



Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SECTOR DOS TRANSPORTES
RODOVIÁRIOS: METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DO
EXCESSO DE ENERGIA CONSUMIDA DEVIDO AO FACTOR
COMPORTAMENTAL NA CONDUÇÃO DE VEÍCULOS
AUTOMÓVEIS LIGEIOS

NUNO Barros Rodrigues de CASTRO PEREIRA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Energia e Bioenergia

Orientador: Doutor Gonçalo Gonçalves

Co-orientador: Professor Doutor Nuno Lapa

Lisboa, Fevereiro de 2011

*O conteúdo da presente dissertação é da inteira responsabilidade do autor.
Não é autorizada a cópia, total ou parcial, do conteúdo da presente dissertação.
É autorizada a citação do conteúdo da presente dissertação, desde que acompanhada da respectiva referência bibliográfica, de acordo com as normas internacionais de citação de trabalhos científicos.*

Copyright

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem 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 objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.

Agradecimentos

À DTEA - Transportes, Energia e Ambiente, do IST, em especial ao Doutor Gonçalo Gonçalves pela orientação deste trabalho, pelos meios postos à disposição e sobretudo pela disponibilidade constante ao longo do último ano.

Ao Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa, em particular à Professora Doutora Benilde Mendes, pela coordenação e disponibilidade demonstrada.

Ao Professor Doutor Nuno Lapa pela co-orientação deste trabalho e pelo apoio prestado ao longo de todo o mestrado.

A todas as pessoas monitorizadas e às que se disponibilizaram para o serem, que foram mais do que o tempo disponível permitiu.

Ao Bruno, Mário e Ricardo, colegas com os quais foi um privilégio trabalhar.

Ao Mestrado em Energia e Bioenergia, cuja frequência mudou para sempre a minha vida.

Aos meus pais e aos meus irmãos, cujo incentivo para a frequência deste mestrado foi fundamental para voltar à vida académica.

E em especial à minha mulher, pelo apoio constante e paciência infinita.

Resumo

O presente trabalho apresenta uma proposta de metodologia e um caso de estudo para quantificar o efeito do factor comportamental na melhoria da eficiência energética no sector dos transportes rodoviários em meio urbano e extra-urbano. Utilizaram-se *dataloggers* EOBD (*European On Board Diagnosis*) para monitorizar 49 condutores de modo a obter o perfil de condução de condução de cada um na forma de uma distribuição de VSP (*Vehicle Specific Power*) de cada um deles. Todos os dados obtidos foram registados na estrada, em ambiente real de utilização das viaturas. Para comparar o factor comportamental, independentemente do veículo conduzido e do percurso efectuado desenvolveu-se uma metodologia baseada nos modos VSP. A análise efectuada permite comparar os consumos de combustível para condições semelhantes de todos os condutores, quantificando a variação de consumo de todos estes em relação ao mais eficiente. Adicionalmente quantifica-se o efeito de uma alteração legislativa semelhante ao Decreto-Lei nº 157/2007 da Comunidade da Catalunha, que limita a velocidade máxima de circulação nas principais vias de acesso à cidade de Barcelona a 80 km/h. A aplicação da metodologia desenvolvida mostra que o factor comportamental sem alteração de legislação representa um potencial de poupança de energia final de 174 tep. A alteração do limite de velocidade em auto-estrada de 120 km/h para 80 km/h pode reduzir o consumo de energia final em 300 tep.

Palavras-chave: Eficiência energética, VSP, factor comportamental, consumo de combustível, transportes rodoviários.

Abstract

This paper proposes a methodology and a case study to quantify the effect of behavior in improving energy efficiency of road transportation in urban and extra urban environment. EOBD (European On Board Diagnosis) dataloggers were used to monitor 49 drivers to get each one's profile as a VSP (Vehicle Specific Power) distribution. All acquired data was recorded on road, in the vehicle's normal environment. To compare the behavioral factor, independently of driven vehicle and route, a methodology based on VSP modes was developed. The analysis compares fuel consumption for similar conditions for all drivers, quantifying all of them, regarding the most efficient. Additionally, the effect of a legislation change similar to the Catalonia's Community Decree 157/2007, which limits the driving speed on the main Barcelona's access roads to 80 km/h, is quantified. The results show that behavior change without a legislation change represents a final energy economy potential of 174 toe. The speed limit change from 120 km/h to 80 km/h can reduce final energy consumption by 300 toe.

Keywords: Energy efficiency, behavior, fuel consumption, road transportation

Lista de abreviaturas

CAFE	<i>Corporate Average Fuel Economy</i>
CI	Corte de injeção
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
ECE-15	Ciclo de condução urbano
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EOBD	<i>European OnBoard diagnosis</i>
EPA	<i>US Environment Protection Agency</i>
EUA	Estados Unidos da América
EUDC	Ciclo de condução extra-urbano
GEE	Gases com efeito de estufa
GPS	Sistema global de posicionamento
IO	Índice de octano
IST	Instituto Superior Técnico
ISV	Imposto sobre veículos
IUC	Imposto único de circulação
kgep	Quilograma equivalente de petróleo
l/100km	Litros aos 100 km
MAF	Caudal de massa de ar
MOVES	<i>MOtor Vehicle & equipment Emission System</i>
N/A	Não Aplicável
NEDC	Novo ciclo de condução europeu
PCI	Poder calorífico inferior
PIB	Produto Interno Bruto
PM10	Partículas com diâmetro inferior a 10 μ m
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
RPM	Rotações por minuto
tep	Tonelada equivalente de petróleo
UE	União Europeia

Simbologia

a	Aceleração do veículo (m/s^2)
A	Área frontal do veículo (m^2)
C_a	Coefficiente aerodinâmico (adimensional)
Consumo _g	Consumo de combustível (g)
Consumo _{l/100km}	Consumo de combustível (l/100km)
C_r	Coefficiente de resistência ao rolamento (adimensional)
D	Distância percorrida (km)
d	Distância percorrida (m)
E_C	Energia cinética (J)
E_P	Energia potencial (J)
E_{Viagem}	Energia consumida numa determinada viagem (kWh)
F_{Aer}	Força provocada pela resistência aerodinâmica (N)
F_{Rol}	Força provocada pela resistência ao rolamento (N)
g	Aceleração da gravidade ($9,81 m/s^2$)
g	Aceleração da gravidade ($9,81 m/s^2$)
m	Massa do veículo (kg)
$P_{Acessórios}$	Potência consumida pelos acessórios (kW)
P_{motor}	Potência produzida pelo motor (kW)
$P_{tracção}$	Potência necessária para tracção (kW)
t	Tempo de condução (s)
V	Velocidade do veículo (m/s)
\bar{V}	Velocidade média (km/h)
VSP	Potência específica do veículo (W/kg)
α	Ângulo de inclinação da estrada (rad)
$\eta_{transmissão}$	Rendimento da transmissão (adimensional)
ρ	Massa volúmica do ar (kg/m^3)

Definições

<i>Datalogger</i>	Aparelho utilizado para o registo de diversos parâmetros de funcionamento do veículo
Dependência energética	Relação entre energia primária importada e energia primária total consumida no país
Energia Final	Energia disponibilizada ao consumidor final, sob a forma de eletricidade ou combustível (líquido, sólido ou gasoso)
Energia primária	Recurso energético disponível na natureza (petróleo, vento, recursos hídricos, radiação solar, gás natural, etc.)
Intensidade energética	Rácio entre energia primária consumida e produção económica
Ponto-morto	Veículo com motor em funcionamento com caixa de velocidades sem qualquer relação engrenada
Porta OBD-II	Ficha de diagnóstico, obrigatória em todos os veículos Euro III e posteriores
Ralenti	Regime de funcionamento do motor, quando se encontra em ponto-morto

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Panorama energético no sector dos transportes.....	1
1.2.	Factor comportamental e eco-condução.....	6
1.3.	Objectivos do presente trabalho	11
2.	Material e métodos	15
2.1.	Trabalho realizado.....	15
2.2.	Recolha de dados.....	15
2.3.	Caracterização da amostra.....	17
2.4.	Distribuição VSP (<i>Vehicle Specific Power</i>).....	22
2.5.	Normalização do veículo conduzido	27
2.6.	Normalização do percurso.....	30
2.6.1.	Relação VSP médio – Velocidade média.....	31
2.6.2.	Velocidade média em função do modo VSP médio.....	32
2.6.3.	Distância percorrida no percurso normalizado.....	34
2.6.4.	Tempo de condução	35
2.7.	Alteração do limite de velocidade máximo de 120 km/h para 80 km/h.....	37
2.8.	Eco-condução.....	38
2.9.	Medidas de dispersão e análise estatística.....	39
3.	Resultados e discussão	41
3.1.	Consumo global de combustível e comparação com o ciclo NEDC.....	41
3.2.	Efeito obtido por alteração comportamental sem normalização de percurso.....	45
3.3.	Caso de estudo da região da Grande Lisboa.....	49
3.3.1.	Efeito obtido por alteração comportamental com normalização de percurso	49
3.3.2.	Efeito de limitação da velocidade máxima a 80 km/h.....	54
3.3.3.	Quantificação do factor comportamental	56
3.4.	Resultados de eco-condução	59
4.	Conclusões	67
5.	Propostas de trabalhos futuros.....	69

6. Referências Bibliográficas 71

Índice de ilustrações

Figura 1.1 - Evolução da intensidade energética em Portugal e na UE entre 1997 e 2008 [2]	1
Figura 1.2 - Evolução da dependência energética em Portugal e na UE [2]	2
Figura 1.3 - Consumo energia final total e no sector dos transportes em Portugal 1997-2008 [2]	3
Figura 1.4 - Peso relativo dos meios de transporte de passageiros [2]	4
Figura 1.5 - Evolução da eficiência energética nos Estados Unidos da América (EUA) 1923-2006 [5]	5
Figura 1.6 - Zonas de aplicação do limite de velocidade de 80 km/h na cidade de Barcelona [7]	6
Figura 1.7 - Diferença diária de consumo de combustível nas vias afectadas na cidade de Barcelona entre 2007 e 2008 [8]	7
Figura 1.8 - Consumo médio em função da velocidade de cruzeiro Ford Focus 2.3 [9]	7
Figura 1.9 - Peso dos impostos sobre combustíveis em Portugal e EUA em Outubro de 2010 [14] [15]	10
Figura 1.10 - Área considerada "Grande Lisboa" (imagem adaptada de <i>Google Maps</i> [16])	12
Figura 1.11 - Registo de velocidades instantâneas (V) no Eixo N-S em 2008 [18]	13
Figura 1.12 - Ciclo de condução NEDC	13
Figura 2.1 - Carchip Fleet Pro [19]	15
Figura 2.2 - <i>Software</i> Carchip [19]	17
Figura 2.3 - Critério de separação entre condução urbana e extra-urbana	18
Figura 2.4 - Perfis de velocidade dos condutores monitorizados	21
Figura 2.5 - Perfil VSP do ciclo NEDC e dos condutores 1 a 25	25
Figura 2.6 - Perfil VSP dos condutores 26 a 49	26
Figura 2.7 - Consumo da viatura padrão em função do modo VSP [23]	27
Figura 2.8 - Perfil VSP do ciclo NEDC completo.	28
Figura 2.9 - Ciclo de condução urbano (ECE-15) [26]	29
Figura 2.10 - Ciclo de condução extra-urbano (EUDC)[26]	29
Figura 2.11 - Comparação do consumo da viatura padrão obtido a partir do perfil VSP com os dados anunciados	30
Figura 2.12 - Relação entre VSP médio e Velocidade média	31
Figura 2.13 - Relação entre VSP médio e Velocidade média em condução urbana	32

Figura 2.14 - Relação entre VSP médio e Velocidade média em condução extra-urbana	32
Figura 2.15 - Alteração do perfil de velocidade para limitar a velocidade máxima a 80 km/h.....	37
Figura 3.1 - Consumo total de combustível de cada condutor comparado com consumo NEDC	41
Figura 3.2 - Consumo total de combustível em função da velocidade média.....	42
Figura 3.3 - Consumo de combustível em função da velocidade média em percurso urbano	43
Figura 3.4 - Consumo de combustível em função da velocidade média em percurso extra-urbano	43
Figura 3.5 - Comparação entre ciclo NEDC e amostra de condutores estudados.....	44
Figura 3.6 - Potencial de redução de consumo de combustível para cada tipo de percurso sem normalização de percurso	49
Figura 3.7 - Alteração do consumo total de combustível com normalização de percurso.....	52
Figura 3.8 - Comparação do consumo de combustível do "condutor padrão" com a média dos condutores (percurso normalizado)	53
Figura 3.9 - Comparação do consumo de combustível do ciclo NEDC e do "condutor padrão"	53
Figura 3.10 - Diferença entre consumo real e consumo de combustível com um limite de velocidade de 80 km/h.....	56
Figura 3.11 - Percentagem de tempo, por condutor, com rotação do motor superior a 3.000 RPM.....	60
Figura 3.12 - Número de travagens fortes e muito fortes por condutor	61
Figura 3.13 - Travagens fortes ou muito fortes por cada 100 quilómetros	62
Figura 3.14 - Número de acelerações fortes e muito fortes.....	63
Figura 3.15 - Número de acelerações fortes ou muito fortes por cada 100 quilómetros.....	64
Figura 3.16 - Percentagem de tempo ao ralenti.....	65
Figura 3.17 - Percentagem do tempo de condução passado em CI por condutor.....	66

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Caracterização dos parâmetros monitorizados [19]	16
Tabela 2.2 - Caracterização dos condutores monitorizados	18
Tabela 2.3 - Modos VSP [21].....	24
Tabela 2.4- Velocidade média em percurso urbano (percurso normalizado).....	33
Tabela 2.5 - Velocidade média em percurso extra-urbano (percurso normalizado)	34
Tabela 2.6 - Tempo de condução no percurso normalizado.....	36
Tabela 3.1 - Hierarquização de consumo combustível em percurso urbano para viatura padrão	46
Tabela 3.2 - Hierarquização de consumo de combustível em percurso extra-urbano para a viatura padrão	47
Tabela 3.3 - Hierarquização do consumo total de combustível com normalização de percurso.....	50
Tabela 3.4 - Efeito da redução do limite de velocidade para 80 km/h	54
Tabela 3.5 - Vendas de combustíveis rodoviários na região da Grande Lisboa em 2007 [27]	57
Tabela 3.6 - Factores de conversão de energia para gasolina e gasóleo.....	57
Tabela 3.7 - Valor energético dos combustíveis rodoviários vendidos na área definida como Grande Lisboa	58
Tabela 3.8 - Potencial de poupança energética devido ao factor comportamental.....	58

1. Introdução

1.1. Panorama energético no sector dos transportes

Em Portugal a última década do século XX e os primeiros anos do século XXI caracterizaram-se por um crescimento médio do consumo de energia final de 3,2% ao ano, enquanto o produto interno bruto (PIB) cresceu a uma média de 2,5% ao ano [1].

Neste período a intensidade energética - indicador que relaciona a energia consumida com a produção económica - agravou-se consideravelmente, em comparação com a média da União Europeia (UE), conforme se pode observar na Figura 1.1.

Na Figura 1.2 a intensidade energética é obtida pela divisão da energia primária total consumida em Portugal pelo PIB nacional [2].

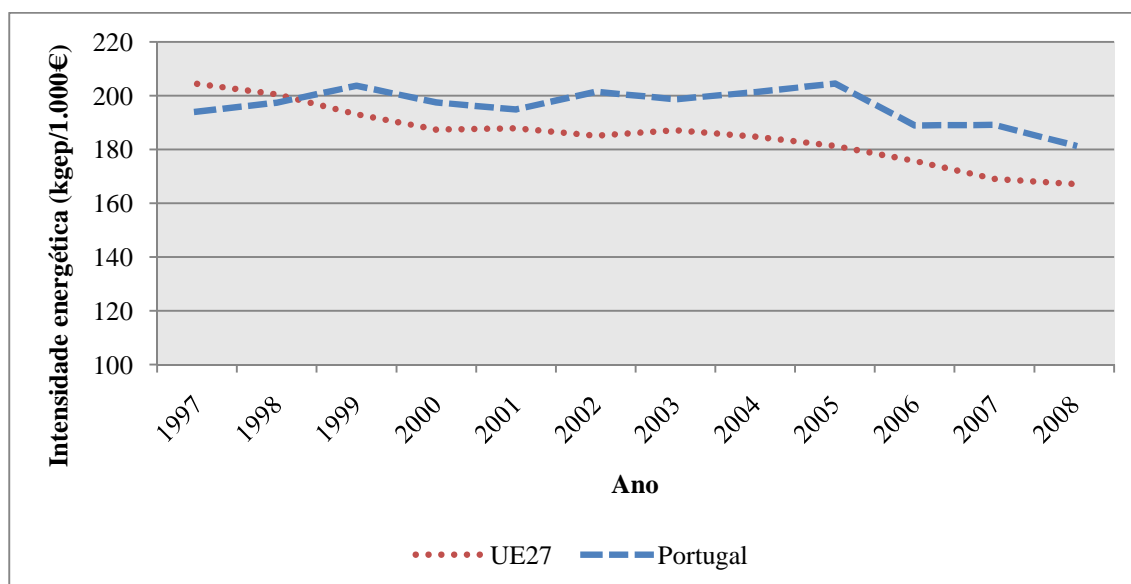


Figura 1.1 - Evolução da intensidade energética em Portugal e na UE entre 1997 e 2008 [2]

Até ao ano de 2005 Portugal divergiu de uma forma acentuada da UE, passando de um cenário em que o país necessitava de menos energia para produzir 1.000 € de PIB do que a média dos 27 países actuais da UE, para a situação oposta, que se agravou até esse ano.

