caso as condições do sistema se mantivessem semelhantes.

Embora não se consiga fazer uma análise financeira sobre a utilização do sistema de travagem convencional (discos e pastilhas), tornou-se relevante estudar o potencial impacto que o *Eco-Drive* poderá trazer na poupança deste sistema de travagem, uma vez que se tenta substituir a distância de travagem com desgaste, por distância de travagem sem desgaste.

Antes do sistema *Eco-Drive* ter sido implementado, a variável **Distância de travagem/Distância total** apresentava um valor de 7,26%. Depois da implementação do sistema *Eco-Drive*, o valor da variável diminuiu para 2,29%.

Isto significa que, nas primeiras 4 semanas de estudo do sistema, foram percorridos 45 403,30 km, em que a taxa de utilização do sistema de travagem (7,26%) representa, aproximadamente, 3 296,30 km a utilizar o sistema de travagem (pastilhas e discos). Se estes quilómetros tivessem sido percorridos após o sistema *Eco-Drive* estar implementado, então a taxa de utilização de travagem seria apenas de 2,29%, o que corresponderia a aproximadamente 1 039,74 km, em que o sistema de travagem (pastilhas e discos) seria utilizado. Ou seja, com o sistema *Eco-Drive*, o sistema de travagem sofre um desgaste menor, já que a diferença do número de quilómetros que se evitaria travar são sensivelmente 2 256,56 km.

## **5.7 Balanço de CO<sub>2</sub>**

A vantagem de um sistema *Eco-Drive* não reside apenas no que se pode poupar em consumo de combustível, mas também nos benefícios que pode trazer para o ambiente.

O número de gramas de CO<sub>2</sub> emitidas que o sistema apresentava, antes da implementação do *Eco-Drive*, era de aproximadamente 899,00 g/km. Após a implementação do sistema *Eco-Drive*, o número de gramas CO<sub>2</sub> emitidas decresceu para aproximadamente 736,00 g/km, registando-se assim uma diminuição de 163,00 g (18,22%) de emissões de CO<sub>2</sub>, por cada quilómetro percorrido.

Após a implementação do sistema *Eco-Drive*, foram percorridos 37 122,90 km. Se estes 37 122,90 km fossem percorridos antes do sistema *Eco-Drive* ter sido implementado, o número quilogramas de CO<sub>2</sub> emitidos seria aproximadamente 33 373,49 kg.

No entanto, após a implementação do sistema *Eco-Drive*, o grupo de 10 viaturas apresentou um decréscimo das suas emissões, e, na realidade, as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a estes 37 122,90 km percorridos são aproximadamente de 27 322,45 kg.

As 10 viaturas emitiram menos 6 051,04 kg de CO<sub>2</sub>, num espaço de 4 semanas.

Se as condições do sistema fossem semelhantes, num espaço de 12 meses, a redução seria aproximadamente de 72 612,48 kg de CO<sub>2</sub>, o que é superior ao peso da tara dos 10 tratores em estudo (equivalente a aproximadamente 66 000 kg).

## **5.8 Análise do sistema *Eco-Drive* implementado durante 5 meses**

Aplicar todas as regras de condução *Eco-Drive* pode trazer dificuldades para o condutor, uma vez que, evitar *ralenti*, observar o trânsito, desacelerar no tempo certo, não ultrapassar frequentemente, carregar no pedal de acelerador com menos pressão, manter velocidades constantes, entre outras enunciadas neste documento, podem ser difíceis de aplicar ao mesmo tempo.

Alguns motoristas referem que aplicar todas estas funções simultaneamente pode ser particularmente difícil. Outros estudos defendem ainda que os motoristas não tentam uma *performance* na medida do melhor para a situação escolhida, mas apenas a que consideram suficiente (Barth & Boriboonsomsin, 2009; Dogan, *et al.* 2011).

Por estas razões, e para certificar que o sistema *Eco-Drive* implementado consegue trazer benefícios e manter os seus resultados a médio prazo, testou-se o sistema durante 5 meses.

Este teste incidu apenas sobre as variáveis quantitativas de maior interesse, sendo elas o **Consumo médio total** e as respetivas **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**.

O tempo de observação corresponde aos meses de Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, de 2014.

A tabela 5.22 apresenta os valores obtidos para as variáveis **Consumo médio total** e as respetivas **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, durante os 5 meses de observação.

**Tabela 5.22-Valores das variáveis Consumo médio total e Emissões de CO<sub>2</sub> médias, 5 meses após a implementação do sistema *Eco-Drive*.**

Mês	Consumo médio total (l/100km)	Emissões de CO <sub>2</sub> médias (g/km)	Desvio padrão (l/100km)
Agosto	28,35	745,62	0,46
Setembro	27,98	735,97	0,09
Outubro	27,45	721,95	-0,44
Novembro	27,65	727,19	-0,24
Dezembro	28,04	737,35	0,14
Média	<b>27,89</b>	<b>733,62</b>	<b>0,28</b>

Como se pode observar, os valores do **Consumo médio total** apresentam um valor médio de 27,89 l/100 km. Durante os 5 meses de observação, regista-se o valor mínimo de 27,45 l/100 km, em Outubro, e o valor máximo de 28,35 l/100 km, registado no mês de Agosto.

Ao estabelecer uma comparação entre a média de consumo de combustível obtida nos 5 meses após a implementação *Eco-Drive* (27,89 l/100km), e a média de combustível obtida nas 4 semanas após a formação *Eco-Drive* (28,00 l/100 km), existe uma diferença de menos 0,11 l/100 km.

Em relação à variável quantitativa **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, o sistema *Eco-Drive* ao longo de 5 meses apresentou um valor médio de 733,63 g/km que, quando comparado com os resultados obtidos nas 4 semanas após a implementação do *Eco-Drive*, regista uma diferença de menos 2,49 g/km.

A figura 5.4 permite observar a evolução do **Consumo médio total** e das **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, ao longo deste período.

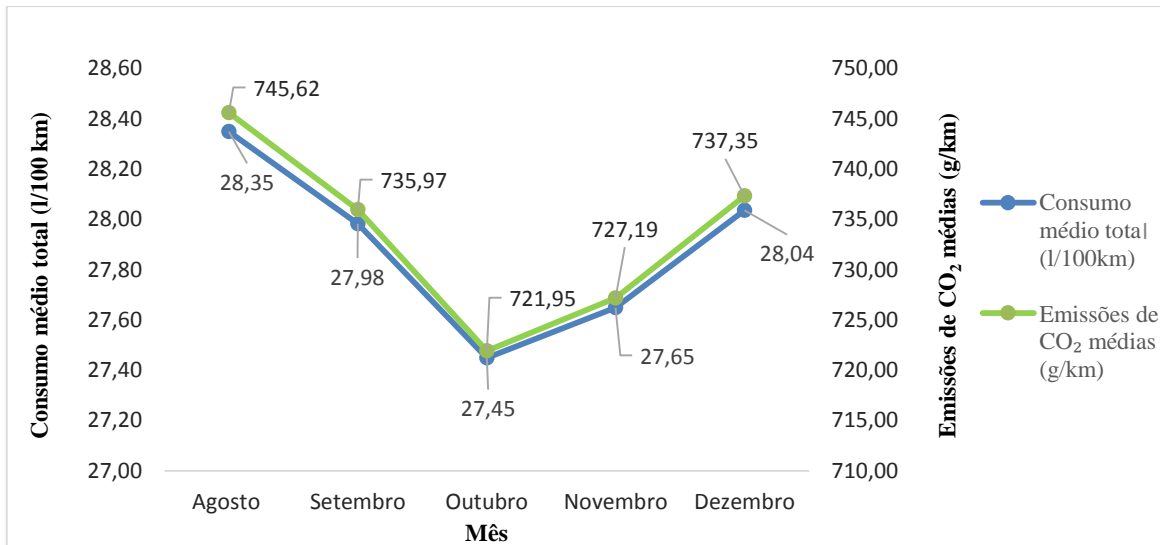


Figura 5.4-Evolução do Consumo médio total (l/100km) e Emissões de CO<sub>2</sub> médias, ao longo de 5 meses.