É de realçar que no período abrangido pela Figura 1.1, a UE reduziu de uma forma consistente a sua intensidade energética.

A partir de 2005, Portugal inverteu a tendência de crescimento da intensidade energética e conseguiu uma ligeira convergência com a média da UE. Esta convergência é essencial para a competitividade do país, e depende de dois factores fundamentais: o aumento da capacidade produtiva e melhoria

considerável da eficiência energética (que significa um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis).

Se considerarmos a actual dependência energética (relação entre energia primária importada e energia primária consumida) do país, o segundo factor assume ainda maior importância, uma vez que também a este nível Portugal está muito acima da média dos parceiros da UE (Figura 1.2).

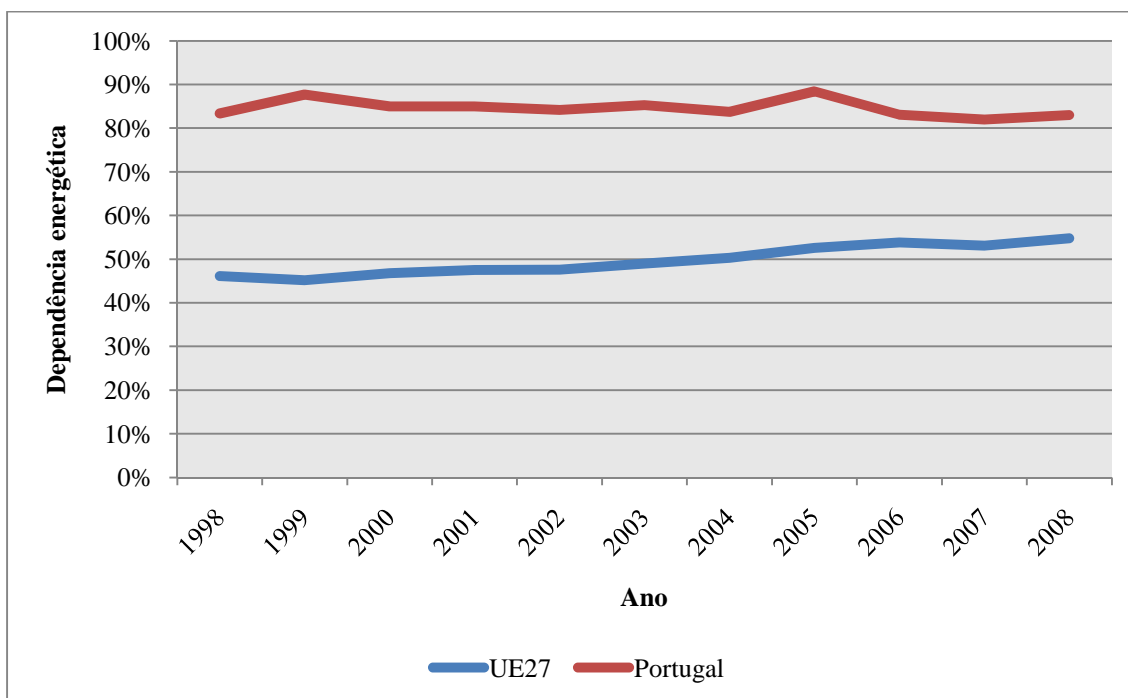


Figura 1.2 - Evolução da dependência energética em Portugal e na UE [2]

Na Figura 1.2 é possível observar a grande dependência da UE a nível energético, que nos últimos anos ultrapassou os 50%, e a dependência de Portugal, superior a 80%, tendo mesmo chegado perto dos 90% em 2005.

A convergência com a média europeia observada nos últimos anos não se deve a uma melhoria substancial do panorama português, mas sim à degradação deste indicador a nível da média da UE, devido ao grande crescimento económico observado na maioria dos países que entraram nos dois últimos alargamentos da União [2].

Neste contexto a eficiência energética assume uma importância cada vez maior, seja para reduzir a dependência e desta forma diminuir não só o risco de falhas de fornecimento mas também o custo económico de um recurso vital mas escasso no espaço da União (o petróleo), ou para atingir os objectivos traçados para as emissões de gases com efeito de estufa (GEE), como o CO₂, no protocolo de Quioto [3].

No âmbito desta dissertação, entende-se por “Eficiência energética” o rácio entre o resultado em termos de desempenho e dos serviços, bens ou energia gerados e a energia utilizada para o efeito, e por

“Melhoria da eficiência energética” o aumento da eficiência na utilização final da energia resultante de alterações tecnológicas, comportamentais e/ou económicas [3].

A UE estima que 20% da energia final consumida no espaço da União é desperdiçada [4]. Se considerarmos o cenário descrito na Figura 1.2, é facilmente perceptível a importância da melhoria da eficiência energética não só na UE, mas sobretudo em Portugal.

A Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho tem como objectivo alterar o quadro descrito anteriormente, obrigando os Estados-Membros a adoptar medidas concretas, na forma de um plano que terá de ser devidamente enquadrado e acompanhado. Em Portugal esta Directiva foi transposta para a legislação nacional através da Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008, que aprovou o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), também designado por “Portugal Eficiência 2015” [1].

Este plano abrange 4 sectores específicos: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado [1].

Em Portugal, o sector dos transportes é responsável por mais de um terço da energia final consumida (Figura 1.3), tendo o seu peso relativo vindo-se a agravar de forma sistemática.

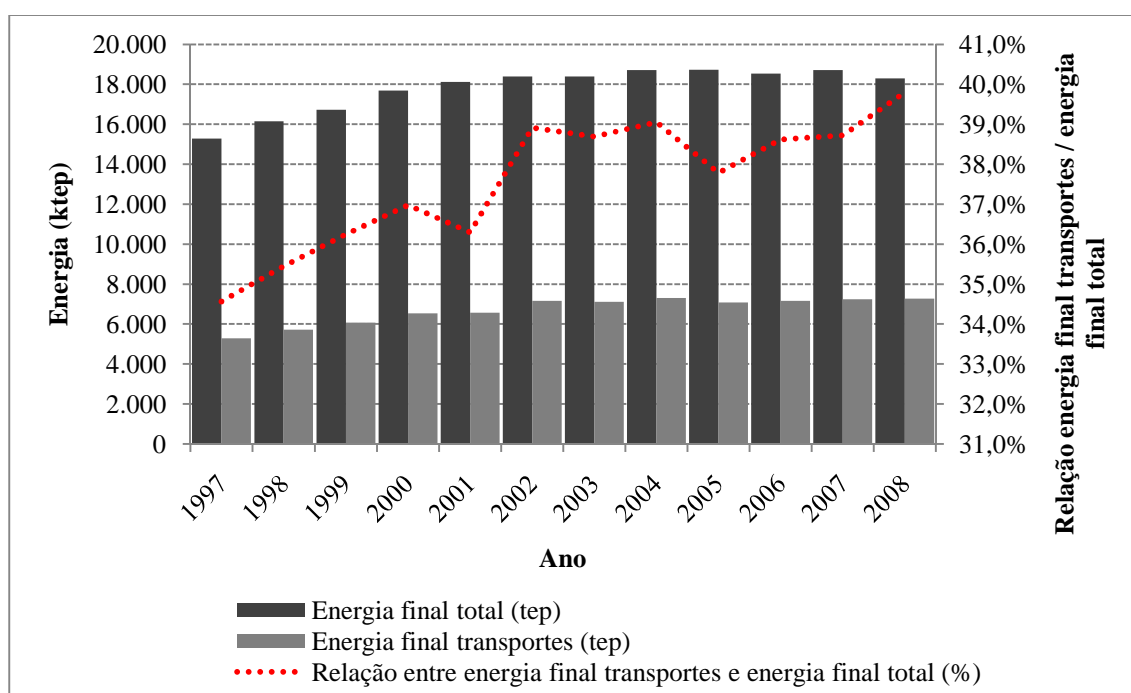


Figura 1.3 - Consumo de energia final total e no sector dos transportes em Portugal entre 1997 e 2008 [2]

O sector dos transportes tem assim uma importância vital, e um potencial de melhoria significativo, particularmente no que diz respeito aos transportes rodoviários, que representam perto de 90% do sector e com elevadas taxas de crescimento anuais [1].

Dentro do sector dos transportes rodoviários de passageiros destaca-se o automóvel, que não só é largamente maioritário, como tem visto o seu peso relativo aumentar nos últimos anos, conforme se pode observar na Figura 1.4.

O PNAEE prevê algumas medidas para contrariar esta tendência, tais como o ordenamento do território e mobilidade urbana nas capitais de distrito, planos de mobilidade urbana em *Office parks* e parques industriais, melhoria da eficiência dos transportes públicos e plataformas de gestão de tráfego nos grandes centros urbanos. A poupança estimada de energia devido a estas medidas em 2015 deverá ser 130 ktep.

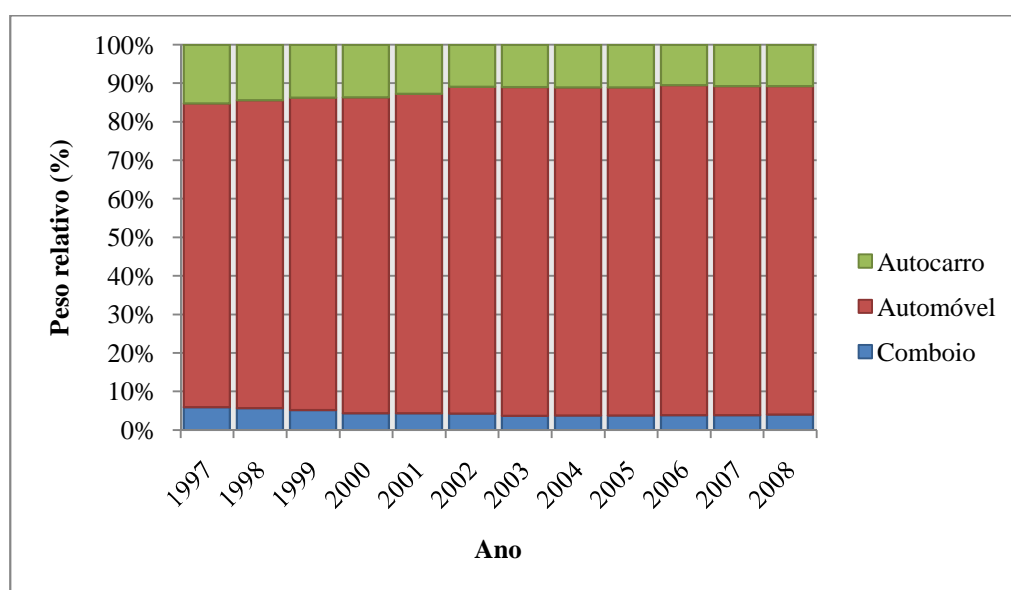


Figura 1.4 - Peso relativo dos meios de transporte de passageiros [2]

Na parte relativa ao transporte automóvel, o PNAEE engloba 4 programas que visam estimular a aquisição de veículos e produtos energeticamente mais eficientes [1]:

- 1) Revitalização do abate de automóveis em fim de vida. Este programa inclui um incentivo fiscal na aquisição de veículos novos e abate de viaturas em fim de vida, imposto sobre veículos (ISV) e imposto único de circulação (IUC) com uma componente ambiental, calculada sobre as emissões de CO₂, sendo o objectivo a redução do peso de viaturas com mais de 10 anos em circulação de 37% em 2008 para 35% em 2010 e 30% em 2015.
O incentivo para abate de viaturas velhas não foi incluído no Orçamento de Estado de 2011.
- 2) Tributação verde. Além da alteração de cálculo referida no ponto anterior, inclui a isenção de ISV para veículos eléctricos e redução de 50% para veículos híbridos. O objectivo é alcançar emissões médias de CO₂ nos veículos novos de 120 g/km em 2010 e 110 g/km em 2015.
- 3) Campanha “Pneu certo” e eficiência *fuel*. Incentivar a verificação periódica da pressão dos pneumáticos e acordos voluntários com fabricantes automóveis para a aplicação de pneus com baixa resistência ao rolamento.

A eficiência *fuel* consiste no incremento na utilização de aditivos e lubrificantes mais eficientes, através de campanhas de informação e etiquetagem de produtos.

- 4) Novos veículos mais conscientes para a poupança de combustível. Consiste em acordos voluntários com os fabricantes automóveis para a inclusão de equipamentos que estimulem uma condução mais eficiente em termos energéticos, tais como computadores de bordo, sistemas de navegação por GPS, sistemas de controlo da velocidade de cruzeiro ou sistemas de verificação automática da pressão dos pneus.

O efeito estimado destas medidas em 2015 será de aproximadamente 300 ktep [1].

O efeito conjugado das medidas relativas à maior utilização de transportes públicos (130 ktep) e ao aumento da eficiência dos automóveis (300 ktep) é bastante significativo, mas depende em grande parte de uma mudança de mentalidade dos utilizadores usuais de automóvel particular.

A maior parte dos resultados previstos devem-se a factores que dificilmente são controlados pelo mercado nacional, uma vez que dependem da evolução tecnológica dos veículos automóveis, da aplicação das normas europeias e da visão comercial dos diferentes fabricantes no que diz respeito à instalação de equipamentos que contribuam para uma condução mais eficiente, como por exemplo computadores de bordo.

A evolução tecnológica é por vezes estimulada por factores externos, como as crises do petróleo dos anos 70 e 80 do século passado, que levaram a uma melhoria da eficiência energética de 42% em menos de 20 anos, como se pode ver na Figura 1.5 [5].

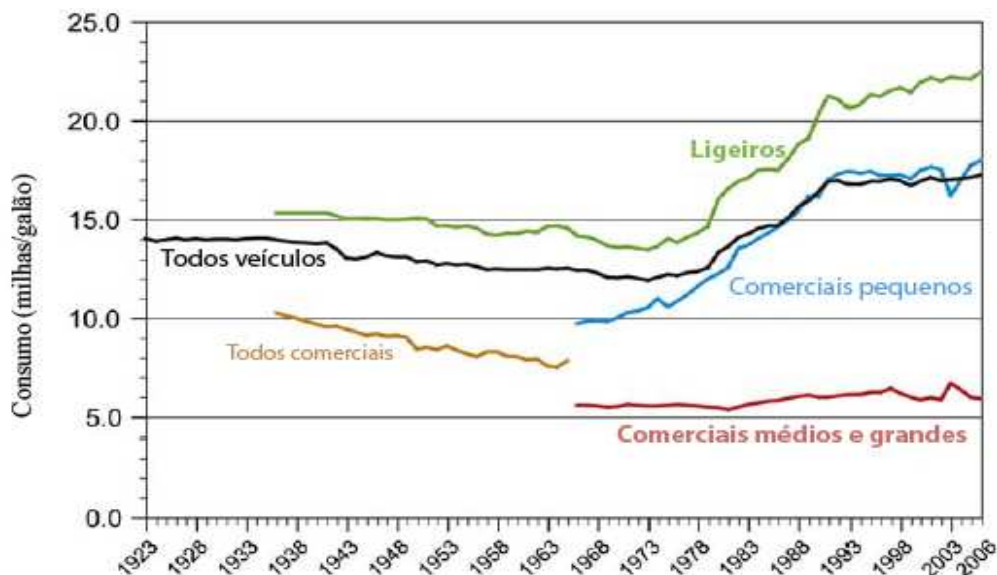


Figura 1.5 - Evolução da eficiência energética nos Estados Unidos da América (EUA) 1923-2006 [5]

Se por um lado o PNAEE contabiliza uma redução significativa devido ao aspecto comportamental (considerando que a substituição do automóvel pelo transporte público é uma mudança comportamental), não se considera nenhuma redução em função de uma utilização do automóvel, por parte do condutor particular, mais eficiente em termos energéticos.

1.2. Factor comportamental e eco-condução

A área comportamental pode representar uma poupança de energia cujo impacto está ainda longe de ser determinado, mas existem alguns exemplos que mostram o seu potencial.

O Decreto-Lei da Comunidade da Catalunha nº 152/2007 aplica uma série de medidas com vista à melhoria da qualidade do ar, que em 2007 ultrapassava largamente os valores máximos definidos na legislação europeia, sobretudo no que diz respeito aos níveis de partículas (PM10) e óxidos de azoto (NO_x) [6].

Uma das medidas aplicadas alterou o limite de velocidade em determinadas estradas de acesso à cidade de Barcelona de 120 km/h para 80 km/h (Figura 1.6).