Sabendo que o número total de quilómetros percorridos nestes 5 meses foi 173 555,00 km, se o **Consumo médio total** de combustível fosse de 34,19 litros, por cada 100 quilómetros percorridos (consumo antes de se implementar o sistema *Eco-Drive*), então o número de litros totais consumidos seria de 59 355,81 l. Contudo, apenas se consumiram na totalidade 48 595,40 l, já que o valor médio obtido no consumo foi de 28,00 litros, por cada 100 quilómetros percorridos, evitando-se assim consumir 10 760,41 l, neste espaço de tempo. Aplicando o mesmo raciocínio para as **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, a redução conseguida é de 28 701,00 kg.

## 5.9 Síntese

Os resultados dos testes de hipótese mostram que houve alteração do valor médio de todas as variáveis, menos das seguintes: **Desaceleração**, **Grau de dificuldade**, **Declive médio**, **Cruise control/Distância total** e **Tempo de condução/100 km**.

Da análise comparativa, as variáveis qualitativas que apresentam médias estatisticamente diferentes e ainda que apresentam maior percentagem de variação, em relação ao seu valor inicial (1,00 a 10,00) são: **Estilo de condução**, com um aumento de 42,17%; **Estilo de condução (consumo)**, com um aumento de 40,41%; **Estilo de condução preventivo**, que regista um aumento de 249,13%; os **Movimentos de acelerador** apresentam um aumento de 65,13%; e o **Estilo de condução (travagem)** com um aumento de 49,91%.

Nas variáveis quantitativas, o **Consumo médio total** regista um decréscimo de 18,11%, sendo que o **Consumo médio em ralenti** regista um decréscimo de 52,20%. As **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** resultantes do consumo de combustível reduziram em cerca de 18,22%.

Os resultados da regressão linear mostram que as variáveis **% sem acelerador** e **Movimentos de acelerador** explicam em aproximadamente 88,00% o valor da variabilidade da variável **Consumo médio total**.

A implementação do sistema *Eco-Drive* trouxe uma redução de combustível, num espaço de 4 semanas, de 2 297,91 l e emitiram-se menos 6 051,04 kg de CO<sub>2</sub>, sendo que, ao fim de 5 meses, evitaram-se consumir aproximadamente menos 10 760,41 l de combustível, resultando em menos 28 701,00 kg de emissões de CO<sub>2</sub>.

O sistema *Eco-Drive* implementado, ao fim de 5 meses, registou um **Consumo médio total** de combustível de 27,89 l/100 km, contrariando a tendência que os sistemas de *Eco-Drive* mostram em não manter a taxa de redução de consumo de combustível, a médio/longo prazo.

## 6 Conclusão

### 6.1 Conclusões finais

Esta dissertação tem como objetivos mostrar que a implementação de um sistema *Eco-Drive* permite reduzir o consumo de combustível e as respetivas emissões de CO<sub>2</sub> médias, quantificar essa mesma redução e ainda explicá-la através de um modelo matemático (regressão linear múltipla).

No presente caso de estudo, fizeram parte da análise 10 veículos pesados de mercadorias semirreboque, cujo trator era da marca *Mercedes-Benz*, modelo Actros III. O número de motoristas em estudo foram 12, sendo que o tempo total de observação foram 8 semanas (4 semanas antes da implementação do sistema *Eco-Drive* e 4 semanas após este estar implementado). Posto isto observou-se o sistema por mais 5 meses, mas apenas as variáveis **Consumo médio total** e **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**.

Numa análise preliminar (semanas 1-4; 45 403,30 km), em que os motoristas não tinham recebido ainda qualquer formação *Eco-Drive*, os resultados obtidos revelaram um **Consumo médio total** de combustível de 34,19 l/100 km e **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** de 898,99 g/km. Os valores destas variáveis, bem como das restantes variáveis quantitativas analisadas numa fase preliminar, podem ser consultados na tabela 3.3.

Em relação às variáveis qualitativas, a variável **Estilo de condução**, que é o resultado global dos 3 grandes grupos das variáveis qualitativas **Estilo de condução (consumo)**, **Estilo de condução (travagem)** e **Grau de dificuldade**, registou um valor de 6,07 valores. A avaliação destas 3 variáveis foi respetivamente de 5,89, 5,71 e 4,78 valores.

As variáveis qualitativas **Estilo de condução preventivo** e **Movimentos de acelerador** registaram as pontuações mais baixas, numa escala de 1,00 a 10,00, no que respeita ao perfil de condução do motorista, e não ao trajeto em si, mais precisamente 2,30 e 4,33 valores, respetivamente. Os valores obtidos para estas variáveis, assim como para as restantes variáveis qualitativas em estudo antes da implementação *Eco-Drive*, podem ser consultados na tabela 3.2.

A pontuação atribuída ao **Estilo de condução preventivo** pode indicar que o exercício de aproveitar a inércia do camião e levantar o pé do acelerador o quanto antes, para provocar a desaceleração do veículo, não estava a ser feito corretamente. Os motoristas

apresentavam uma tendência para ficar a acelerar até muito tarde, não usufruindo assim da inércia, nem da função *Fuel-cut* do veículo, para desacelerar.

Já que esta variável é também contabilizada na avaliação do **Estilo de condução (travagem)**, pode sugerir também que os motoristas em estudo não utilizavam o travão de motor de forma eficiente, sendo que, em alguns casos, não utilizavam de todo esta tipologia de travão.

Por outro lado, a avaliação diminuta conferida à variável **Movimentos de acelerador** é um forte indicador de que era frequente a presença de arranques, acelerações e recuperações bruscas, bem como flutuações, mais conhecidas por “bombear” do pedal de acelerador. Arranques bruscos levam a que a caixa de velocidades automática faça uma leitura de necessidade de potência. Consequentemente, a troca de relação de caixa é feita a rotações por minuto mais elevadas, conduzindo, por fim, a um consumo de combustível maior, devido a uma utilização dos regimes do motor fora do binário ideal, e ainda a um excesso de rotações desnecessário.

Com o intuito de resolver o problema levantado pela baixa pontuação da variável **Movimentos de acelerador**, os motoristas foram instruídos no sentido de efetuarem arranques mais suaves e a manterem o pé no pedal de acelerador o mais constante possível, de modo a evitarem *kick-down* na caixa de velocidades. Desta forma, a caixa de velocidades troca as relações de caixa mais cedo e dentro da curva de binário ideal, tornando os arranques mais económicos e a rotações por minuto mais baixas.

Consideraram-se, assim, que algumas das maiores fraquezas dos motoristas residiam em adotar uma condução preventiva, apresentando também dificuldades técnicas e de conhecimento na utilização e conceito da inércia de um veículo com as configurações de um semirreboque. Posto isto, tentou transmitir-se na formação *Eco-Drive* a importância e relevância das potencialidades que o peso e a inércia podem oferecer num veículo com esta tipologia.

Denotou-se igualmente alguma incapacidade de utilizar o travão de motor no tempo certo, com a utilização simultânea da caixa de velocidades, aquando da aproximação a obstáculos, ou a proceder a ajustamentos de velocidade, sendo que a distância percorrida a travar com o travão de motor era curta (travagem sem desgaste), tal facto pode ser observado na tabela 5.4 onde se regista um decréscimo na variável **Distância de travagem/Distância total** de 68,46% e um aumento de 39,40 % na variável **Distância de travagem sem desgaste/Distância total**.

Uma vez que o travão de motor exige uma distância de travagem superior, instruíram-se os motoristas para que aumentassem a sua distância de travagem, de forma a poderem



utilizar o travão de motor com maior eficiência. Este exercício, quando bem aplicado, permite criar compassos de espera nas aproximações a certos obstáculos, como semáforos, evitando paragens. O mesmo pode ser aplicado a rotundas, já que aproximações lentas podem oferecer janelas de leitura melhores aos outros condutores, possibilitando uma melhor fluidez do trânsito.

Na análise preliminar que antecedeu a formação e implementação do sistema *Eco-Drive*, considerou-se ainda que os motoristas exerciam práticas de *ralenti* excessivas, principalmente por descuido e em processos de descarga, que podem chegar a demorar 40 minutos. Os motoristas alegaram que deixavam o veículo a trabalhar para não provocarem descarga nas baterias. O **Consumo médio em ralenti** era de 1,20 l/100 km, sendo o **Tempo em ralenti/100 km** de 24 minutos e 8 segundos, por cada 100 km percorridos (tabela 3.3).

De modo a reduzir as práticas de *ralenti* excessivo, as propostas de melhoria passaram por sensibilizar os motoristas do impacto que estas práticas têm no consumo de combustível, incentivando-os a desligar os veículos nos processos de carga e descarga, uma vez que as baterias estão preparadas para aguentar este processo.

A variável **Distância percorrida com >85,00 km/h** registou uma percentagem de 12,57%, significando que, dos 45 403,30 km percorridos, 5 707,16 km foram percorridos neste regime (tabela 3.3). Esta percentagem pode representar potenciais perdas de eficiência, no que toca ao consumo de combustível, por efeitos de arrasto aerodinâmico. Contudo, não existem cálculos que provem ou sustentem esta teoria anteriormente descrita.

Durante a formação *Eco-Drive*, os motoristas foram elucidados para os benefícios da prática de *Eco-roll* e para a distância que é possível percorrer, fazendo uso desta técnica

Após a implementação do sistema *Eco-Drive* desenvolvido, mediram-se novamente as variáveis analisadas (semanas 5-8; 37 122,90 km), onde a eficiência deste tipo de sistemas se revelou no combate aos consumos excessivos de combustível e à questão ambiental da emissão de gases nocivos. O **Consumo médio total** de combustível registou um decréscimo de 18,11% e as **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** um decréscimo de 18,22%, face à análise preliminar (tabela 5.4).

Após análise estatística, recorrendo aos testes de *Fisher* e *t-student*, destacaram-se as seguintes variáveis sobre as quais o sistema *Eco-Drive* não impactou, pois não apresentaram alteração no seu valor médio: **Desaceleração**, **Grau de dificuldade**, **Declive médio**, **Cruise control/Distância total** e **Tempo de condução/100 km**.

De facto, foi estimulante observar que a variável **Tempo de condução/100 km** não tenha apresentado variação no seu valor médio, após implementado o sistema *Eco-Drive*, significando que a redução no consumo de combustível não pôs em causa o tempo de entrega de mercadorias.

Já o facto da variável qualitativa **Grau de dificuldade** não ter apresentado variação no seu valor médio, pode ser justificado pela boa rotatividade e distribuição aleatória das rotas.

Os valores obtidos para as variáveis qualitativas, após a implementação do sistema *Eco-Drive* podem ser consultados na tabela 5.1, enquanto que os obtidos para as variáveis quantitativas, na tabela 5.2. Já na tabela 5.3 e 5.4 podem ser consultadas as variações registadas apenas para as variáveis qualitativas e quantitativas, respetivamente, cujo valor médio se alterou sob o regime *Eco-Drive*.

Em relação às variáveis qualitativas, foi óbvia a adoção de uma condução mais preventiva por parte dos motoristas, após a formação - a variável **Estilo de condução preventivo** aumentou em 249,13%. Esta variação pode ser explicada por processos de desaceleração iniciados mais cedo, aplicando, ao mesmo tempo, o travão de motor. Este perfil de condução vem também justificar os aumentos em 42,17%, 40,41% e 49,91% das variáveis **Estilo de condução**, **Estilo de condução (consumo)** e **Estilo de condução (travagem)**, respetivamente (tabela 5.3).

A variável **Estilo de condução (consumo)** também deve o seu aumento ao incremento em 65,13% na variável **Movimentos de acelerador**, dado a arranques mais suaves e à redução das acelerações bruscas, bem como a manter o pé no pedal de acelerador o mais constante possível (tabela 5.3).

Apesar de não tão expressivamente, as variáveis qualitativas **Velocidade constante**, **Ralenti** e **Operação caixa de velocidades** também sofreram uma variação positiva (12,41%, 11,00% e 1,41%, respetivamente - tabela 5.3).

O aumento da **Velocidade constante** pode dever-se a uma utilização mais constante do pedal de acelerador, procurando minimizar acelerações. Este aumento pode também ser explicado pela instrução dada aos motoristas no sentido de reduzirem a velocidade, sempre que possível, para os 80,00 km/h, minorando assim algumas flutuações de velocidades praticadas entre os 80,00 e os 90,00 km/h.

Apesar de pouco expressivo, o aumento da variável **Operação caixa de velocidades** pode ser explicado por uma utilização correta da caixa de velocidades, aquando do processo de travagem com o travão de motor, e ainda devido a se terem instruído os motoristas a não

intervirem na caixa quando estão a acelerar, permitindo que a caixa de velocidades gira, por si, as relações de velocidade. No entanto, não existem cálculos concretos que permitam estabelecer esta relação.

Em relação às variáveis quantitativas, a variável que sofreu uma maior variação foi a variável **Distância de travagem/Distância total**, registando uma redução de 68,46% (tabela 5.4). Esta redução pode associar ser associada ao aumento em 39,40% da variável **Distância de travagem sem desgaste/Distância total**, evidenciando a utilização do travão de motor, em troca do sistema de travão de pedal, e na adoção de uma condução preventiva, dando início ao processo de desaceleração mais cedo.

Registou-se um incremento de 12,46% na variável **% sem acelerador**, relacionado com a utilização da técnica *Eco-roll*, em que o veículo desengata o eixo de transmissão, quando se levanta o pé do acelerador, e percorre distância sem a resistência interna do motor, conservando a energia cinética do veículo durante mais tempo (tabela 5.4).