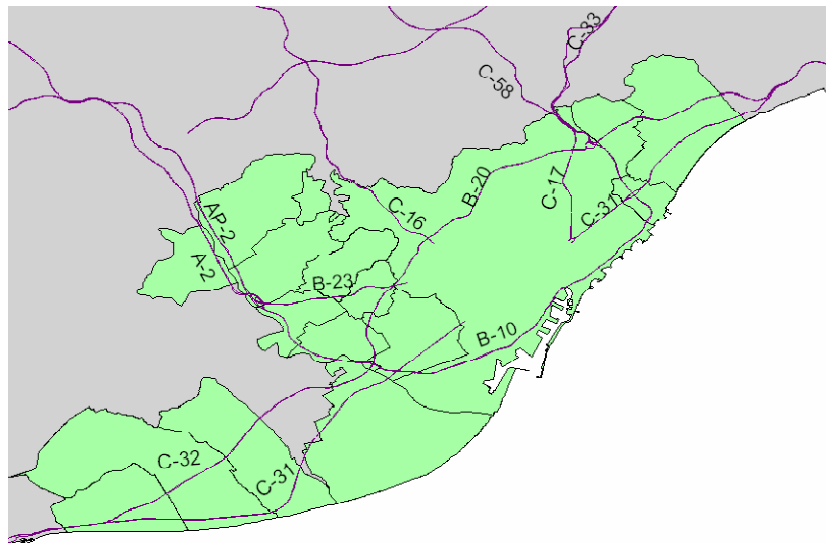


Figura 1.6 - Zonas de aplicação do limite de velocidade de 80 km/h na cidade de Barcelona [7]

Os resultados desta medida no ano 2008 revelaram uma redução das emissões poluentes, conforme pretendido, mas mostram também uma redução de emissões de CO₂ de 60.000 t/ano e uma redução de 25,5 milhões de litros no consumo de combustíveis (gasolina e gasóleo), correspondentes a aproximadamente 33,4 ktep (Figura 1.7) [8].

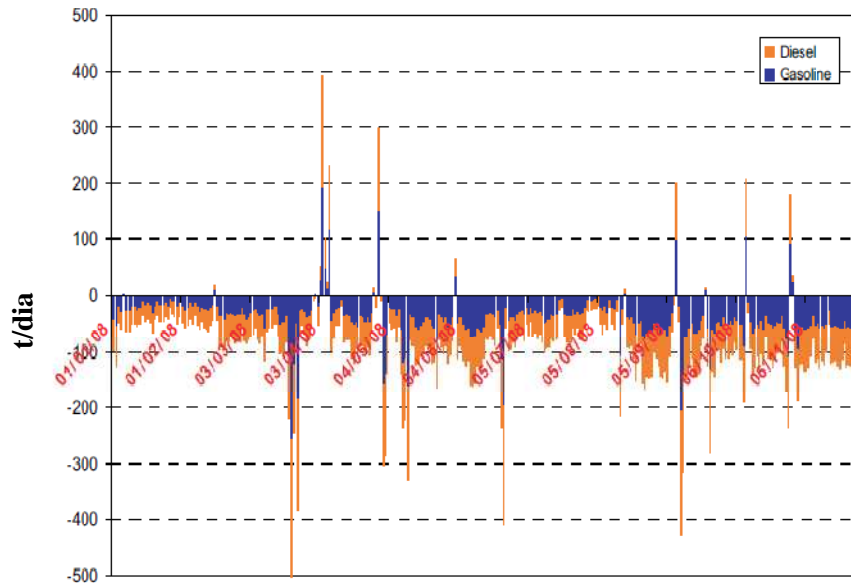


Figura 1.7 - Diferença diária de consumo de combustível nas vias afectadas na cidade de Barcelona entre 2007 e 2008 [8]

Esta diferença deve-se à circulação a uma velocidade de cruzeiro mais eficiente sob o ponto de vista energético durante períodos de tempo mais alargados (Figura 1.8), à redução de viaturas em circulação e à redução da agressividade na condução.

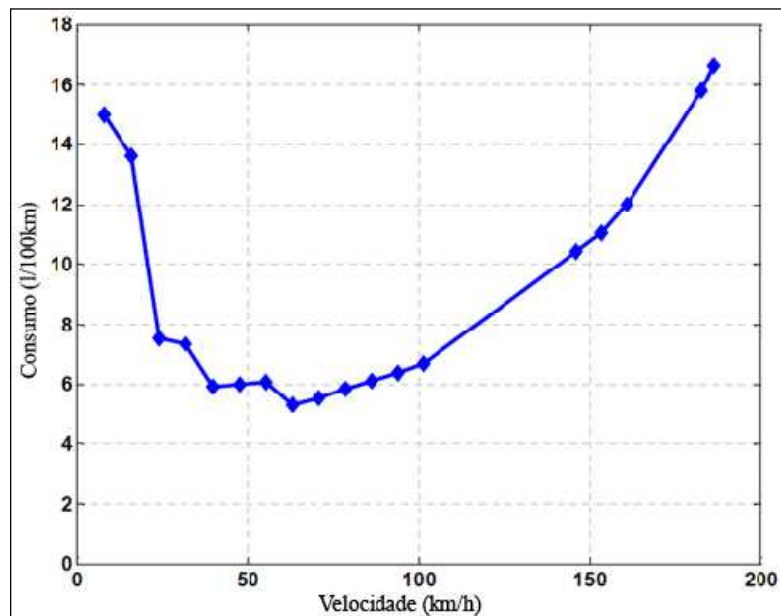


Figura 1.8 - Consumo médio em função da velocidade de cruzeiro Ford Focus 2.3 [9]

Considerando que em condução extra urbana, a agressividade depende dos factores velocidade e aceleração [9], fazendo com que os condutores circulem a uma velocidade moderada e evitando acelerações fortes, é possível obter resultados bastante significativos com uma alteração comportamental.

A definição das vias de acesso sujeitas à alteração do limite de velocidade foi feita de acordo com alguns critérios, sendo o mais importante o tempo extra de viagem, que em nenhum caso podia exceder os 3 minutos [8]. O limite de velocidade foi alterado numa extensão total de 80,7 km em cada sentido.

O caso de Barcelona é apenas um exemplo do potencial da eco-condução em termos de melhoria da eficiência energética, sendo de realçar que o objectivo original nem sequer está directamente relacionado com este tema.

A eco-condução, além de evitar velocidades elevadas e acelerações fortes, consiste em evitar regimes de rotação do motor muito elevados, antecipando as mudanças de relações de caixa de velocidades, manter uma velocidade constante e manter o veículo em boas condições de manutenção [10].

A velocidade e a aceleração, juntamente com uma gestão eficiente da caixa de velocidades, são os factores dependentes do condutor que mais influenciam o consumo.

A Equação 1.1 mostra essa situação [10]:

$$P_{tracção} = \frac{m}{1000} V [a + g \cdot \text{sen}(\alpha)] + \frac{V}{1000} \left[mgC_r + \frac{\rho}{2} V^2 A \cdot C_a \right] \quad (\text{Equação 1.1})$$

Em que:

$P_{tracção}$	Potência necessária para tracção (kW)
m	Massa do veículo (kg)
V	Velocidade do veículo (m/s)
a	Aceleração do veículo (m/s ²)
g	Aceleração da gravidade (9,81 m/s ²)
α	Ângulo de inclinação da estrada (rad)
C_r	Coefficiente de resistência ao rolamento (adimensional)
ρ	Massa volúmica do ar (kg/m ³)
A	Área frontal do veículo (m ²)
C_a	Coefficiente aerodinâmico (adimensional)

No entanto, nem toda a potência produzida pelo motor é utilizada para tracção. Há que considerar a potência necessária para accionar os acessórios (alternador ou ar condicionado, por exemplo) e a potência dissipada pela transmissão, conforme se mostra na Equação 1.2 [19].

$$P_{motor} = \frac{P_{tracção}}{\eta_{transmissão}} + P_{acessórios} \quad (\text{Equação 1.2})$$

Em que:

P_{motor}	Potência produzida pelo motor (kW)
$\eta_{transmissão}$	Rendimento da transmissão (adimensional)
$P_{acessórios}$	Potência consumida pelos acessórios (kW)

Assim, a energia consumida numa determinada viagem (E_{viagem}) será [10]:

$$E_{viagem} = \int_0^t P_{motor} dt \quad (\text{Equação 1.3})$$

Se a unidade de tempo for a hora, a energia será dada em kWh.

As equações anteriores permitem perceber a importância dos factores mencionados (velocidade e aceleração) no consumo de combustível de um veículo automóvel.

No entanto, há outros factores que podem ter também um peso muito significativo.

O portal de nacional de eco-condução [11] aponta outras técnicas de eco-condução tais como a condução por antecipação, evitar situações de ralenti, manter uma mudança engrenada nas descidas e saber analisar os consumos, de modo a promover a redução do consumo de combustível.

A condução por antecipação pretende avaliar em tempo útil as condições de tráfego, permitindo adaptar as intenções do condutor ao que se passa à sua volta, evitando acelerações e travagens fortes.

O tempo que o motor passa ao ralenti é, todo ele, caracterizado por um desperdício de energia, já que o motor consome combustível que não produz qualquer trabalho útil.

Nos veículos de injeção electrónica, a injeção de combustível é cortada quando o pedal do acelerador não é pressionado e o motor está acima de um determinado regime de rotação, que varia conforme o construtor, estando normalmente entre as 1.500 e 2.000 rotações por minuto (RPM). Esta função é designada como corte de injeção (CI), e permite poupar quantidades substanciais de combustível.

A análise dos consumos é outro ponto bastante importante para a eco-condução. Um controlo permanente da evolução do consumo de um veículo permite detectar antecipadamente o aparecimento de eventuais problemas técnicos.

Nos EUA há uma discussão permanente sobre qual a melhor estratégia para melhorar a eficiência energética nos transportes rodoviários. Há duas correntes dominantes que defendem por um lado a aplicação de normas mais apertadas que obriguem os fabricantes a desenvolverem veículos mais eficientes, e por outro a aplicação de impostos sobre os combustíveis que inibam a utilização excessiva dos veículos [12].

Os EUA têm as normas relativas a eficiência energética de veículos automóveis, *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE), aplicadas há mais tempo, e se por um lado têm resultados que parecem evidentes desde a sua aplicação nos anos 70 do século passado (Figura 1.5), os opositores defendem que não só coloca em risco a segurança dos passageiros, através da redução de peso dos veículos, necessária para cumprir as normas, como acaba por ter um efeito oposto, uma vez que os automobilistas viajam mais porque a redução de consumo torna as viagens mais baratas [12].

Em alternativa o aumento de impostos sobre os combustíveis inibe não só as viagens extra, como leva à procura de veículos mais eficientes, cujo custo decorrente da sua utilização seja mais reduzido [13].

A comparação entre o mercado americano e europeu mostra que a Europa tem tradicionalmente veículos significativamente mais económicos, e que os impostos sobre os combustíveis têm um peso no preço final muito superior na Europa em relação aos EUA (Figura 1.9).

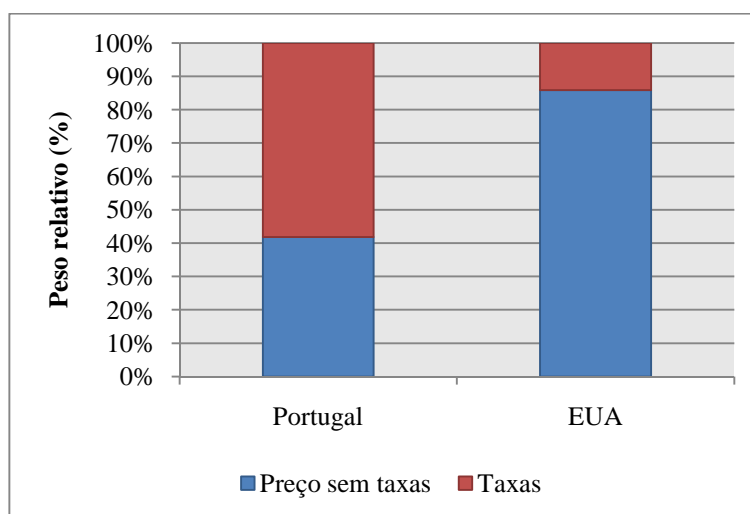


Figura 1.9 - Peso dos impostos sobre combustíveis em Portugal e EUA em Outubro de 2010 [14] [15]

Este facto pode significar que a actuação no lado dos impostos é mais eficaz, mas tem de ser necessariamente acompanhada por uma oferta que permita escolher um veículo mais eficiente, o que só acontece com uma evolução tecnológica, que é fortemente impulsionada pela aplicação de normas.

1.3. Objectivos do presente trabalho

Os exemplos da alteração do limite de velocidade nas vias de acesso a Barcelona e a comparação da eficiência dos transportes rodoviários entre os EUA e a Europa mostram a importância do factor comportamental relativamente à eficiência energética no sector dos transportes rodoviários e a importância das autoridades na sua alteração, seja através de impostos, imposição (e controlo) de limites mais apertados, ou da educação e sensibilização da população.

Esta terceira possibilidade é apontada como a menos eficiente a curto prazo, mas pode apresentar bons resultados se se apostar na educação desde o nascimento, o que implica uma aposta nas gerações mais jovens [1].

O presente trabalho tem como objectivo o desenvolvimento de uma metodologia que permita comparar o efeito comportamental na condução de veículos automóveis ligeiros entre condutores distintos, independentemente do veículo utilizado e do percurso efectuado.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um caso de estudo, a região da Grande Lisboa, no qual se pretende quantificar o efeito de eventuais alterações comportamentais dos condutores de veículos automóveis ligeiros, sejam elas obtidas pela mudança de mentalidade ou forçadas por alterações legislativas, como no caso da cidade de Barcelona.

No contexto do caso de estudo apresentado entende-se por Grande Lisboa o concelho de Lisboa e os concelhos mais próximos, nomeadamente os que se encontram apresentados na Figura 1.10 e que são indicados seguidamente:

- Lisboa
- Alcochete
- Almada
- Amadora
- Barreiro
- Cascais
- Loures
- Moita
- Montijo
- Odivelas
- Oeiras
- Seixal
- Sintra
- Vila Franca de Xira

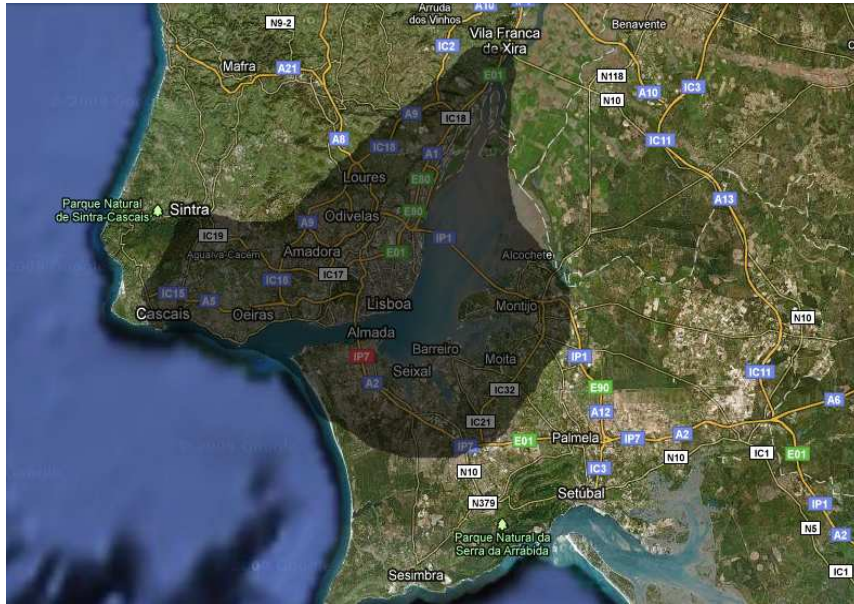


Figura 1.10 - Área considerada "Grande Lisboa" (imagem adaptada de *Google Maps* [16])

Neste caso de estudo procurou-se aferir o modo como os lisboetas utilizam os respectivos veículos automóveis, quantificando a energia utilizada. A expressão “lisboetas” no âmbito deste trabalho refere-se a todos os condutores que habitualmente circulam na região indicada no parágrafo anterior (Figura 1.10), sejam ou não originários da cidade de Lisboa e habitem ou não na referida região.

A quantificação de energia neste caso de estudo foi feita de acordo com dois critérios, ambos em função da caracterização do perfil de condução de uma amostra de lisboetas:

- 1) Caracterização dos perfis de condução em regime urbano e extra-urbano, hierarquizando para cada uns dos casos os condutores monitorizados em função do respectivo consumo de combustível.
- 2) Quantificação da energia consumida na condução acima dos 80 km/h na região da Grande Lisboa.

O primeiro critério visa procurar perceber qual o potencial de poupança com uma alteração de mentalidade. No caso de condutores já encartados essa alteração poderá ser conseguida através de campanhas de sensibilização ou através de acções de formação em eco-condução [17].

No caso de futuros condutores, a instrução para a obtenção da carta de condução poderá ser vista como uma oportunidade de formação nesta área.

Este critério não implica a alteração de qualquer regra de trânsito ou aplicação de qualquer medida de controlo extra, para além das já existentes.