A variável **Distância percorrida com >85,00 km/h** regista um decréscimo de 43,68%, resultado da instrução para que, sempre que possível, circular a velocidades abaixo deste valor (tabela 5.4).

Embora na formação fornecida aos motoristas se tenha dado instruções para proceder a arranques mais suaves e à redução da velocidade máxima para 80,00 km/h, a aplicação destes conceitos apenas trouxe uma redução em 3,92% na **Velocidade média** (tabela 5.4).

Em relação ao **Peso médio** transportado entre as primeiras 4 semanas do estudo, e as outras 4 restantes, observa-se um incremento de 3,19%, sendo essa percentagem quantificada em aproximadamente 750 kg (tabela 5.4).

Para uma empresa de transportes, o tempo de entrega é um fator muito importante. No entanto, o decréscimo registado na **Velocidade média** mostrou ser um resultado insignificante, quando comparado com a potencial poupança que se pode obter no consumo de combustível. De facto, ao observar os testes de hipótese aos valores médios, a variável **Tempo de condução/100 km** não apresenta uma alteração do seu valor médio depois da implementação do sistema *Eco-Drive*.

Sabe-se então que a alteração do valor médio de algumas das variáveis em estudo provocou uma redução no **Consumo médio total** de combustível. Porém, não se sabe de antemão que variável, ou variáveis, são as responsáveis significativamente por esta redução. Assim, aplicou-se o método de regressão linear múltipla.

O resultado da regressão linear múltipla mostra que, neste sistema *Eco-Drive* implementado, a redução de 18,11% na variável **Consumo médio total** pode ser

explicada em 88,00% (valor de  $r^2$  ajustado) pelas variáveis **% sem acelerador** e **Movimentos de acelerador** (tabela 5.20).

Pode então concluir-se que os dois fatores determinantes, inerentes ao comportamento de um motorista, que mais contribuiriam para a redução de combustível são a capacidade do motorista em percorrer distância sem acionar o pedal de acelerador e, ao acioná-lo, ter a capacidade de o fazer de forma mais suave, sem flutuações.

Procedeu-se ainda a uma análise do consumo de combustível, concluindo-se que, se nas últimas 4 semanas em estudo (semanas 5-8), os quilómetros fossem percorridos com um **Consumo médio total** de combustível de 34,19 l/100 km (valor registado antes da formação *Eco-Drive*), o número médio total de litros gastos a mais teria sido cerca de 2 297,91 l, traduzindo-se numa poupança de, sensivelmente, 2 775 € (considerando o preço médio do combustível em 2015 - 1,20 €/l). O sistema *Eco-Drive* implementado resultou, portanto, numa redução de aproximadamente 229,80 l, por veículo, em 4 semanas.

A nível de travagem, o sistema *Eco-Drive* trouxe uma redução da utilização do sistema de travagem (68,46%), como já referido anteriormente (tabela 5.4). Antes do sistema *Eco-Drive*, em que foram percorridos 45 403,30 km, a taxa de utilização do sistema de travagem (7,26%) representa, aproximadamente, 3 296,30 km a utilizar o sistema de travagem de pastilhas e discos. Se estes mesmos quilómetros tivessem sido percorridos após o sistema *Eco-Drive* estar implementado, então a taxa de utilização de travagem diminuiria para 2,29%, o que corresponderia a, aproximadamente, 1 039,74 km, em que o sistema de travagem pastilhas e discos seria utilizado.

Isto significa que, com a implementação de uma condução *Eco-Drive*, o sistema de travagem sofre um menor desgaste, já que a diferença do número de quilómetros que se evitariam travar são sensivelmente 2 256,56 km.

No que respeita às emissões de CO<sub>2</sub>, se os quilómetros percorridos nas 4 semanas após o sistema *Eco-Drive* ter sido implementado fossem percorridos com o mesmo estilo de condução das primeiras 4 semanas em estudo, o número de emissões a mais seria na ordem dos 6 051,04 kg de CO<sub>2</sub>.

Se fosse possível estender de forma semelhante estes resultados a um cenário de 12 meses, para os mesmos 10 veículos, então: o número de emissões que se evitariam seria na ordem dos 72 612,48 kg de CO<sub>2</sub> (valor superior à tara dos 10 tratores em estudo); o número de litros de combustível poupados seria aproximadamente 27 574,92 l.

Para finalizar este estudo, foi feita uma análise da evolução do sistema durante 5 meses. Registou-se o **Consumo médio total**, a cada 100 quilómetros percorridos, e ainda as respetivas **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, por quilómetro percorrido.

Ao fim de 5 meses, **Consumo médio total** de combustível registou um valor de 27,89 l/100 km, o que representa apenas um decréscimo de 0,21 l/100 km, em relação à média das 4 semanas após a implementação do sistema *Eco-Drive* (semanas 5-8). Já as **Emissões de CO<sub>2</sub> médias** registaram, ao longo destes 5 meses, um valor médio de 733,62 g/km, representando um decréscimo de 2,49 g/km.

Sabendo que o número total de quilómetros percorridos nestes 5 meses foi de 173 555,00 km, e sabendo que o consumo médio de combustível era de 34,19 l/100 km, então o número de litros totais consumidos seria de 59 355,81 l. Contudo, apenas se consumiram na totalidade 48 595,00 l, poupando cerca de 10 760,41 l, o que equivale a aproximadamente 12 998 € (considerando o preço médio do combustível em 2015 - 1,20 €/l). Já no que respeita às emissões de gases nocivos, os 10 veículos semirreboque emitiram menos 12 102,80 kg de CO<sub>2</sub>.

A tabela 6.1 resume os resultados obtidos em relação ao **Consumo médio total** e **Emissões de CO<sub>2</sub> médias**, antes da implementação do sistema *Eco-Drive*, depois da implementação do sistema *Eco-Drive* e 5 meses depois da implementação do referido sistema.

**Tabela 6.1-Variação registada para as variáveis quantitativas Consumo médio total (l/100 km) e Emissões de CO<sub>2</sub> médias (g/km) antes, imediatamente após e 5 meses após a implementação do sistema *Eco-Drive*.**

Variável	Antes Sistema <i>Eco-Drive</i>	Imediatamente após Sistema <i>Eco-Drive</i>	5 meses após Sistema <i>Eco-Drive</i>
<b>Consumo médio total</b> (l/100 km)	34,19	27,99	27,89
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> médias</b> (g/km)	899,00	736,11	733,62

Portanto, o sistema mostrou aumentar a sua *performance*, em vez de a reduzir, como registado em alguns estudos, revelando ser um sistema consistente e estável, durante o período em análise.

## **6.2 Limitações da análise e recomendações**

O estudo apresenta limitações, relativamente ao tempo de observação e ainda ao número de veículos e motoristas em análise. Recomenda-se assim, como sugestão para estudos futuros, uma análise mais extensa, com um número maior de veículos, motoristas, quilómetros percorridos, bem como diferentes locais geográficos.

A nível de entidades patronais, recomenda-se que seja sempre facultada formação aos motoristas, uma vez que foi possível detetar, durante os acompanhamentos, falta de conhecimento em relação às tecnologias implementadas pelos fabricantes de veículos pesados.