O segundo critério vai no sentido oposto, avaliando o potencial de uma eventual mudança obtida através de uma alteração legislativa e do aumento dos meios de controlo, à semelhança do que foi feito na cidade de Barcelona.

A Figura 1.11 pretende demonstrar a viabilidade destes critérios. Na via em questão, o Eixo N-S, é normal e frequente a circulação acima do limite de velocidade estabelecido, que é de 80 km/h para grande parte da via, e de 90 km/h em alguns troços. Neste caso a mentalização dos condutores para o cumprimento do limite já existente incidiria sobre mais de metade dos condutores que circulam nesta via.

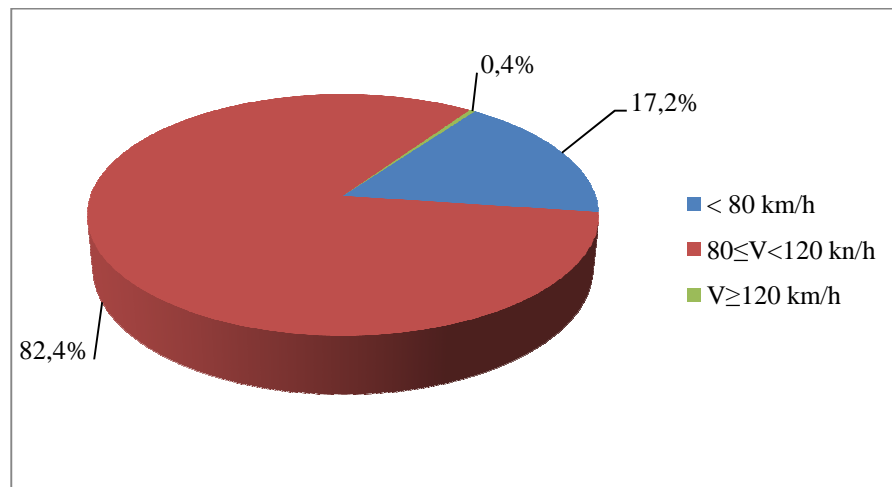


Figura 1.11 - Registo de velocidades instantâneas (V) no Eixo N-S em 2008 [18]

Para além da quantificação, de acordo com os dois critérios apresentados, feita aplicando a metodologia desenvolvida, foi feita a comparação dos consumos de combustível da amostra de condutores lisboetas com o Novo Ciclo de Condução Europeu (NEDC), caracterizado na Figura 1.12.

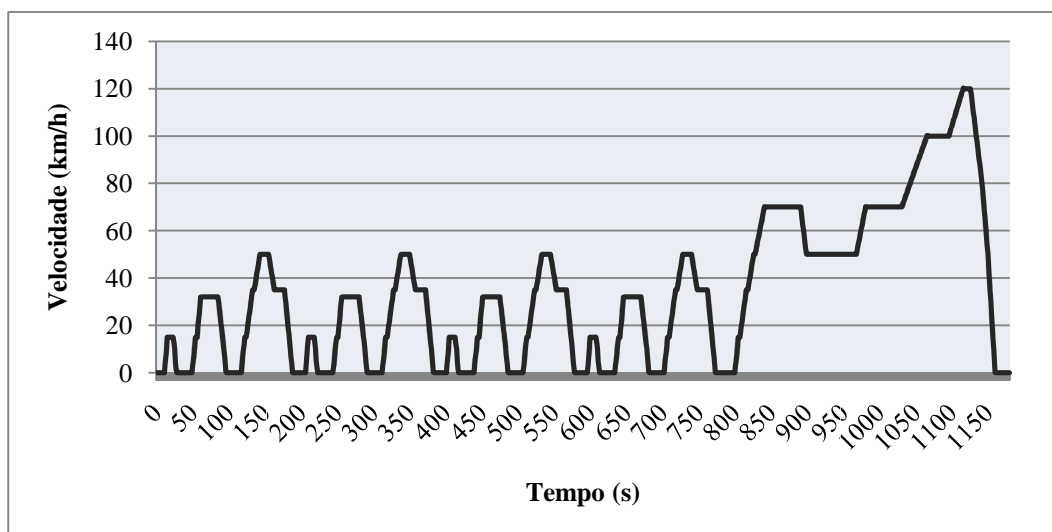


Figura 1.12 - Ciclo de condução NEDC

O objectivo desta comparação é procurar perceber se este ciclo é ou não realmente representativo da condução dos europeus (e em particular dos lisboetas), uma vez que este ciclo é utilizado para medir o consumo de todos os veículos homologados na UE.

Esta comparação é secundária e é apresentada a título de exemplo.

2. Material e métodos

2.1. Trabalho realizado

O trabalho realizado tem por base a monitorização de um conjunto de condutores, recorrendo a um *datalogger* para registar os parâmetros de utilização dinâmica dos veículos conduzidos, de modo a permitir estimar os respectivos consumos de combustível.

Habitualmente a comparação de condutores obriga à realização de testes utilizando o mesmo veículo e conduzindo o mesmo percurso, de modo a eliminar estas duas variáveis. Esta situação está longe de ser a ideal porque neste contexto os condutores estudados estão em ambiente de teste e não no seu ambiente real.

Tendo em consideração que o objectivo do presente trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia que permita comparar o efeito comportamental, eliminando o efeito das variáveis automóvel e percurso, os dados registados foram obtidos no ambiente real de condução de todos os condutores monitorizados.

Nesse sentido, os valores de consumo de combustível apresentados neste trabalho não são valores reais, mas sim valores estimados a partir da aplicação da metodologia desenvolvida, correspondentes a uma situação em que todos os condutores conduzem a mesma viatura no mesmo percurso.

Esta metodologia permite fazer a comparação comportamental dos condutores de acordo com a utilização feita do automóvel em ambiente real e não num ambiente de teste.

2.2. Recolha de dados

O *datalogger* utilizado para a recolha de dados foi o Carchip Fleet Pro (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Carchip Fleet Pro [19]

O *Carchip* é instalado na ficha de diagnóstico do veículo (porta OBD-II). A memória interna (2 Mb) tem capacidade para gravar mais de 90 horas de condução [19].

O *Carchip* regista até 5 parâmetros simultaneamente. Quatro desses parâmetros podem ser seleccionados, sendo o quinto obrigatoriamente a velocidade instantânea do veículo.

Além da velocidade, registou-se em todos os veículos o parâmetro rotação do motor. Os restantes 3 parâmetros foram escolhidos em função de cada automóvel:

- Caudal de massa de ar, posição do acelerador e carga do motor nos veículos equipados com sensor de caudal de massa de ar (MAF).
- Pressão do ar de admissão, temperatura do ar de admissão e carga do motor nos veículos equipados com sensor de pressão do ar de admissão.

Estes parâmetros foram registados conforme descrito na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Caracterização dos parâmetros monitorizados [19]

Parâmetro	Frequência (Hz)	Gama de medição	Resolução
Velocidade	1	0 a 70 m/s	0,3 m/s
Rotação do motor	0,2	0 a 16.383 RPM	1 RPM
Caudal de massa de ar	0,2	0 a 655,35 g/s	0,01 g/s
Posição do acelerador	0,2	0 a 100%	0,1%
Carga do motor	0,2	0 a 100%	0,1%
Pressão do ar de admissão	0,2	0 a 255 kPa	1 kPa
Temperatura do ar de admissão	0,2	-40 a 215 °C	1 °C

A velocidade do veículo e a aceleração são dois dados essenciais para determinar o perfil dinâmico e o consumo de cada condutor.

A aceleração (m/s^2) foi calculada pelo diferencial de velocidade entre cada registo, uma vez que este parâmetro é registado uma vez por segundo.

A rotação do motor, posição do acelerador e carga do motor são necessários para estimar os momentos em que o motor está em corte de injeção.

Os restantes parâmetros (caudal de massa de ar, pressão do ar de admissão e temperatura do ar de admissão) foram monitorizados com o objectivo de determinar o consumo instantâneo do motor. No entanto, a metodologia desenvolvida veio revelar que os mesmos não eram necessários.

Os dados registados pelo *CarChip* foram importados para um computador utilizando o *software* específico do fabricante (Figura 2.2).

	Elapsed Time	Speed m/s	Engine Speed RPM	Engine Load %	Throttle Position %	Air Flow Rate g/s
1	00:00:00	8,6	2.321	38,04	100,00	27,750
2	00:00:01	10,3	2.321	38,04	100,00	27,750
3	00:00:02	11,7	2.321	38,04	100,00	27,750
4	00:00:03	11,7	2.321	38,04	100,00	27,750
5	00:00:04	12,5	2.321	38,04	100,00	27,750
6	00:00:05	13,1	2.321	38,04	100,00	27,750
7	00:00:06	13,9	2.321	38,04	100,00	27,750
8	00:00:07	14,4	2.321	38,04	100,00	27,750
9	00:00:08	15,3	2.321	38,04	100,00	27,750
10	00:00:09	16,1	2.988	47,84	100,00	36,000
11	00:00:10	16,9	2.988	47,84	100,00	36,000
12	00:00:11	16,9	2.988	47,84	100,00	36,000
13	00:00:12	16,7	2.988	47,84	100,00	36,000
14	00:00:13	16,9	2.988	47,84	100,00	36,000
15	00:00:14	17,2	2.524	41,18	100,00	30,000
16	00:00:15	17,5	2.524	41,18	100,00	30,000
17	00:00:16	17,5	2.524	41,18	100,00	30,000
18	00:00:17	16,9	2.524	41,18	100,00	30,000
19	00:00:18	16,1	2.524	41,18	100,00	30,000
20	00:00:19	15,3	2.109	17,65	16,86	14,500
21	00:00:20	14,7	2.109	17,65	16,86	14,500
22	00:00:21	15,3	2.109	17,65	16,86	14,500

Figura 2.2 - *Software CarChip* [19]

Todos os dados recolhidos foram posteriormente exportados para o programa Microsoft Excel, que foi utilizado para o seu processamento.

2.3. Caracterização da amostra

A amostra foi constituída por 49 condutores de ambos os sexos, com idades compreendidas entre os 18 e os 66 anos, que circulam habitualmente na região definida como Grande Lisboa.

Os ciclos de condução monitorizados abrangem o período de uma semana, de 2ª feira de uma semana à 2ª feira da semana seguinte, procurando-se deste modo fazer o registo de todos os tipos de utilização, seja profissional ou particular.

Os dados utilizados foram registados de Abril a Setembro de 2010. A amostra não abrange o período de férias de nenhum condutor, por se considerar que nestas circunstâncias a utilização feita do automóvel não é a habitual, além de na maioria dos casos os percursos efectuados serem fora da zona pretendida para o caso de estudo apresentado.

O critério de selecção dos condutores, além da zona onde habitualmente circulam, obedeceu também a critérios técnicos, uma vez que os *dataloggers* apenas registam dados em veículos que cumpram o protocolo EOBD (*European OnBoard Diagnosis*), obrigatório na UE para veículos automóveis ligeiros com motor de ignição comandada (gasolina) a partir de 2001, e a partir de 2004 para veículos ligeiros com motor de ignição por compressão (gasóleo) [20].

Todos os automóveis que foram monitorizados são veículos ligeiros. No total foram registadas 497 horas e 36 minutos de condução, correspondentes a 26.209,5 km.

O critério adoptado para distinguir condução em percurso urbano de condução em percurso extra-urbano assume para a primeira situação todos os percursos em que a velocidade instantânea é inferior a 60 km/h e para a segunda todos os percursos em que a velocidade instantânea está acima deste valor (Figura 2.3).

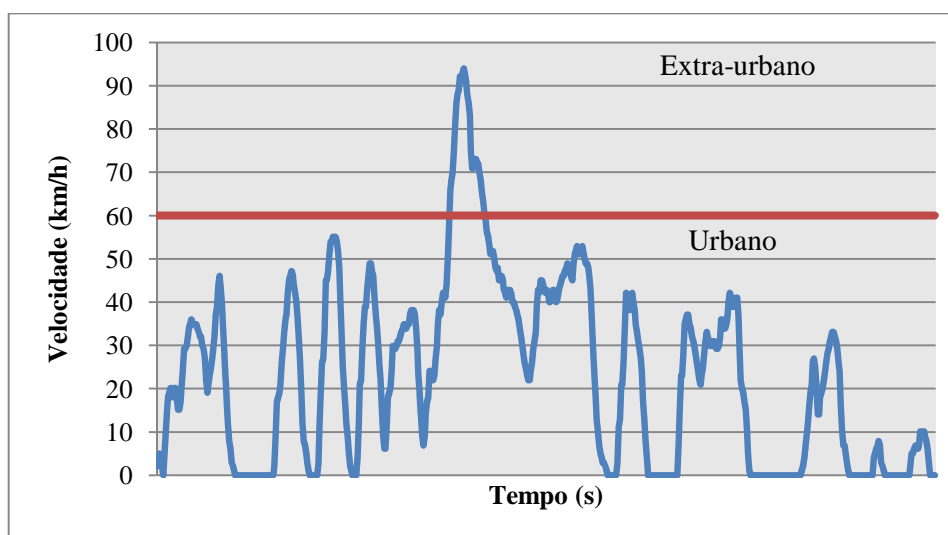


Figura 2.3 - Critério de separação entre condução urbana e extra-urbana

A Tabela 2.2 resume os 49 condutores monitorizados, indicando a distância percorrida, velocidade média global, sexo, idade, tipo de motor conduzido, tempo total de condução e percentagem de distância percorrida em regime urbano e extra-urbano.

Na Tabela 2.2 resume-se também o ciclo NEDC no que diz respeito à distância percorrida, velocidade média, tempo de condução e distribuição urbana/extra-urbana, uma vez que este serve de base para os testes de consumo realizados na UE, tendo por isso sido escolhido como base para a normalização de percurso.

Tabela 2.2 - Caracterização dos condutores monitorizados

Conductor	Distância (km)	Velocidade média (km/h)	Sexo	Idade	Tipo motor	Tempo condução (h:mm:ss)	Tipo de percurso (distância)	
							Urbano	Extra-urbano
1	209,7	34,3	M	39	G	6:06:14	58%	42%
2	44,4	26,9	F	38	G	1:38:52	83%	17%
3	461,4	63,7	M	57	D	7:14:49	19%	81%
4	674,5	56,4	M	40	D	11:57:48	25%	75%
5	533,6	29,8	M	19	G	17:54:17	44%	56%

Condutor	Distância (km)	Velocidade média (km/h)	Sexo	Idade	Tipo motor	Tempo condução (h:mm:ss)	Tipo de percurso (distância)	
							Urbano	Extra- urbano
6	627,3	61,2	M	63	D	10:15:16	20%	80%
7	752,4	66,6	M	37	D	11:17:42	20%	80%
8	306,5	78,6	F	28	D	3:54:03	14%	86%
9	421,5	40,0	M	43	D	10:32:16	33%	67%
10	548,7	80,1	M	21	D	6:50:58	10%	90%
11	451,1	51,5	F	44	D	8:46:02	27%	73%
12	797,8	55,1	M	34	D	14:28:11	28%	72%
13	553,9	41,6	M	35	D	13:18:16	35%	65%
14	101,7	37,6	M	40	D	2:42:21	49%	51%
15	739,3	61,0	M	24	D	12:07:08	17%	83%
16	492,0	48,8	M	58	D	10:04:51	26%	74%
17	948,8	64,0	M	31	D	14:50:08	15%	85%
18	1454,2	78,0	M	24	D	18:38:14	14%	86%
19	229,5	32,4	F	38	D	7:04:30	46%	54%
20	195,1	20,0	F	21	G	9:44:59	60%	40%
21	542,7	51,6	M	55	D	10:30:53	26%	74%
22	321,4	29,9	F	32	D	10:45:53	59%	41%
23	100,4	37,6	M	31	G	2:40:23	53%	47%
24	362,2	48,5	M	24	D	7:27:57	31%	69%
25	1583,2	95,8	F	28	D	16:31:40	6%	94%
26	311,1	33,6	F	43	G	9:15:29	65%	35%
27	710,1	63,7	M	37	D	11:08:26	21%	79%
28	585,3	58,6	M	65	D	9:59:43	24%	76%
29	298,2	28,0	F	28	D	10:38:10	65%	35%
30	245,6	24,7	F	37	G	9:57:28	64%	36%
31	600,7	80,5	F	43	D	7:27:36	11%	89%
32	535,4	56,6	M	45	D	9:27:58	24%	76%
33	213,9	34,3	F	66	D	6:14:16	66%	34%
34	257,8	34,0	M	36	G	7:34:58	67%	33%
35	445,7	48,7	M	36	D	9:09:39	41%	59%
36	965,7	63,9	M	29	D	15:06:50	15%	85%

Condutor	Distância (km)	Velocidade média (km/h)	Sexo	Idade	Tipo motor	Tempo condução (h:mm:ss)	Tipo de percurso (distância)	
							Urbano	Extra- urbano
37	549,9	49,1	M	46	D	11:11:38	30%	70%
38	953,0	68,1	M	49	D	13:59:47	20%	80%
39	504,1	53,7	F	33	D	9:22:55	34%	66%
40	119,0	27,3	F	60	G	4:21:03	81%	19%
41	1171,6	50,6	F	27	D	23:09:46	28%	72%
42	183,5	33,9	M	21	D	5:25:06	51%	49%
43	201,4	34,6	M	51	D	5:48:54	41%	59%
44	623,9	57,5	M	46	D	10:50:31	21%	79%
45	77,2	30,3	M	22	D	6:06:14	51%	49%
46	480,4	29,4	M	31	D	16:19:55	45%	55%
47	1864,4	77,8	M	55	D	23:58:10	13%	87%
48	362,2	48,5	M	65	G	7:27:57	31%	69%
49	496,0	51,0	M	31	D	9:43:11	27%	73%
NEDC	11,0	33,6				0:19:41	37%	63%

Legenda

M	Masculino
F	Feminino
G	Gasolina
D	Gasóleo

A Figura 2.4 mostra o perfil de velocidades instantâneas (V) dos 49 condutores e do ciclo NEDC.