É necessário haver posicionamento estratégico por parte das entidades patronais que suporte o sistema *Eco-Drive* a implementar, tal como um bom ajustamento de frota e sistemas de avaliação e bonificação. A compra dos veículos deve estar em conformidade com os objetivos delineados, pois um mau ajustamento de frota às necessidades da empresa pode ser uma fator determinante para o aumento do consumo de combustível.

Para a implementação e manutenção de um sistema *Eco-Drive* recomenda-se:

- Posicionamento estratégico por parte das entidades patronais:
  - a) Aquisição de telemetria;
  - b) Ajustamento de frota;
  - c) Criação de um sistema de avaliação e bonificação.
- Análise preliminar do caso alvo (identificar potenciais áreas de melhoria).
- Desenhar e implementar um plano de formação em conformidade com as potenciais áreas de melhoria identificadas na análise preliminar e com os respetivos objetivos delineados inicialmente .
- Desenhar e aplicar um sistema de avaliação que sirva de suporte a um sistema de bonificação, com o objetivo de estimular os trabalhadores e manter os resultados a longo prazo.

Por conseguinte, para uma empresa transportadora cujo núcleo de negócio é fazer distribuição, é essencial ter em conta o comportamento dos seus motoristas durante o período de desempenho das suas funções, e é nesse campo que se considerou o papel da telemática fundamental.

### **6.3 Desafios para o futuro**

As tecnologias verdes nos camiões estão numa fase de desenvolvimento e implementação muito intensas. Uma das questões onde se denota maior urgência é a substituição do arranque a combustão por um arranque elétrico, já que é aqui que reside o maior desperdício de combustível num veículo com as configurações de um semirreboque.

Ficam ainda algumas questões por clarificar: qual a forma mais eficiente de praticar uma subida com um veículo destas dimensões e tonelagem? Qual o ganho de se elaborar arranques com um motor elétrico, em vez de com um motor a combustão? Qual é a real perda energética devido à aerodinâmica de um veículo com estas configurações? Até que ponto a aerodinâmica dos atrelados pode ser otimizada?

Em termos de realização, considera-se que os objetivos desta tese foram cumpridos, uma vez que foi possível quantificar a redução do consumo médio de combustível ( $\approx -18\%$ ) e das emissões de CO<sub>2</sub> médias ( $\approx -18\%$ ) após a implementação do sistema *Eco-Drive*. Foi ainda possível explicar a redução obtida através da aplicação de um modelo matemático (regressão linear múltipla).

Por último, fica a questão mais importante por responder, que se baseia nas preocupações que a Humanidade tem de enfrentar e que desencadearam a necessidade de elaborar esta dissertação: *Se foi possível economizar combustível e diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> num sistema composto por 10 veículos, quanto se pouparia de recursos fósseis e quantas emissões de CO<sub>2</sub> se poderiam evitar, se todos nós adotássemos uma condução mais sensata?* Provavelmente, um valor impossível de equacionar, fica a questão... Mas o que se pretendeu realmente elucidar com a elaboração deste documento é que grande parte do consumo excessivo de combustível e da poluição existente poderia ser reduzida, se as pessoas simplesmente alterassem o seu comportamento enquanto conduzem.





## Bibliografia

- Ando, R., & Nishihori, Y. (2012). A study on factors affecting the effective eco-driving. In Aguilera, Bhourri, Farhi, Leurent & Seidowsky (eds.), *Proceedings of ewgt 2012 - 15th meeting of the euro working group on transportation*, vol. 54, 27-36.
- Andrieu, C., & Saint Pierre, G. (2012). Comparing effects of eco-driving training and simple advices on driving behavior. *Proceedings of ewgt 2012 - 15th meeting of the euro working group on transportation*, vol.54, 211-220.
- Arvidsson, N., Woxenius, J., & Lammgard, C. (2013). Review of road hauliers' measures for increasing transport efficiency and sustainability in urban freight distribution. *Transport reviews*, 33(1), 107-127.
- Baric, d., zovak, g., & Perisa, m. (2013). Effects of eco-drive education on the reduction of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions. *Promet-traffic & transportation*, 25(3), 265-272.
- Barkenbus, J. N. (2010). Eco-driving: an overlooked climate change initiative. *Energy policy*, 38(2), 762-769.
- Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2009). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transportation research part d-transport and environment*, 14(6), 400-410.
- Biswas, S., Verma, V., Schauer, J., & Sioutas, C. (2009). Chemical speciation of pm emissions from heavy-duty diesel vehicles equipped with diesel particulate filter (dpf) and selective catalytic reduction (scr) retrofits. *Atmospheric environment*, 43(11), 1917-1925.
- Choi, S. C., Ko, K. H., & Jeung, I. S. (2013). Optimal fuel-cut driving method for better fuel economy. *International journal of automotive technology*, 14(2), 183-187.
- Degraeuwe, B., & Beusen, B. (2013). Using on-board data logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course). *Transportation research part d-transport and environment*, 19, 48-49.
- Delhomme, P., Cristea, M., & Paran, F. (2013). Self-reported frequency and perceived difficulty of adopting eco-friendly driving behavior according to gender, age, and environmental concern. *Transportation research part d-transport and environment*, 20, 55-58.

Doe annual merit review, 2012 no web site: [http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/merit\\_review\\_2012/veh\\_sys\\_sim/vss006\\_salari\\_2012\\_o.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/merit_review_2012/veh_sys_sim/vss006_salari_2012_o.pdf), visitado em Agosto 2014.

Dogan, E., Steg, L., & Delhomme, P. (2011). The influence of multiple goals on driving behavior: the case of safety, time saving, and fuel saving. *Accident analysis and prevention*, 43(5), 1635-1643.

Eco drive project, 2009 no web site: <http://www.ecodrive.org>, visitado em Agosto 2014.

Edmunds (2014) no web site: <http://www.edmunds.com/fuel-economy/improving-aerodynamics-to-boost-fuel-economy.html>, visitado em Agosto 2014.

Edmunds (2014a) no web site: <http://www.edmunds.com/fuel-economy/we-test-the-tips.html> , visitado em Agosto de 2014.

Elizabeth, R. (2010) Estatística Descritiva. Edições Sílabo, Lisboa.

Ericsson, E. (2001). Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors. *Transportation research part d-transport and environment*, 6(5), 325-345.

Fiat (2010). [Eco-driving\\_uncovered\\_full\\_report\\_2010\\_en.pdf](http://www2.fiat.co.uk/uploadedfiles/fiatcouk/stand_alone_sites/ecodrive2010/en/eco-driving_uncovered_full_report_2010_en.pdf) no web site: [www2.fiat.co.uk/uploadedfiles/fiatcouk/stand\\_alone\\_sites/ecodrive2010/en/eco-driving\\_uncovered\\_full\\_report\\_2010\\_en.pdf](http://www2.fiat.co.uk/uploadedfiles/fiatcouk/stand_alone_sites/ecodrive2010/en/eco-driving_uncovered_full_report_2010_en.pdf), visitado em Agosto 2014.

Fröberg, A. Nielsol, L., Hedström, L., Petterssom, M. (2005). Controlling gear engagement and disengagement on heavy trucks for minimization of fuel consumption.

Fröberg, A., Hellström, E., & Nielsen, L. (2006). *Explicit fuel optimal speed profiles for heavy trucks on a set of topographic road profiles* (no. 2006-01-1071). Sae technical paper.

Hari, D., Brace, C. J., Vagg, C., Poxon, J., Ash, L., & Ieee. (2012). Analysis of a driver behaviour improvement tool to reduce fuel consumption. *2012 international conference on connected vehicles and expo (iccve)*, 208-213.

Larsson, H., & Ericsson, E. (2009). The effects of an acceleration advisory tool in vehicles for reduced fuel consumption and emissions. *Transportation research part d-transport and environment*, 14(2), 141-146.

Liimatainen, H., & Pollanen, M. (2010). Trends of energy efficiency in finnish road freight transport 1995-2009 and forecast to 2016. *Energy policy*, 38(12), 7676-7686.

Mckinnon, A. (1999). A logistical perspective on the fuel efficiency of road freight transport. *Improving fuel efficiency in road freight: the role of information technologies*.

Maroco, J. (2007). *Análise estatística com a utilização do SPSS*. Edições Silabo, Lisboa.

Mercedes-benz, 2014 no web site: [http://www.mercedes-benz.pt/content/portugal/mpc/mpc\\_portugal\\_website/ptng/home\\_mpc/bus/home/new\\_buses/models/touring\\_coaches/travego\\_edition\\_1/facts/economy/steering.html](http://www.mercedes-benz.pt/content/portugal/mpc/mpc_portugal_website/ptng/home_mpc/bus/home/new_buses/models/touring_coaches/travego_edition_1/facts/economy/steering.html), visitado em Agosto 2014.

Nissan (2014) no web site: <http://www.nissan.pt/pt/pt/vehicle/electric-vehicles/leaf/discover/life-with-ev.html>, visitado em Agosto de 2014.

Patten, J., Mayda W., Tanguay B. (2012) review of aerodynamic drag reduction devices for heavy trucks and buses. Project 54-a3578.

Renault (2014) no web site: [http://www.renault.co.uk/cars/environment/end\\_of\\_life\\_vehicles/](http://www.renault.co.uk/cars/environment/end_of_life_vehicles/), visitado em Agosto 2014.

Rutty, M., Matthews, L., Andrey, J., & Del Matto, T. (2013). Eco-driver training within the city of calgary's municipal fleet: monitoring the impact. *Transportation research part d-transport and environment*, 24, 44-51.

Sivak, M., & Schoettle, B. (2012). Eco-driving: strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. *Transport policy*, 22, 96-99.

Stromberg, H. K., & Karlsson, I. C. M. (2013). Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers - results from a field trial. *Transportation research part d-transport and environment*, 22, 28-33.

Tecplot (2014) no web site: <http://www.tecplot.com/blog/2001/11/14/plot-of-the-month-external-truck-aerodynamics/>, visitado em Agosto de 2014.

Toyota (2014) no web site: [http://www.toyota-global.com/sustainability/environmental\\_responsibility/global\\_warming\\_prevention\\_initiatives/eco\\_driving/tips\\_on\\_eco\\_driving.html](http://www.toyota-global.com/sustainability/environmental_responsibility/global_warming_prevention_initiatives/eco_driving/tips_on_eco_driving.html), visitado Agosto 2014.

União Europeia (2014) no web site: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/txt/pdf/?uri=celex:32012r0459&from=pt>, visitado em Agosto 2014.

União Europeia (2014a) no web site : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/txt/pdf/?uri=celex:32012r0459&from=pt>, visitado em Agosto de 2014.

União Europeia (2014b) no web site: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/txt/pdf/?uri=celex:32009r0595&from=pt>, visitado em Agosto de 2014.

Vagg, C., Brace, C. J., Hari, D., Akehurst, S., Poxon, J., & Ash, L. (2013). Development and field trial of a driver assistance system to encourage eco-driving in light commercial vehicle fleets. *Ieee transactions on intelligent transportation systems*, 14(2), 796-805.

Vagg, C., Brace, C. J., Wijetunge, R., Akehurst, S., & Ash, L. (2012). Development of a new method to assess fuel saving using gear shift indicators. *Proceedings of the institution of mechanical engineers part d-journal of automobile engineering*, 226(d12), 1630-1639.

Volkswagen (2014) no web site: <http://thinkblue.volkswagen.com/com/en/blue-mobility#emobility>, visitado em Agosto 2014.

Volvo (s.d.) Manual Instruções Volvo Fh 400 Euro 3, número de série 446778.

Volvo (2014) no web site: [http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/environment/pages/fuel\\_consumption.aspx](http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/environment/pages/fuel_consumption.aspx), visitado em Agosto 2014.

Volvo (2014a) no web site: <http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/environment/pages/recycling.aspx>, visitado em Agosto 2014

Volvo (2014b) no web site: <http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/environment/pages/euro6.aspx>, visitado em Agosto de 2014.

Volvo (2014c) no web site: <http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/volvo-fh-series/top10/pages/fuel.aspx>, visitado em Agosto 2014.

Volvo (2014d) no web site: [http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/environment/pages/fuel\\_consumption.aspx](http://www.volvotrucks.com/trucks/portugal-market/pt-pt/trucks/environment/pages/fuel_consumption.aspx), visitado em Agosto 2014.

Volvo (2014e) no web site: [http://www.volvotrucks.com/sitecollectiondocuments/vtc/corporate/news%20and%20media/specifications\\_volvo\\_fm\\_130221\\_final.pdf](http://www.volvotrucks.com/sitecollectiondocuments/vtc/corporate/news%20and%20media/specifications_volvo_fm_130221_final.pdf), visitado em Agosto de 2014.

Waters, M. H. L., & Laker, I. B. (1980). *Research on fuel conservation for cars* (no. Trrl Ir921 monograph).

Xia, H. T., Boriboonsomsin, K., & Barth, M. (2013). Dynamic eco-driving for signalized arterial corridors and its indirect network-wide energy/emissions benefits. *Journal of intelligent transportation systems*, 17(1), 31-41.

Zheng, M., Reader, G. T., & Hawley, J. G. (2004). Diesel engine exhaust gas recirculation - a review on advanced and novel concepts. *Energy conversion and management*, 45(6), 883-900.

## A1 – Testes estatísticos de Fisher às variáveis

Note-se que, para todos os testes estatísticos de Fisher aplicados às variáveis qualitativas e quantitativas, utilizaram-se 48 observações ( $n = 48$ ) e 47 graus de liberdade ( $GL = 47$ ).