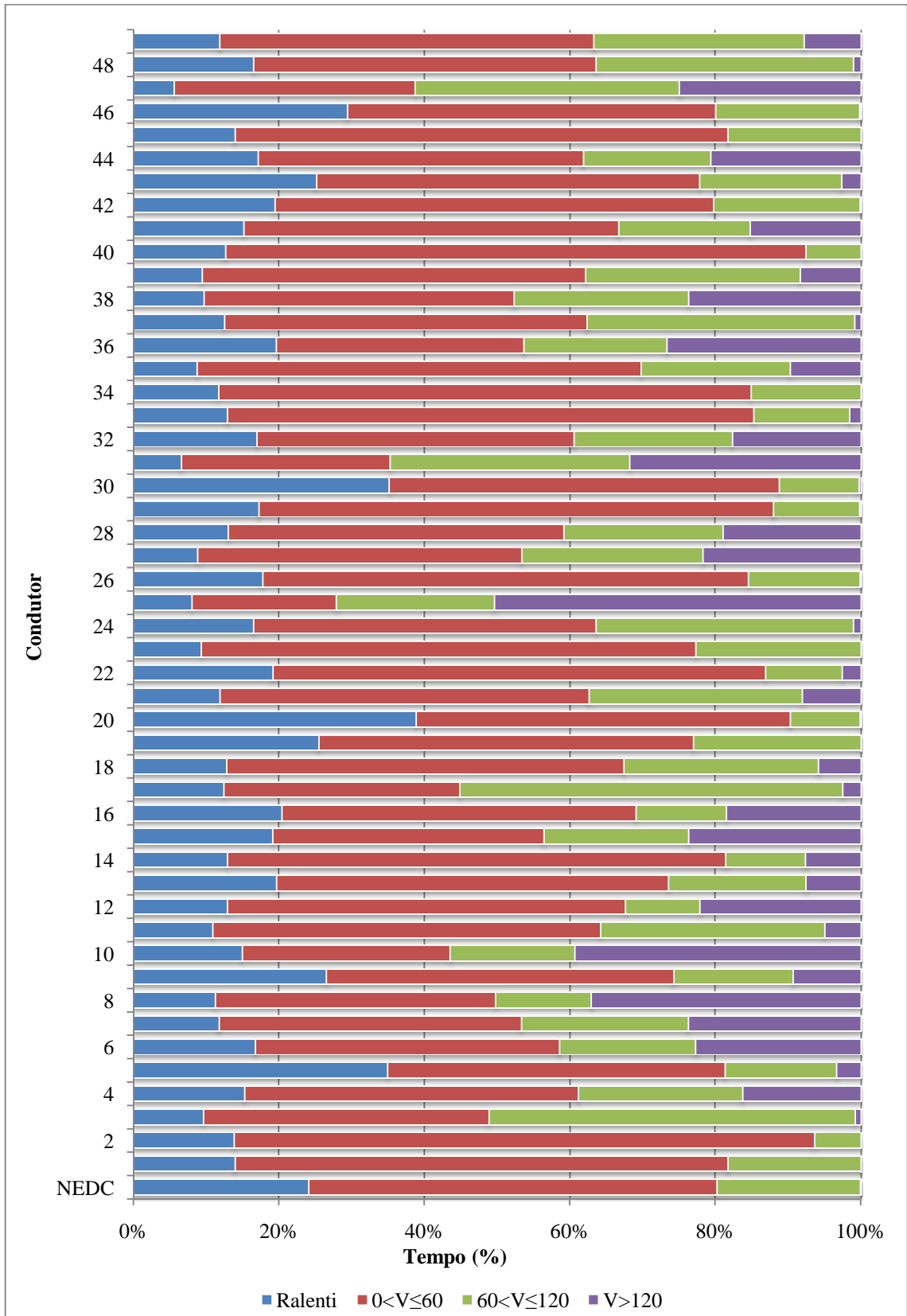


Figura 2.4 - Perfis de velocidade dos condutores monitorizados

Na Figura 2.4, os perfis estão divididos em 4 intervalos de velocidade, em função do critério assumido para condução urbana e extra-urbana.

Além desta separação a Figura 2.4 mostra também a percentagem de tempo passada ao ralenti (veículo parado com motor em funcionamento), por ser um factor que caracteriza a condução urbana, e a percentagem de tempo em que a velocidade é superior a 120 km/h, por ser este o limite de velocidade máximo em Portugal, o que só por si é um indicador da importância do factor comportamental na melhoria da eficiência energética no sector automóvel.

Na Figura 2.4 é possível observar que dos 49 condutores que constituem a amostra, 38 circularam em algum momento a uma velocidade superior ao limite máximo de circulação em Portugal, 120 km/h. Em alguns casos esta foi uma situação momentânea, mas 13 condutores circularam mais de 20% do tempo acima deste valor.

É também possível observar que os condutores que não ultrapassaram o limite de velocidade máximo, passam uma percentagem de tempo maior com o motor ao ralenti. Esta situação é característica de condução predominantemente urbana.

2.4. Distribuição VSP (*Vehicle Specific Power*)

Tendo em consideração que o consumo instantâneo do automóvel depende de outros factores para além do perfil de condução, como as características da estrada em que se circula e as características mecânicas do automóvel conduzido, a comparação dos consumos realizados pelos condutores monitorizados não é suficiente para perceber qual o peso do factor comportamental no universo estudado.

De modo a ser possível comparar os efeitos do estilo de condução, optou-se por utilizar o método VSP, utilizado pela *US Environment Protection Agency* (EPA) na ferramenta de simulação de consumos e emissões de gases de escape *Motor Vehicle & equipment Emission System* (MOVES) [21].

O princípio base do MOVES é a categorização dos valores VSP em diferentes modos. Cada um desses modos tem características específicas de emissões de gases de escape e de consumo de combustível [21].

O VSP é definido como a potência instantânea por unidade de massa. A potência instantânea gerada pelo motor é usada para vencer a resistência ao rolamento e a resistência aerodinâmica, e para aumentar a energia potencial e cinética do veículo de acordo com a equação 2.1 [22]:

$$\text{VSP} = \frac{\frac{d}{dt}(E_C + E_P) + F_{\text{Rol}} \times V + F_{\text{Aer}} \times V}{m} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Em que:

VSP	Potência específica do veículo (W/kg)
E_C	Energia cinética (J)
E_P	Energia potencial (J)
F_{Rol}	Força provocada pela resistência ao rolamento (N)
F_{Aer}	Força provocada pela resistência aerodinâmica (N)
V	Velocidade instantânea do veículo (m/s)
m	Massa do veículo (kg)

A força provocada pela resistência ao rolamento é calculada de acordo com a equação 2.2:

$$F_{Rol} = g \times C_R \quad (\text{Equação 2.2})$$

Em que:

g	Aceleração da gravidade (9,81 m/s ²)
C_R	Coefficiente de resistência ao rolamento (adimensional)

A força provocada pela resistência aerodinâmica é calculada aplicando a equação 2.3:

$$F_{Aer} = \left(\frac{1}{2} \rho \frac{C_D \times A}{m} \right) V^2 \quad (\text{Equação 2.3})$$

Em que:

ρ	Massa volúmica do ar
C_D	Coefficiente de resistência aerodinâmica (adimensional)
A	Área frontal do veículo (m ²)
m	Massa do veículo (kg)
V	Velocidade instantânea do veículo (m/s)

Usando valores médios para o coeficiente de resistência ao rolamento e para o coeficiente de resistência aerodinâmica, o VSP pode ser calculado pela equação 2.4 [22]:

$$VSP = V \times (a + g \times \text{sen}(\alpha) + 0,132) + 3,02 \times 10^{-4} \times V^3 \quad (\text{Equação 2.4})$$

Em que:

V	Velocidade instantânea do veículo (m/s)
a	Aceleração instantânea do veículo (m/s ²)
α	Inclinação da estrada (rad)

As constantes $0,132$ e $3,02 \times 10^{-4}$ são, respectivamente, relativas à força provocada pela resistência ao rolamento (equação 1.5) e força provocada pela resistência aerodinâmica (termo entre parêntesis da equação 1.6). Estas constantes são específicos para a recolha de dados de veículos ligeiros em estrada, sendo diferentes quando a recolha de dados recolha é feita em banco de ensaios [21].

A categorização por modos é feita de acordo com a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Modos VSP [21]

Modo VSP	Intervalo VSP	Modo VSP	Intervalo VSP
1	$VSP < -2$	8	$13 \leq VSP < 16$
2	$-2 \leq VSP < 0$	9	$16 \leq VSP < 19$
3	$0 \leq VSP < 1$	10	$19 \leq VSP < 23$
4	$1 \leq VSP < 4$	11	$23 \leq VSP < 28$
5	$4 \leq VSP < 7$	12	$28 \leq VSP < 33$
6	$7 \leq VSP < 10$	13	$33 \leq VSP < 39$
7	$10 \leq VSP < 13$	14	$39 \leq VSP$

A Equação 5 mostra que o VSP depende de 3 factores, a velocidade, a aceleração e a inclinação da estrada. No entanto este último factor não é monitorizado pelo *Carchip*. Por essa razão o VSP foi calculado apenas em função da velocidade e aceleração. Esta situação provoca um erro associado que no final do ciclo semanal tem um efeito nulo, tendo em consideração que o efeito da inclinação dos percursos feitos a subir é anulado pelo efeito dos percursos descendentes, uma vez que o ponto de partida correspondeu ao ponto de chegada.

O modo VSP foi determinado para todas as viagens monitorizadas segundo a segundo, permitindo traçar o perfil VSP de cada condutor.

Este perfil mostra a percentagem de tempo passada por cada condutor em cada um dos modos VSP. Note-se que, só por si, esta informação é um indicador do tipo de utilização feita do automóvel por cada condutor (Figura 2.5 e Figura 2.6).

A título de exemplo refira-se que um condutor mais urbano tem uma grande percentagem de tempo no modo VSP 3, sendo indicativo de que passa muito tempo ao ralenti. Por outro lado os condutores mais extra-urbanos têm percentagens de tempo nos modos VSP superiores mais elevadas, indicativo de condução a velocidades elevadas durante períodos de tempo mais alargados.

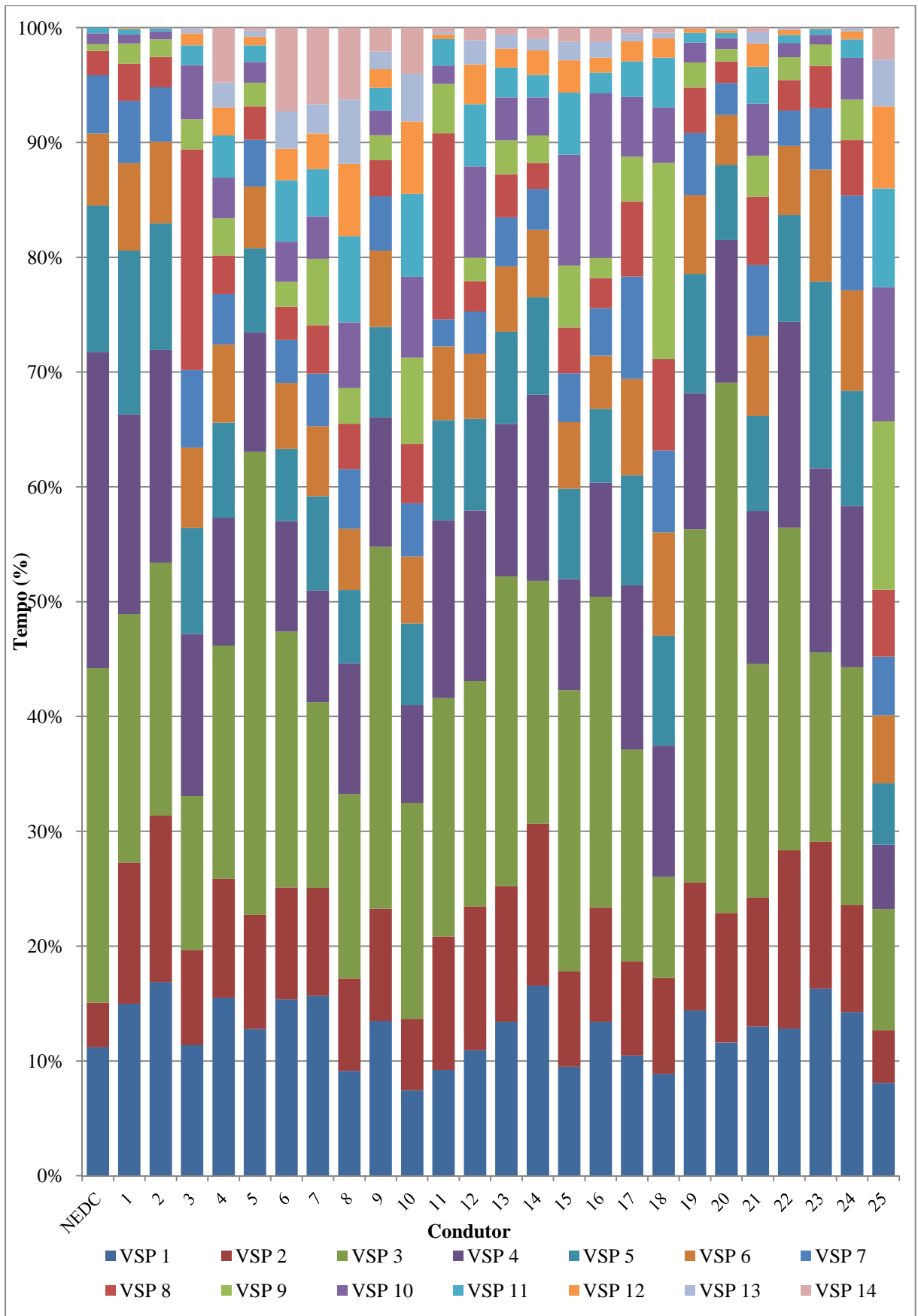


Figura 2.5 - Perfil VSP do ciclo NEDC e dos condutores 1 a 25

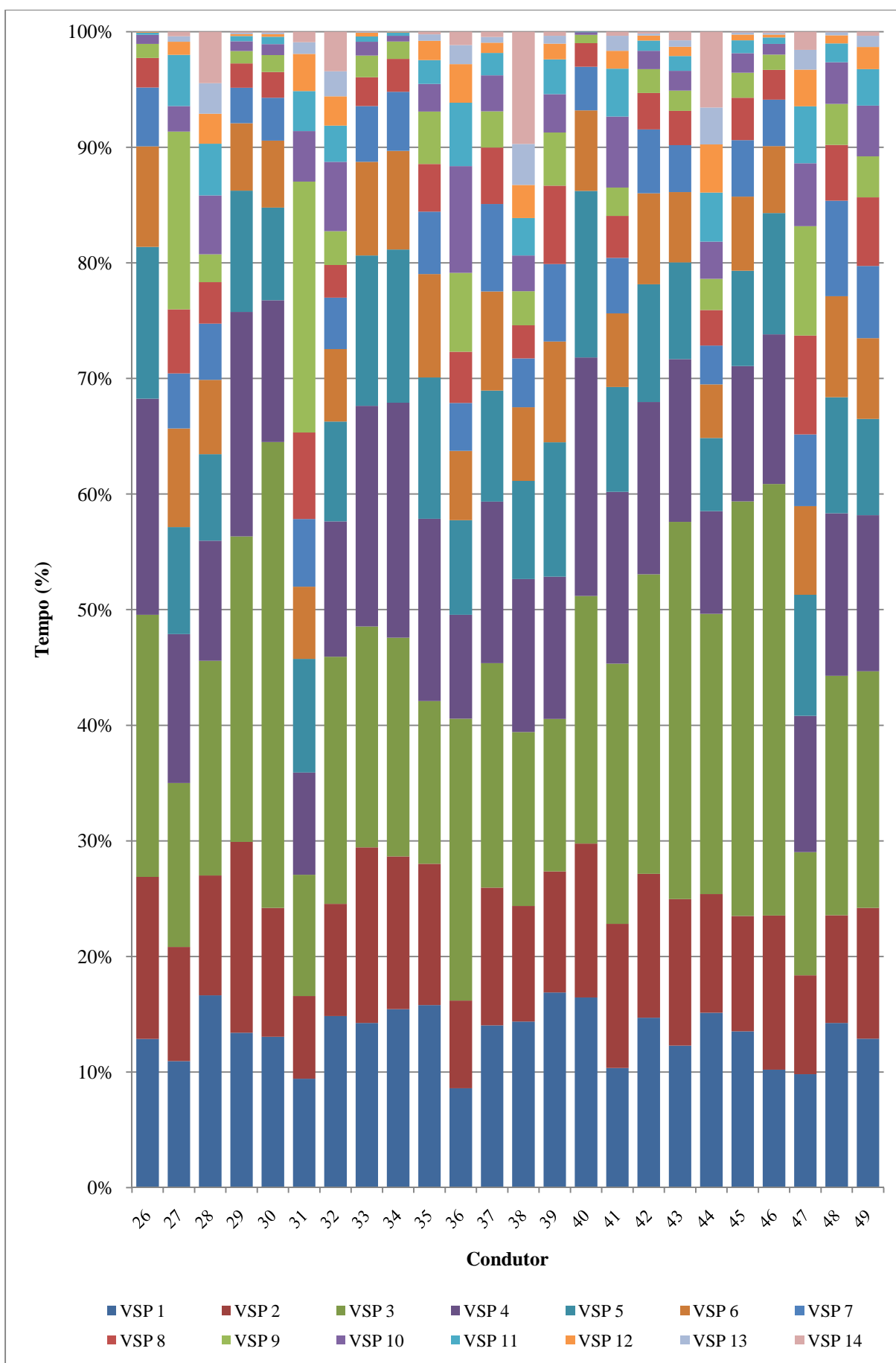


Figura 2.6 - Perfil VSP dos condutores 26 a 49

2.5. Normalização do veículo conduzido

O método adoptado para eliminar a variável automóvel, de modo a ser possível contabilizar o efeito comportamental no consumo de combustível, consiste em caracterizar os consumos de uma viatura específica, designada como “viatura padrão”, em função de cada modo VSP, e simular que todos os condutores conduzem esta viatura. O consumo de cada condutor é obtido a partir do respectivo perfil VSP.