**Tabela A1.1-Teste de Fisher à variável qualitativa Estilo de condução.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Estilo de condução	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	6,0694	8,6298
<b>Variância</b>	0,4375	0,4061
<b>F<sub>0</sub></b>	1,0773	
<b>F<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6238	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as variâncias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.2-Teste de Fisher à variável qualitativa Estilo de condução (consumo).**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Estilo de condução (consumo)	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	5,8858	8,2652
<b>Variância</b>	0,4617	0,3715
<b>F<sub>0</sub></b>	1,2427	
<b>F<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6238	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as variâncias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.3-Teste de Fisher à variável qualitativa Estilo de condução preventivo.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Estilo de condução preventivo	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	2,2979	8,0258
<b>Variância</b>	1,9978	2,3122
<b>F<sub>0</sub></b>	0,8640	
<b>F<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	0,6159	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.4-Teste de Fisher à variável qualitativa Movimentos de acelerador.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Movimentos de acelerador	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	4,3290	7,1463
Variância	2,7179	1,3189
F <sub>0</sub>	2,0608	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	

*Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.*

**Tabela A1.5-Teste de Fisher à variável qualitativa Ralenti.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Ralenti	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	5,9998	6,6625
Variância	2,5973	1,0262
F <sub>0</sub>	2,5309	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	

*Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.*

**Tabela A1.6-Teste de Fisher à variável qualitativa Operação caixa de velocidades.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Operação caixa de velocidades	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	9,2138	9,3371
Variância	0,0047	0,0058
F <sub>0</sub>	0,8005	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	0,6159	

*Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.*

**Tabela A1.7-Teste de Fisher à variável qualitativa Velocidade constante.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Velocidade constante	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	6,8515	7,7031
Variância	0,5434	0,3122
F <sub>0</sub>	1,7407	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	

*Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.*

**Tabela A1.8-Teste de Fisher à variável qualitativa Estilo de condução (travagem).**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Estilo de condução (travagem)	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	5,7090	8,5577
Variância	0,5070	0,5616
F <sub>0</sub>	0,9030	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	0,6159	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.9-Teste de Fisher à variável qualitativa Desaceleração.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Desaceleração	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	9,1213	9,0900
Variância	0,0066	0,0166
F <sub>0</sub>	0,3958	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	0,6159	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as variâncias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.10-Teste de Fisher à variável qualitativa Grau de dificuldade.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Grau de dificuldade	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	4,7750	4,7040
Variância	0,1501	0,0900
F <sub>0</sub>	1,6672	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.11-Teste de Fisher à variável qualitativa Declive médio.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Declive médio	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	4,1521	4,1271
Variância	0,0311	0,0434
F <sub>0</sub>	0,7160	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	0,6159	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.12-Teste de Fisher à variável qualitativa Paragens.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Paragens	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	5,9598	5,2565
Variância	2,6320	1,4399
F <sub>0</sub>	1,8279	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.13-Teste de Fisher à variável qualitativa Peso médio.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Peso médio	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	4,6850	4,9494
Variância	0,0905	0,1053
F <sub>0</sub>	0,8595	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	0,6159	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.14-Teste de Fisher à variável quantitativa Distância de travagem/Distância total.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Distância de travagem/Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	7,2646	2,2854
Variância	4,9474	1,0957
F <sub>0</sub>	4,5152	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.15-Teste de Fisher à variável quantitativa Distância de travagem sem desgaste/Distância total.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Distância de travagem/Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	8,3500	11,6396
Variância	22,4621	11,1033
F <sub>0</sub>	2,0230	
F <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6238	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		



**Tabela A1.16-Teste de Fisher à variável quantitativa Distância percorrida com >85,00 km/h.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Distância percorrida com >85,00 km/h	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	12,5729	7,0771
Variância	93,8501	28,3584
$F_0$	3,3094	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.17-Teste de Fisher à variável quantitativa % sem acelerador.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	% sem acelerador	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	39,6104	45,2479
Variância	12,4137	23,7991
$F_0$	0,5216	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	0,6159	
<i>Não se rejeita <math>H_0</math>: as variâncias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.18-Teste de Fisher à variável quantitativa Cruise control/Distância total.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Cruise control/Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	10,5667	8,1563
Variância	120,9682	131,1570
$F_0$	0,9223	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	0,6159	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.19-Teste de Fisher à variável quantitativa Velocidade média.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Velocidade média	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (km/h)	50,2750	48,3146
Variância	18,1879	9,9817
$F_0$	1,8221	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.20-Teste de Fisher à variável quantitativa Paragens/100 km.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Paragens/100 km	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (n/100 km)	44,9249	36,7387
Variância	547,0176	132,5513
$F_0$	4,1268	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.21-Teste de Fisher à variável quantitativa Tempo de condução/100 km.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Tempo de condução/100 km	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (h:min:s)	02:03:43	02:06:09
Variância	00:00:04	00:00:03
$F_0$	1,2922	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Não se rejeita <math>H_0</math>: as variâncias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.22-Teste de Fisher à variável quantitativa Tempo em ralenti/100 km.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Tempo em ralenti/100 km	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (h:min:s)	00:24:08	00:11:41
Variância	00:00:06	00:00:01
$F_0$	5,6012	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.23-Teste de Fisher à variável quantitativa Consumo médio total.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Consumo médio total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (l/100 km)	34,1854	27,9938
Variância	6,0685	1,7542
$F_0$	3,4594	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.24-Teste de Fisher à variável quantitativa Consumo médio em condução.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Consumo médio em condução	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (l/100 km)	32,9896	27,4250
Variância	4,3239	1,5121
$F_0$	2,8595	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.25-Teste de Fisher à variável quantitativa Consumo médio em ralenti.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Consumo médio em ralenti	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (l/100 km)	1,1958	0,5688
Variância	0,3353	0,0537
$F_0$	6,2459	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.26-Teste de Fisher à variável quantitativa Emissões de CO<sub>2</sub> médias.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Emissões de CO <sub>2</sub> médias	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (g/km)	898,9938	736,1083
Variância	4188,0836	1226,8340
$F_0$	3,4137	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6238	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A1.27-Teste de Fisher à variável quantitativa Peso médio.**

Teste de Fisher - Duas amostras para duas variâncias	Peso médio	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (t)	23,5208	24,2708
Variância	0,9357	1,0527
$F_0$	0,8888	
$F_{\text{crítico uni-caudal}}$	0,6159	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as variâncias são estatisticamente diferentes.</i>		

## A2 - Testes estatísticos *t-student* às variáveis

Note-se que, para todos os testes estatísticos *t-student* aplicados às variáveis qualitativas e quantitativas, utilizaram-se 48 observações ( $n = 48$ ).