A viatura padrão seleccionada está descrita no Quadro 2.1. Esta escolha deve-se à disponibilidade dos dados de consumo em função do modo VSP, conforme representado graficamente na Figura 2.7 [23].

Quadro 2.1 - Características técnicas da viatura padrão [23] [24]

Modelo	Ford Focus Flex
Tara (kg)	1.325
Cilindrada (cm³)	1.798
Tipo de motor	4 cilindros em linha, 4 válvulas por cilindro
Combustível	Gasolina
Norma anti-poluição	Euro IV
Transmissão	Manual, velocidades
Área frontal (m²)	2,26
Coefficiente de resistência aerodinâmica	0,31

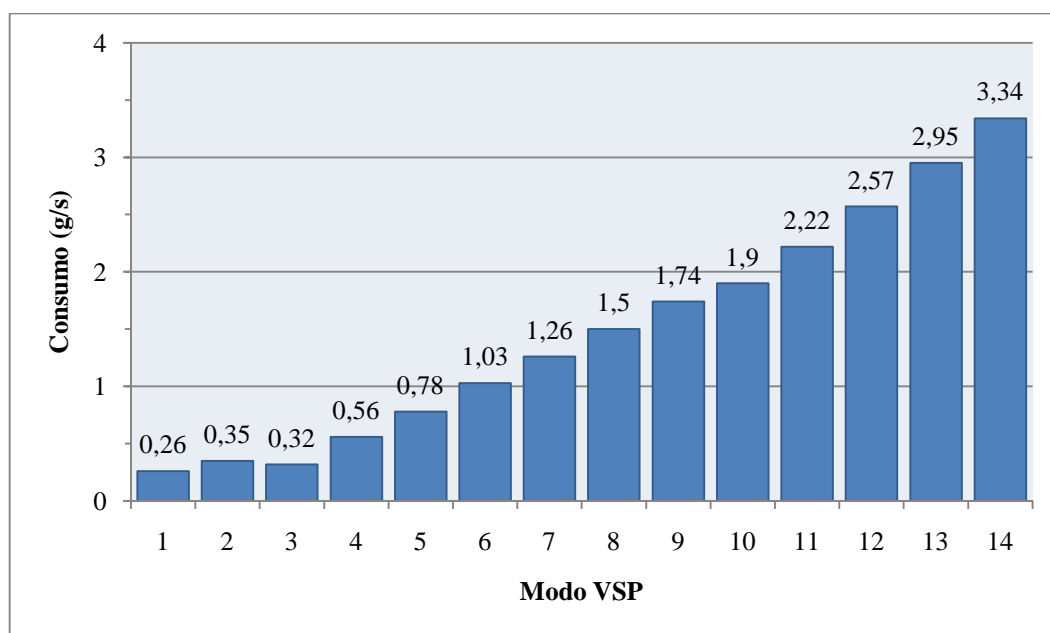


Figura 2.7 - Consumo da viatura padrão em função do modo VSP [23]

O consumo da viatura padrão pode ser calculado a partir dos dados da Figura 2.7, com base no perfil VSP do ciclo NEDC (Figura 2.8). Este cálculo permite comparar o consumo obtido pelo método descrito com os valores anunciados pelo fabricante.

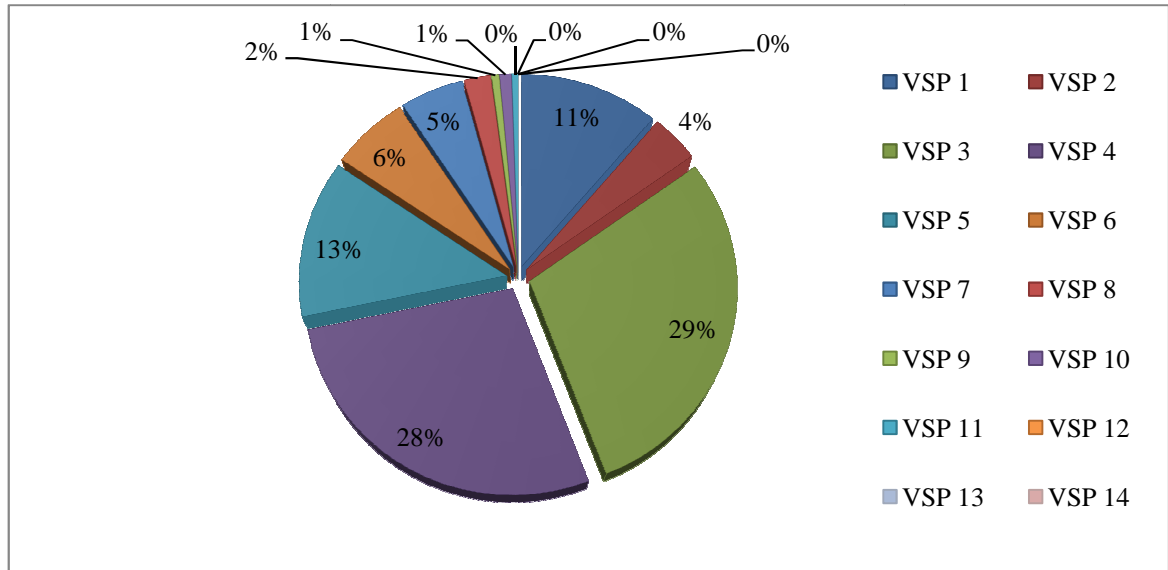


Figura 2.8 - Perfil VSP do ciclo NEDC completo.

Contabilizando o tempo passado em cada modo VSP (em segundos), é possível calcular o respectivo consumo em gramas. A soma do consumo dos 14 modos é igual ao consumo total do ciclo completo. Note-se que o ciclo apenas atinge o modo 10, o que só por si é indicador que o perfil de condutor representado é muito pouco exigente do ponto de vista energético.

De modo a facilitar a interpretação dos resultados obtidos, todos os consumos são indicados em litros aos 100 km (l/100 km). A conversão é feita aplicando a Equação 6:

$$\text{Consumo}_{l/100\text{km}} = \frac{\text{Consumo}_g \times 100}{D \times 750} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

$\text{Consumo}_{l/100\text{km}}$ Consumo de combustível (l/100km)

Consumo_g Consumo de combustível (g)

D Distância percorrida (km)

A constante 750 é relativa à massa volúmica da gasolina (0,75 kg/l), de acordo com a Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) [25]. A constante 100 é relativa à conversão de litros por quilómetro (l/km) para litros aos 100 km (l/100km).

O ciclo NEDC, que é utilizado para determinar o consumo usualmente designado por “misto” (Figura 1.12), é na verdade uma combinação de dois ciclos, um urbano, o ciclo ECE-15 (Figura 2.9), repetido 4 vezes, e outro extra-urbano, o ciclo EUDC (Figura 2.10).

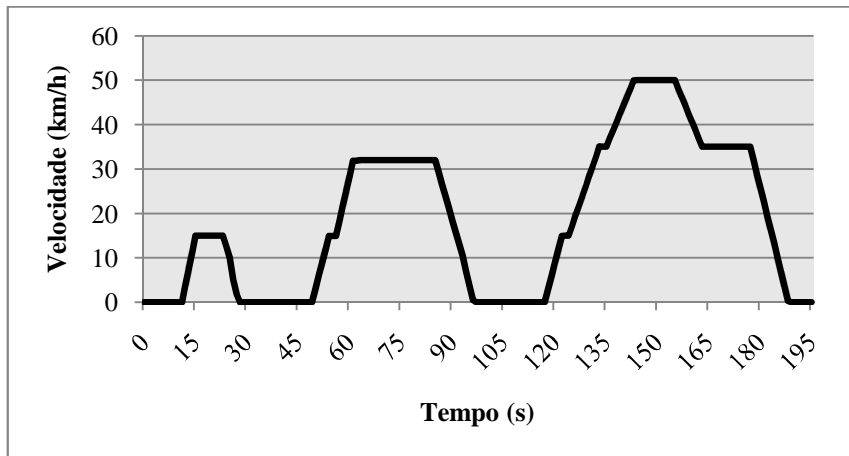


Figura 2.9 - Ciclo de condução urbano (ECE-15) [26]

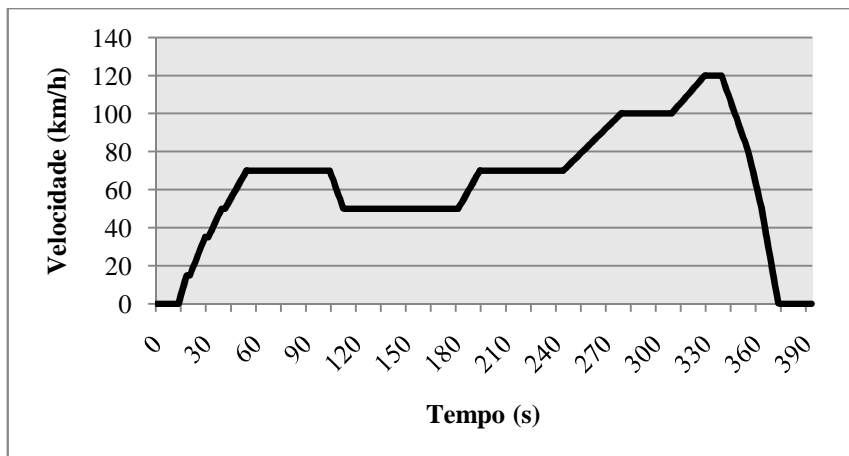


Figura 2.10 - Ciclo de condução extra-urbano (EUDC)[26]

Na Figura 2.11 comparam-se os dados obtidos para os consumos em percurso urbano, extra-urbano e combinado da viatura padrão. As barras identificadas como “VSP” referem-se ao método descrito nesta secção, sendo as barras “NEDC” referentes aos dados reais anunciados pelo fabricante, obtidas nos testes de homologação (feitos em banco de ensaios) [26].

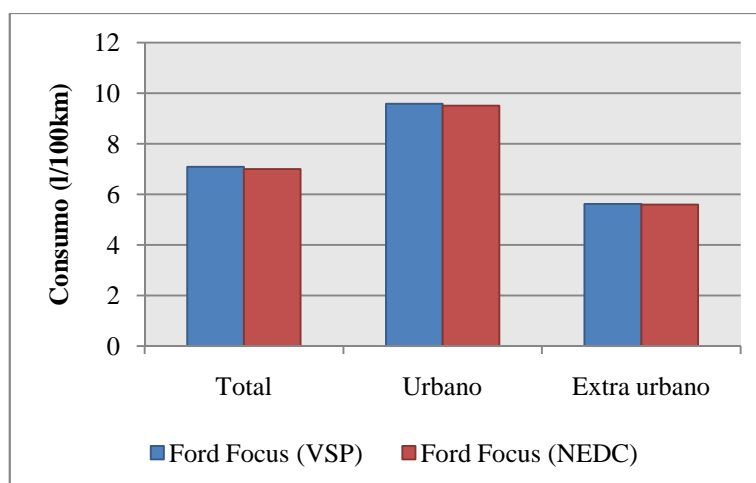


Figura 2.11 - Comparação do consumo da viatura padrão obtido a partir do perfil VSP com os dados anunciados

O valor calculado pelo método VSP considera que o veículo está em corte de injeção sempre que o VSP é negativo (modos 1 e 2), que correspondem a momentos de desaceleração ou travagem.

O consumo total mostrado na Figura 2.11 é relativo ao ciclo NEDC completo, enquanto os consumos urbano e extra-urbano são determinados respectivamente pelo ciclo ECE-15 e EUDC.

2.6. Normalização do percurso

De modo a eliminar a variável percurso é necessário fazer a sua normalização. O método adoptado para esse efeito consiste em:

1. Determinar a relação entre VSP médio e velocidade média, tanto em percurso urbano como em percurso extra-urbano.
2. Com base na relação existente, calcular a velocidade média de cada condutor para cada tipo de percurso em função do seu VSP médio.
3. Definir um percurso base, comum para todos os condutores, que será designado por “percurso normalizado”.
4. Calcular o tempo necessário para cada condutor percorrer o percurso normalizado. Este tempo é função da velocidade média, calculada em função do VSP médio conforme descrito no ponto 2.
5. Em função do tempo necessário e da distribuição VSP individual de cada condutor, calcular o consumo conforme descrito na secção 2.5 para a viatura padrão, considerando que este é o veículo conduzido por todos.

O consumo obtido por este método é independente da viatura conduzida e do percurso efectuado, permitindo por isso determinar em que medida o factor comportamental tem influência no consumo de combustível de um veículo automóvel ligeiro.

2.6.1. Relação VSP médio – Velocidade média

A Figura 2.12 mostra a relação entre o modo VSP médio (média ponderada em função do tempo passado em cada modo) e a velocidade média de cada condutor no respectivo ciclo semanal.

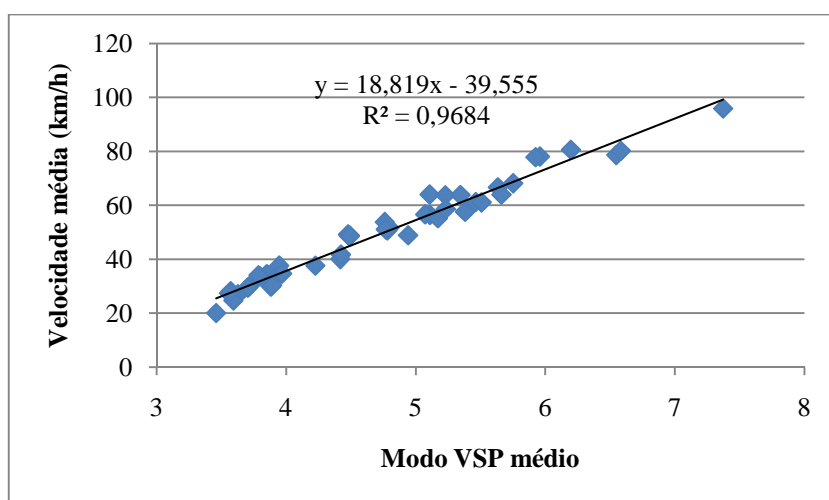


Figura 2.12 - Relação entre VSP médio e Velocidade média

Esta relação é válida para o percurso total. No entanto, um dos objectivos da normalização do percurso efectuado é garantir que todos os condutores têm a mesma proporção de quilómetros percorridos em condução urbana e extra-urbana.

Assim, a Figura 2.13 e a Figura 2.14 mostram a relação VSP médio/Velocidade média para cada tipo de percurso.

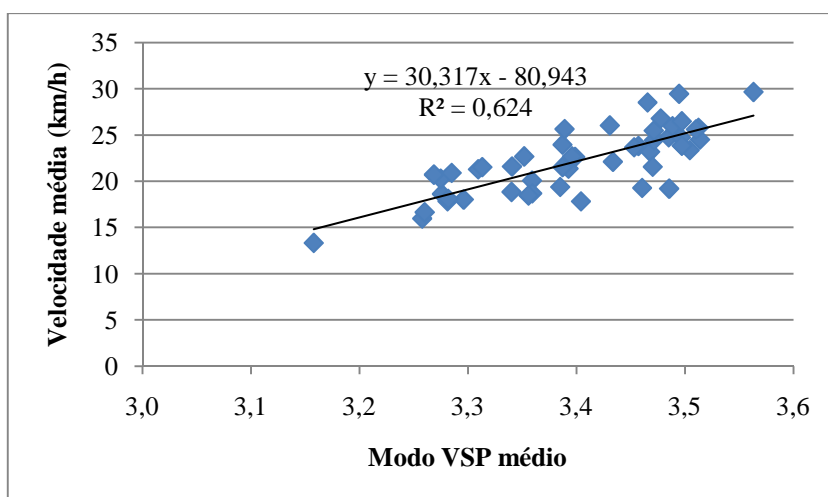


Figura 2.13 - Relação entre VSP médio e Velocidade média em condução urbana

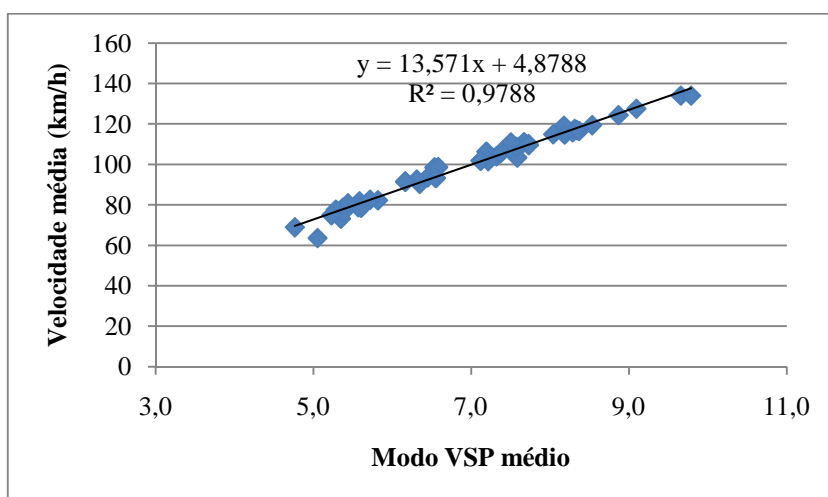


Figura 2.14 - Relação entre VSP médio e Velocidade média em condução extra-urbana

A correlação verificada entre o modo VSP médio e velocidade média em percurso urbano não é tão elevada como em percurso extra-urbano. Esta situação é explicada pela grande variação existente no período de tempo passado ao ralenti neste tipo de percurso, factor que influencia fortemente a velocidade média.

2.6.2. Velocidade média em função do modo VSP médio

As relações obtidas na secção 2.6.1 para percurso urbano e extra-urbano são específicas da amostra monitorizada. A partir destas relações é possível calcular as velocidades médias correspondentes para cada condutor.

Note-se que os valores obtidos não correspondem a valores reais, mas sim a valores simulados para a condução num percurso comum, cujas características dependem de todos os condutores monitorizados.

A Tabela 2.4 resume a velocidade média em percurso urbano obtida para cada condutor aplicando a relação determinada no ponto anterior (Figura 2.13).

Tabela 2.4- Velocidade média em percurso urbano (percurso normalizado)

Condutor	Velocidade média (km/h)	Condutor	Velocidade média (km/h)	Condutor	Velocidade média (km/h)
NEDC	20,3	17	19,5	34	24,5
1	25,6	18	25,0	35	24,1
2	23,9	19	24,0	36	19,0
3	24,7	20	14,8	37	23,8
4	24,2	21	20,3	38	25,5
5	17,8	22	18,3	39	27,1
6	21,9	23	25,6	40	21,7
7	24,3	24	25,1	41	18,6
8	20,7	25	23,2	42	24,3
9	22,3	26	24,8	43	18,6
10	18,4	27	24,3	44	21,7
11	19,4	28	25,3	45	24,7
12	23,1	29	18,2	46	17,9
13	20,9	30	18,5	47	21,8
14	22,1	31	25,1	48	25,1
15	20,9	32	22,0	49	21,8
16	20,8	33	25,1		

Aplicando os resultados obtidos na secção anterior para percurso extra-urbano (Figura 2.14) obtêm-se os resultados apresentados Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Velocidade média em percurso extra-urbano (percurso normalizado)

Condutor	Velocidade média (km/h)	Condutor	Velocidade média (km/h)	Condutor	Velocidade média (km/h)
NEDC	73,4	17	93,6	34	75,8
1	77,8	18	105,4	35	115,8
2	77,4	19	77,9	36	118,0
3	102,5	20	83,8	37	88,5
4	108,1	21	101,5	38	116,0
5	91,0	22	92,4	39	93,8
6	117,6	23	76,6	40	69,5
7	114,0	24	88,5	41	109,7
8	135,9	25	125,2	42	82,4
9	104,2	26	94,2	43	90,5
10	128,3	27	106,5	44	120,7
11	104,9	28	109,8	45	80,9
12	137,7	29	80,6	46	78,7
13	102,8	30	80,4	47	106,7
14	107,8	31	109,0	48	88,5
15	117,3	32	107,6	49	101,4
16	118,4	33	81,0		

O tempo de condução depende da distância percorrida e da velocidade média. Para calcular este parâmetro é necessário primeiro definir a distância percorrida no percurso normalizado.

2.6.3. Distância percorrida no percurso normalizado

Conforme mencionado anteriormente, o ciclo NEDC serve de base para os testes de consumo efectuados na UE, o que significa que serve de base de comparação do consumo de todos os veículos homologados no espaço da União, uma vez que todos os veículos são testados em igualdade de circunstâncias.

Sendo o objectivo da metodologia apresentada neste trabalho permitir fazer entre condutores uma comparação idêntica à que é feita entre veículos, optou-se por escolher a distância percorrida no ciclo NEDC para a normalização do percurso.

A extensão total é de 11,02 km, dos quais 4,06 km são em percurso urbano e 6,96 km são em percurso extra-urbano [26].

Considera-se que o percurso não tem qualquer inclinação em toda a sua extensão, tal como acontece nos testes de homologação feitos em banco de ensaios.

Desta forma, os resultados estimados para cada condutor podem não só ser comparados entre si, como é possível fazer a comparação com os consumos de combustível anunciados pelo fabricante da viatura padrão.

2.6.4. Tempo de condução

O tempo de condução para percorrer uma determinada distância é dado pela Equação 7:

$$t = \frac{d \times 3,6}{\bar{V}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

t	Tempo de condução (s)
d	Distância percorrida (m)
\bar{V}	Velocidade média (km/h)

Com base nas velocidades médias calculadas na secção 2.6.2 e na distância percorrida no percurso normalizado, definida na secção 2.6.3, foi possível calcular o tempo de viagem para cada condutor.

Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 2.6, que resume os tempos de condução de todos os condutores em cada tipo de percurso.

Tabela 2.6 - Tempo de condução no percurso normalizado

Condutor	Urbano (s)	Extra-urbano (s)	Total (s)	Condutor	Urbano (s)	Extra urbano(s)	Total (s)
NEDC	719	341	1060	25	631	200	831
1	571	322	893	26	589	266	855
2	612	323	935	27	601	235	836
3	591	244	835	28	578	228	806
4	604	232	836	29	805	311	1116
5	820	275	1095	30	789	311	1100
6	667	213	880	31	583	230	813
7	601	220	821	32	664	233	897
8	707	184	891	33	583	309	892
9	656	240	896	34	597	330	927
10	796	195	991	35	606	216	822
11	754	239	993	36	770	212	982
12	694	199	893	37	615	283	898
13	700	244	944	38	574	216	790
14	661	232	893	39	540	267	807
15	699	214	913	40	672	360	1032
16	703	212	915	41	784	228	1012
17	749	268	1017	42	602	304	906
18	584	238	822	43	788	277	1065
19	610	322	932	44	674	208	882
20	988	299	1287	45	591	310	901
21	719	247	966	46	817	318	1135
22	797	271	1068	47	670	235	905
23	572	327	899	48	583	283	866
24	583	283	866	49	672	247	919

Conjugando os tempos calculados nesta secção com a distribuição VSP obteve-se o tempo (em segundos) passado por cada condutor em cada modo VSP.

Com base nos tempos calculados para cada modo VSP, estimou-se o consumo de combustível conforme descrito na secção 2.5 para a viatura padrão.

2.7. Alteração do limite de velocidade máximo de 120 km/h para 80 km/h

A metodologia descrita para normalizar a viatura conduzida e o percurso efectuado permite comparar o efeito comportamental no consumo de veículos automóveis ligeiros, de modo a avaliar em que medida a alteração de hábitos e /ou comportamentos podem contribuir para a melhoria da eficiência energética nacional (primeiro critério de avaliação do caso de estudo apresentado).

O segundo critério prevê a aplicação na região da Grande Lisboa de alterações do código das Estradas semelhantes às aplicadas em Barcelona.

A simulação dos efeitos obtidos através da alteração do limite de velocidade em auto-estrada de 120 km/h para 80 km/h foi realizada alterando os perfis de velocidade registados para cada condutor substituindo os valores superiores a 22,22 m/s (80 km/h) por este valor.

O modo VSP correspondente à circulação a uma velocidade de cruzeiro de 80 km/h, o modo 5, foi corrigido, adicionando-se o número de segundos necessários para que a distância percorrida se mantivesse inalterada (Figura 2.15).

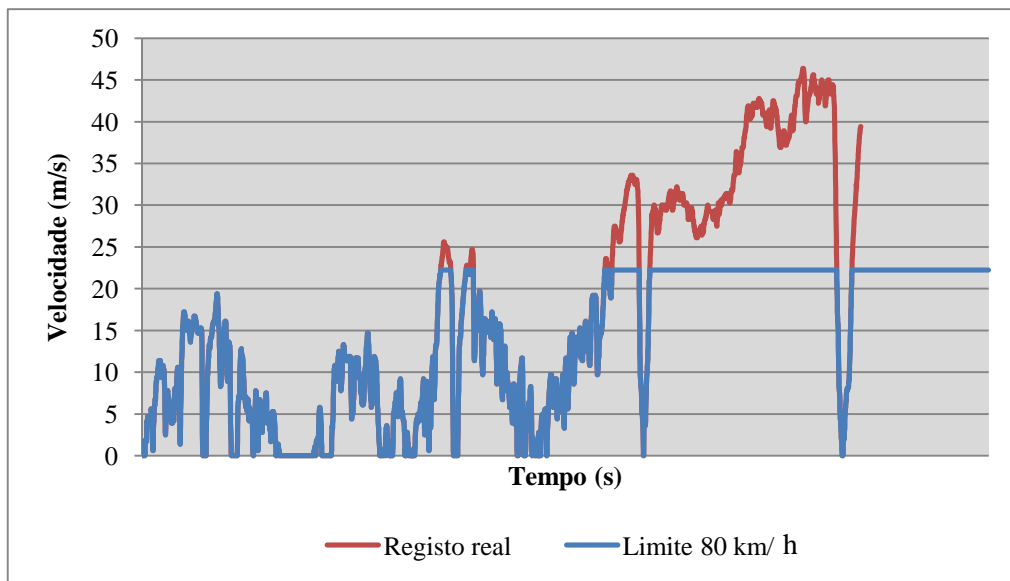


Figura 2.15 - Alteração do perfil de velocidade para limitar a velocidade máxima a 80 km/h

A simulação realizada contempla apenas a normalização do veículo conduzido, por se considerar que o seu resultado depende em grande parte da distância percorrida por cada condutor a uma velocidade superior a 80 km/h.

2.8. Eco-condução

Os resultados de eco-condução apresentados são complementares ao caso de estudo descrito e têm como objectivo ajudar a contextualizar os consumos estimados para cada condutor em função do respectivo perfil de eco-condução.

A análise realizada pretende perceber em que medida os condutores monitorizados praticam uma condução consciente dos factores que influenciam negativamente o consumo.

Esta análise terá por base os parâmetros possíveis de monitorizar com o *Carchip*, nomeadamente os seguintes:

- Acelerações fortes e muito fortes;
- Travagens fortes e muito fortes;
- Tempo ao ralenti;
- Evitar rotações elevadas;
- Tempo em corte de injeção.

Considera-se que uma aceleração é forte entre 3,06 e 4,44 m/s², e que uma aceleração é muito forte quando superior a 4,44 m/s².

Considera-se que uma travagem é forte entre 3,33 e 5,00 m/s², e que uma travagem é muito forte quando superior a 5,00 m/s².

Em ambos os casos os critérios adoptados são os critérios definidos por defeito na programação do *Carchip*.

A intensidade da travagem e sobretudo da aceleração dependem fortemente do automóvel conduzido. No entanto, apesar de num veículo com uma relação peso/potência mais reduzida ser mais fácil e provável a obtenção de acelerações fortes, a energia necessária para o fazer é um factor que afecta consideravelmente o consumo, independentemente do automóvel em questão.

O tempo passado ao ralenti caracteriza-se todo ele por desperdício de energia. Por um lado o condutor pode procurar evitar estes períodos, sobretudo no início e no fim de cada viagem. Por outro lado, grande parte do tempo passado ao ralenti depende do tipo e do horário do percurso efectuado (semáforos ou trânsito congestionado). Mesmo nestes casos o condutor pode procurar alternativas para reduzir este tempo.

Evitar rotações elevadas está totalmente associado ao perfil de condução. O critério adoptado para este parâmetro é a contabilização da percentagem de tempo de condução passado acima de 3.000 RPM.

O corte de injeção reduz o consumo total, uma vez que durante o período em que ocorre o consumo instantâneo é nulo, aproveitando-se a energia cinética da viatura. Note-se que nem todos os condutores têm noção deste facto, optando por utilizar a caixa de velocidades em ponto morto. Esta opção aproveita igualmente a energia cinética da viatura, mas o motor consome a energia necessária para se manter ao ralenti.

2.9. Medidas de dispersão e análise estatística

A medida de dispersão apresentada nas figuras (quando aplicável) é relativa ao intervalo de confiança a 99%.

A Equação 8 foi utilizada para se determinar o intervalo de confiança:

$$\mu - 2,576 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) < \bar{X} < \mu + 2,576 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

- μ Média da amostra
- σ Desvio padrão da amostra
- N Número de indivíduos da amostra (49)

Para verificar a existência de diferenças significativas (quando aplicável) aplicou-se o teste *t-student* para amostras paralelas (designação utilizada no pacote de ferramentas de análise do programa Microsoft Excel 2007).

3. Resultados e discussão

3.1. Consumo global de combustível e comparação com o ciclo NEDC

Os resultados apresentados nesta secção mostram os consumos estimados com normalização de viatura e sem normalização de percurso, o que significa que se considera que todos os condutores conduzem a viatura padrão nos seus percursos reais.

A Figura 3.1 mostra o consumo médio total obtida por cada condutor, em comparação com a média do ciclo NEDC, obtida pelo método descrito neste trabalho (perfil VSP) e com a média combinada anunciada para este modelo (NEDC real).

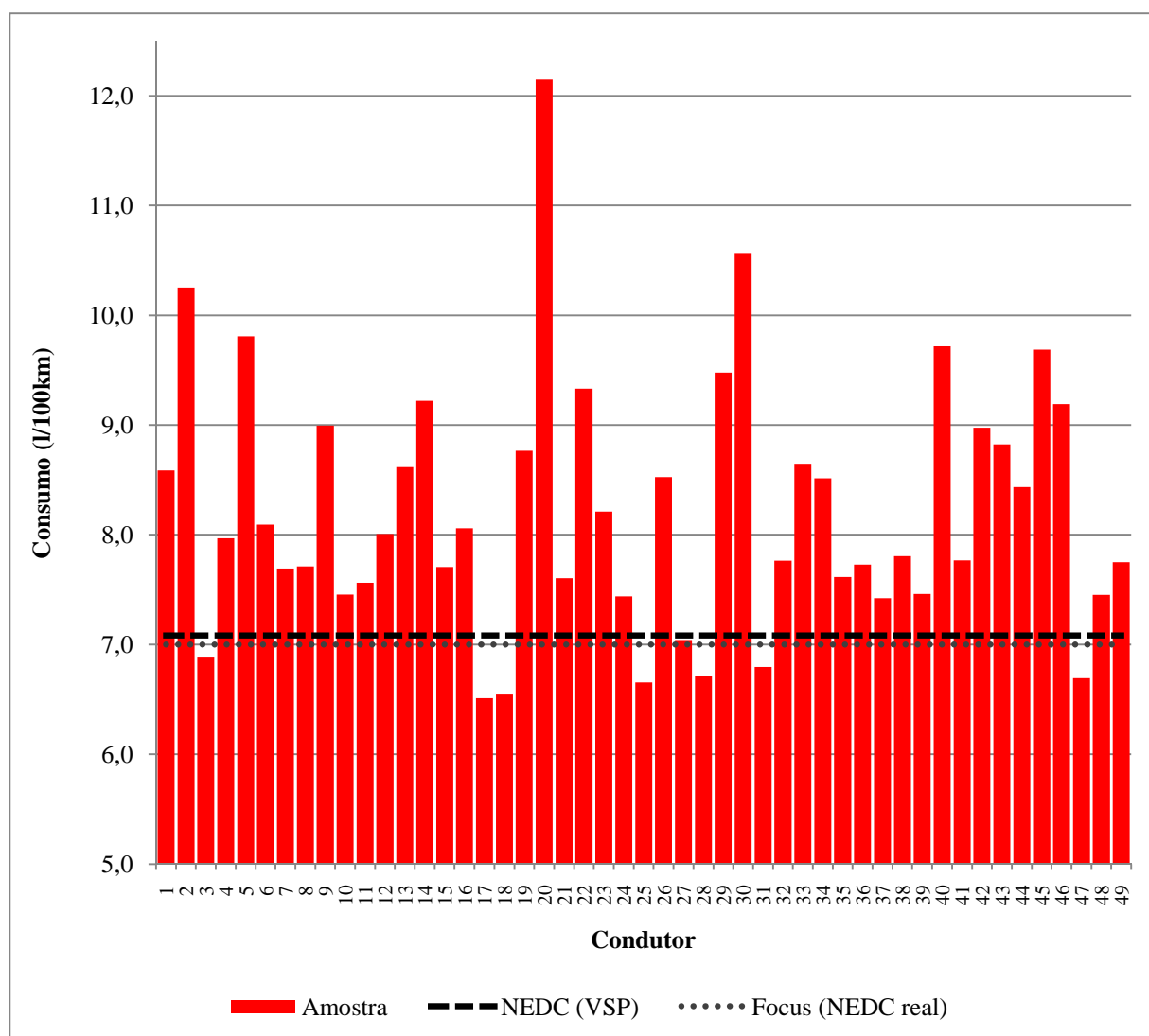


Figura 3.1 - Consumo total de combustível de cada condutor comparado com consumo NEDC

A maioria dos condutores realizou uma condução que levou a um consumo de combustível claramente superior ao consumo do ciclo NEDC, mas há que realçar o facto de haver 7 condutores que ficam abaixo dos valores de referência.