**Tabela A2.1-Teste *t-student* à variável qualitativa Estilo de condução.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias iguais	Estilo de condução	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	6,0694	8,6298
Variância	0,4375	0,4061
Graus de liberdade (GL)	94	
$T_0$	-19,3143	
$T_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6612	
$T_{\text{crítico bi-caudal}}$	1,9855	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.2-Teste *t-student* à variável qualitativa Estilo de condução (consumo).**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias iguais	Estilo de condução (consumo)	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	5,8858	8,2652
Variância	0,4617	0,3715
Graus de liberdade (GL)	94	
$T_0$	-18,0601	
$T_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6612	
$T_{\text{crítico bi-caudal}}$	1,9855	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.3-Teste *t-student* à variável qualitativa Estilo de condução preventivo.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Estilo de condução preventivo	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	2,2979	8,0258
Variância	1,9978	2,3122
Graus de liberdade (GL)	94	
$T_0$	-19,1153	
$T_{\text{crítico uni-caudal}}$	1,6612	
$T_{\text{crítico bi-caudal}}$	1,9855	
<i>Rejeita-se <math>H_0</math>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.4-Teste *t-student* à variável qualitativa Movimentos de acelerador.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Movimentos de acelerador	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	4,3290	7,1463
<b>Variância</b>	2,7179	1,3189
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	84	
<b>T<sub>0</sub></b>	-9,7148	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6632	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9886	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.5-Teste *t-student* à variável qualitativa Ralenti.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Ralenti	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	5,9998	6,6625
<b>Variância</b>	2,5973	1,0262
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	79	
<b>T<sub>0</sub></b>	-2,4120	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6644	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9905	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.6-Teste *t-student* à variável qualitativa Operação caixa de velocidades.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Operação caixa de velocidades	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	9,2138	9,3371
<b>Variância</b>	0,0047	0,0058
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	93	
<b>T<sub>0</sub></b>	-8,3404	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6614	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9858	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.7-Teste *t-student* à variável qualitativa Velocidade constante.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Velocidade constante	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	6,8515	7,7031
<b>Variância</b>	0,5434	0,3122
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	88	
<b>T<sub>0</sub></b>	-6,3789	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6624	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9873	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.8-Teste *t-student* à variável qualitativa Estilo de condução (travagem).**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Estilo de condução (travagem)	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	5,7090	8,5577
<b>Variância</b>	0,5070	0,5616
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	94	
<b>T<sub>0</sub></b>	-19,0927	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6612	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9855	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.9-Teste *t-student* à variável qualitativa Desaceleração.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias iguais	Desaceleração	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	9,1213	9,0900
<b>Variância</b>	0,0066	0,0166
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	94	
<b>T<sub>0</sub></b>	1,4211	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6612	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9855	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as médias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.10-Teste *t-student* à variável qualitativa Grau de dificuldade.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Grau de dificuldade	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	4,7750	4,7040
<b>Variância</b>	0,1501	0,0900
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	88	
<b>T<sub>0</sub></b>	1,0045	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,662 4	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9873	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as médias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.11-Teste *t-student* à variável qualitativa Declive médio.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Declive médio	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	4,1521	4,1271
<b>Variância</b>	0,0311	0,0434
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	91	
<b>T<sub>0</sub></b>	0,6347	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6618	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9864	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as médias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.12-Teste *t-student* à variável qualitativa Paragens.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Paragens	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (valores)	5,9598	5,2565
<b>Variância</b>	2,6320	1,4399
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	87	
<b>T<sub>0</sub></b>	2,4148	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6626	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9876	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.13-Teste *t-student* à variável qualitativa Peso médio.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Peso médio	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (valores)	4,6850	4,9494
Variância	0,0905	0,1053
Graus de liberdade (GL)	93	
T <sub>0</sub>	-4,1389	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6614	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9858	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.14-Teste *t-student* à variável quantitativa Distância de travagem/Distância total.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Distância de travagem/Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	7,2646	2,2854
Variância	4,9474	1,0957
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	67	
T <sub>0</sub>	14,0328	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6679	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9960	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.15-Teste *t-student* à variável quantitativa Distância de travagem sem desgaste/Distância total.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Distância de travagem sem desgaste/Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (%)	8,3500	11,6396
Variância	22,4621	11,1033
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	84	
T <sub>0</sub>	-3,9338	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6632	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9886	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		



**Tabela A2.16-Teste *t-student* à variável quantitativa Distância percorrida com >85,00 km/h.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Distância de travagem sem desgaste/Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média (%)</b>	12,5729	7,0771
<b>Variância</b>	93,8501	28,3584
<b>Hipótese diferença da média</b>	0	
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	73	
<b>T<sub>0</sub></b>	3,4443	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6660	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9930	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.17-Teste *t-student* à variável quantitativa % sem acelerador.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias iguais	% sem acelerador	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média (%)</b>	39,6104	45,2479
<b>Variância</b>	12,4137	23,7991
<b>Hipótese diferença da média</b>	0	
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	94	
<b>T<sub>0</sub></b>	-6,4905	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6612	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9855	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.18-Teste *t-student* à variável quantitativa *Cruise control*/Distância total.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	<i>Cruise control</i> /Distância total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média (%)</b>	10,5667	8,1563
<b>Variância</b>	120,9682	131,1570
<b>Hipótese diferença da média</b>	0	
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	94	
<b>T<sub>0</sub></b>	1,0517	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6612	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9855	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as médias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.19-Teste *t-student* à variável quantitativa Velocidade média.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Velocidade média	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (km/h)	50,2809	48,3146
Variância	18,5816	9,9817
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	84	
T <sub>0</sub>	2,5315	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6632	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9886	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.20-Teste *t-student* à variável quantitativa Paragens/100 km.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Paragens/100 km	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (n/100 km)	44,9249	36,7387
Variância	547,0176	132,5513
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	69	
T <sub>0</sub>	2,1756	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6672	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9949	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.21-Teste *t-student* à variável quantitativa Tempo de condução/100 km.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias iguais	Tempo de condução/100 km	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (h:min:s)	02:03:43	02:06:09
Variância	00:00:04	00:00:03
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	94	
T <sub>0</sub>	-1,3170	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6612	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9855	
<i>Não se rejeita H<sub>0</sub>: as médias não são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.22-Teste *t-student* à variável quantitativa Tempo em ralenti/100 km.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Tempo em ralenti/100 km	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (h:min:s)	00:24:08	00:11:41
<b>Variância</b>	00:00:06	00:00:01
<b>Hipótese diferença da média</b>	0	
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	63	
<b>T<sub>0</sub></b>	6,4448	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6694	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9983	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.23-Teste *t-student* à variável quantitativa Consumo médio total.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Consumo médio total	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (l/100 km)	34,1854	27,9938
<b>Variância</b>	6,0685	1,7542
<b>Hipótese diferença da média</b>	0	
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	72	
<b>T<sub>0</sub></b>	15,3373	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6663	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9935	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.24-Teste *t-student* à variável quantitativa Consumo médio em condução.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Consumo médio em condução	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
<b>Média</b> (l/100 km)	32,9896	27,4250
<b>Variância</b>	4,3239	1,5121
<b>Hipótese diferença da média</b>	0	
<b>Graus de liberdade (GL)</b>	76	
<b>T<sub>0</sub></b>	15,9585	
<b>T<sub>crítico uni-caudal</sub></b>	1,6652	
<b>T<sub>crítico bi-caudal</sub></b>	1,9917	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.25-Teste *t-student* à variável quantitativa Consumo médio em ralenti.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Consumo médio em ralenti	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (l/100 km)	1,1958	0,5688
Variância	0,3353	0,0537
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	62	
T <sub>0</sub>	6,9659	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6698	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9990	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.26-Teste *t-student* à variável quantitativa Emissões de CO<sub>2</sub> médias.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Emissões de CO <sub>2</sub> médias	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (g/km)	898,9938	736,1083
Variância	4188,0836	1226,8340
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	72	
T <sub>0</sub>	15,3358	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6663	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9935	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		

**Tabela A2.27-Teste *t-student* à variável quantitativa Peso médio.**

Teste <i>t-student</i> - Duas amostras com variâncias desiguais	Peso médio	
	Semanas 1-4	Semanas 5-8
Média (t)	23,5208	24,2708
Variância	0,9357	1,0527
Hipótese diferença da média	0	
Graus de liberdade (GL)	94	
T <sub>0</sub>	-3,6849	
T <sub>crítico uni-caudal</sub>	1,6612	
T <sub>crítico bi-caudal</sub>	1,9855	
<i>Rejeita-se H<sub>0</sub>: as médias são estatisticamente diferentes.</i>		