É também possível observar uma grande diversidade nos resultados obtidos, tendo em consideração que os resultados estimados são relativos à viatura padrão.

Esta situação pode dever-se a vários factores, como o tipo de percurso efectuado ou o perfil de condução propriamente dito. Sem proceder à normalização do percurso não é possível determinar qual destes factores foi predominante.

A Figura 3.2 mostra a comparação dos consumos totais em função da velocidade.

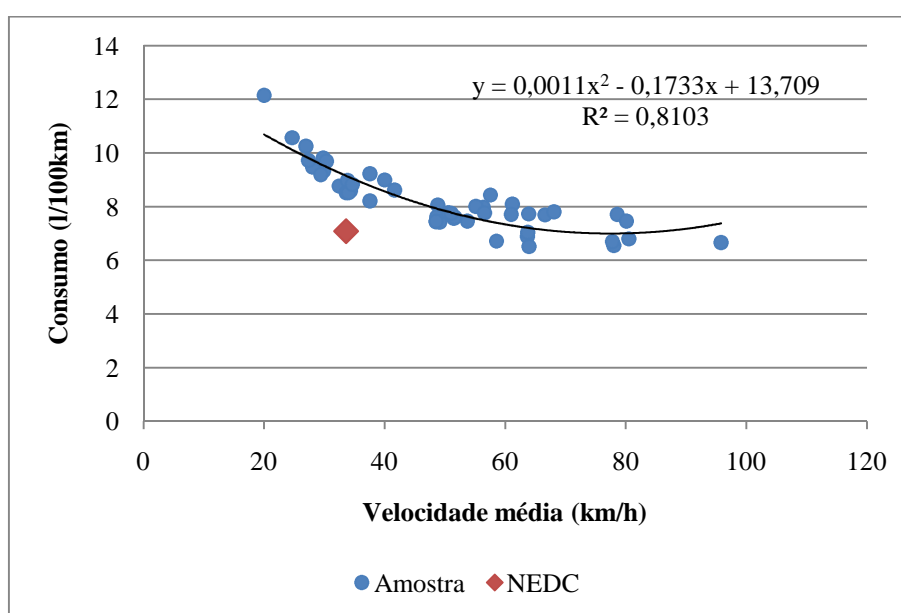


Figura 3.2 - Consumo total de combustível em função da velocidade média

A Figura 3.2 figura mostra que existe uma diferença entre os dados reais observados e o ciclo NEDC, que não é explicada apenas pela velocidade média, uma vez que há condutores com velocidades médias semelhantes mas com consumos superiores. Esta análise é indicativa que o factor comportamental tem realmente influência no consumo de combustível, para além de mostrar o desfasamento do ciclo em relação ao perfil real de condução da amostra monitorizada.

A mesma situação se passa ao observar a Figura 3.3 e a Figura 3.4, que mostram respectivamente o consumo em função da velocidade média para percursos urbanos e extra-urbanos.

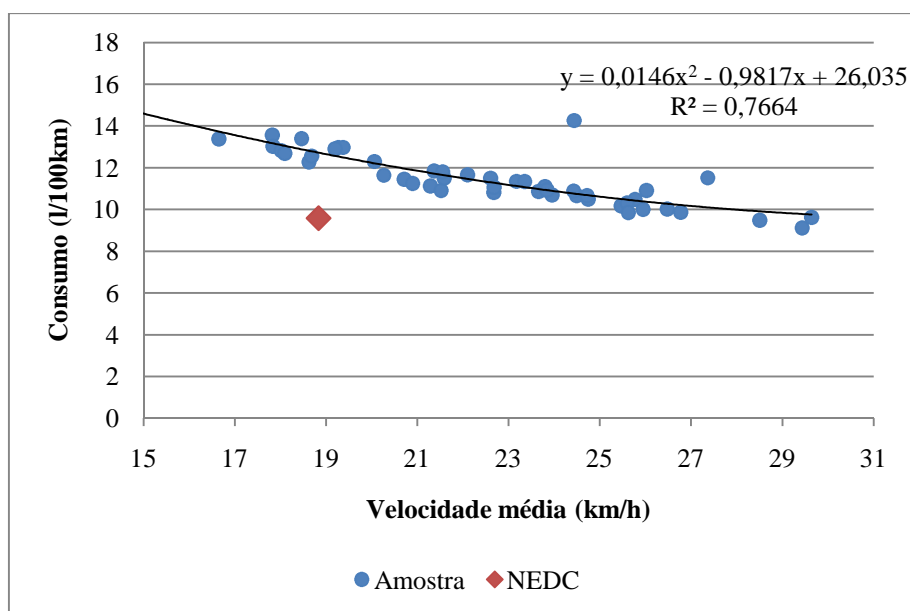


Figura 3.3 - Consumo de combustível em função da velocidade média em percurso urbano

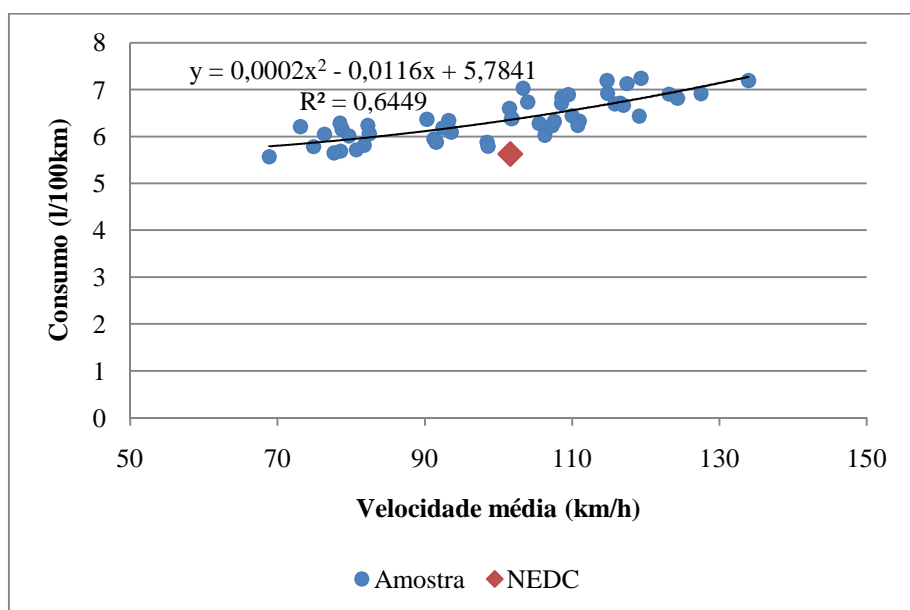


Figura 3.4 - Consumo de combustível em função da velocidade média em percurso extra-urbano

No entanto, esta situação é claramente mais notória em percurso urbano do que em extra-urbano.

É também possível observar que o consumo de combustível em percurso urbano é inversamente proporcional à velocidade média, ao contrário do que acontece em percurso extra-urbano. Esta situação deve-se a dois factores.

O primeiro está relacionado com a velocidade média, que em percurso urbano depende em grande parte dos períodos passados ao ralenti. Quanto mais tempo o automóvel passar neste regime, mais a velocidade média baixa e o consumo de combustível aumenta.

O segundo deve-se às características dos motores de combustão interna cujo consumo depende fortemente do regime em que é utilizado (Figura 1.8).

A Figura 3.5 mostra a comparação do consumo obtido para o ciclo NEDC com a média da amostra estudada para cada um dos 3 tipos de percursos analisados.

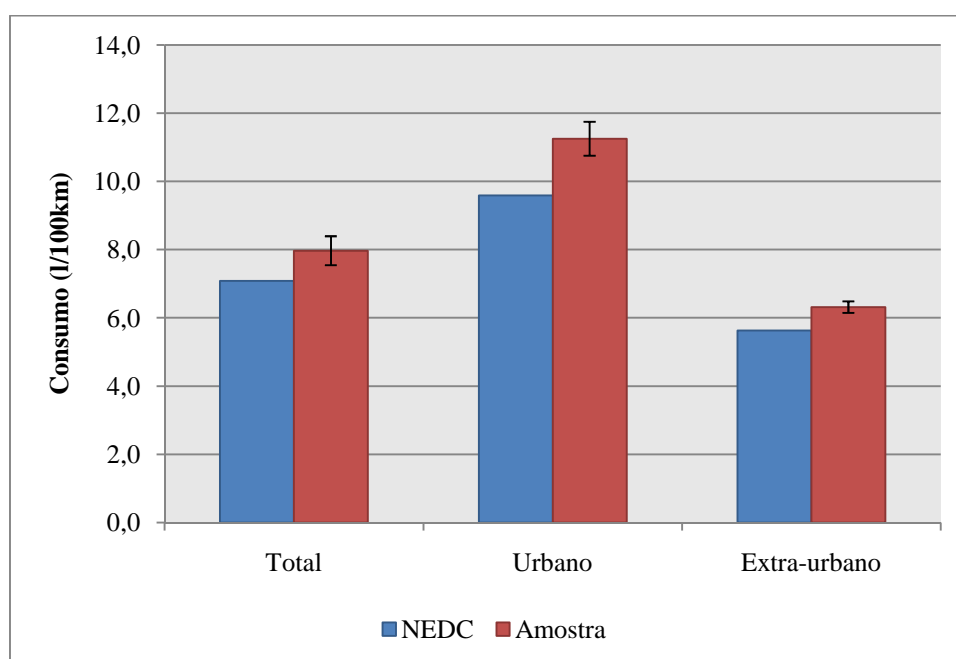


Figura 3.5 - Comparação entre ciclo NEDC e amostra de condutores estudados

Como se pode observar pela Figura 3.5, a amostra estudada apresentou valores de consumo de combustível superiores aos referenciados para o ciclo NEDC.

Esta diferença ocorre tanto em percurso urbano como em extra-urbano, o que mostra que a diferença do resultado total, que no ciclo NEDC corresponde ao consumo combinado, não se deve a uma relação de distâncias percorridas entre circuito urbano e extra-urbano mais favorável.

O resultado obtido demonstra que o ciclo não é representativo do perfil de condução da amostra estudada, mas que poderá ser um indicativo de um valor de consumo de combustível possível de obter.

3.2. Efeito obtido por alteração comportamental sem normalização de percurso

Nesta secção apresenta-se o potencial de poupança de combustível por alteração comportamental, sem considerar o factor percurso. Os resultados apresentados foram calculados tendo como referência os condutores mais económicos em cada tipo de percurso (urbano e extra-urbano), considerando que todos os condutores conduzem a viatura padrão (Ford Focus).

O objectivo desta análise é quantificar o potencial de poupança da amostra estudada, mantendo as distâncias percorridas inalteradas.

A Tabela 3.1 hierarquiza os resultados estimados para percurso urbano em função da média de consumo de combustível obtida (l/100km), que é indicada na coluna “Consumo”.

Os valores obtidos para cada condutor na coluna “Consumo” são valores estimados, calculados para a viatura padrão, em função dos dados OBD monitorizados. Os valores reais teriam de ser calculados em função da viatura conduzida por cada condutor.

No caso dos motores a gasolina de injeção indirecta este valor poderia ser calculado através da relação ar/combustível estequiométrica, valor esse possível de obter através do caudal de massa de ar. No entanto o valor calculado teria um erro associado, porque o motor não funciona sempre neste regime (nomeadamente quando o motor ainda não atingiu a temperatura ideal de funcionamento).

No caso dos motores a gasóleo o consumo de combustível poderia ser calculado através da relação mínima ar/combustível, parâmetro que é específico para cada motor e que não é monitorizado pelo *datalogger* OBD.

Em ambos os casos o caudal de massa de ar admitido no motor seria necessário para o cálculo exacto do consumo de combustível. No entanto não é possível fazê-lo com rigor a partir dos dados monitorizados pelo *datalogger* utilizado, uma vez que a frequência de gravação deste parâmetro (0,2 Hz) é insuficiente para esse efeito.

Além dos 49 condutores monitorizados, o quadro mostra também o consumo médio do ciclo NEDC, que serve apenas de referência, aparecendo por isso a indicação “Não Aplicável” (N/A) no campo referente à diferença para o condutor mais económico.

Na Tabela 3.1 é possível observar a diferença significativa existente entre condutores, o que significa que o consumo total pode ser consideravelmente reduzido.

É de realçar também o facto de dois condutores conseguirem médias inferiores ao ciclo NEDC, o que pode ser explicado pelo tipo de percurso efectuado.

Tabela 3.1 - Hierarquização de consumo de combustível em percurso urbano para a viatura padrão

Condutor	Distância (km)	Consumo (l/100km)	Diferença (l/100km)
NEDC	1,015	9,58	N/A
18	206,02	9,12	0,00
35	182,17	9,48	0,37
39	172,75	9,62	0,50
12	74,27	9,84	0,73
47	237,97	9,85	0,74
34	172,49	9,87	0,75
26	203,14	10,00	0,89
33	140,89	10,02	0,90
27	151,44	10,18	1,06
38	187,49	10,31	1,20
23	53,23	10,48	1,37
3	87,66	10,50	1,38
31	65,08	10,66	1,55
1	122,26	10,66	1,55
40	96,35	10,69	1,58
8	44,02	10,82	1,70
37	165,04	10,87	1,75
7	147,11	10,89	1,77
17	143,21	10,91	1,80
24	113,11	10,92	1,81
48	113,11	10,92	1,81
32	130,02	11,07	1,95
2	36,72	11,10	1,98
11	119,82	11,12	2,00
41	322,80	11,25	2,14
28	138,02	11,34	2,22
4	169,47	11,34	2,23
29	193,86	11,45	2,34
21	142,10	11,50	2,38
14	49,84	11,50	2,39
49	132,32	11,52	2,40
22	189,61	11,64	2,52
25	101,88	11,67	2,55
42	93,21	11,80	2,68
6	128,31	11,84	2,73
10	55,53	12,27	3,16
13	196,18	12,29	3,18

Condutor	Distância (km)	Consumo (l/100km)	Diferença (l/100km)
15	127,79	12,56	3,44
43	81,82	12,68	3,57
36	146,10	12,82	3,70
45	39,64	12,91	3,79
19	104,92	12,97	3,85
44	129,88	12,97	3,86
30	157,70	13,03	3,91
46	217,76	13,38	4,27
16	128,54	13,39	4,28
9	139,47	13,56	4,45
5	232,75	14,26	5,15
20	117,40	16,06	6,94

A Tabela 3.2 hierarquiza os resultados para percurso extra-urbano.

Neste tipo de percurso apenas um condutor conseguiu ser mais eficiente do que o ciclo NEDC.

O potencial de poupança neste tipo de percurso é mais reduzido do que para o percurso urbano, o que é uma situação expectável.

Tabela 3.2 - Hierarquização de consumo de combustível em percurso extra-urbano para a viatura padrão

Condutor	Distância (km)	Consumo (l/100km)	Diferença (l/100km)
NEDC	4,96	5,63	N/A
40	22,6	5,57	0,00
23	47,2	5,65	0,08
1	87,4	5,69	0,12
46	262,6	5,71	0,15
34	85,4	5,78	0,21
26	36,9	5,79	0,22
29	104,3	5,81	0,25
17	805,6	5,88	0,31
24	249,1	5,88	0,31
48	249,1	5,88	0,31
37	384,9	5,95	0,38
33	73,0	6,01	0,44
3	334,3	6,02	0,46
19	124,6	6,05	0,48

Condutor	Distância (km)	Consumo (l/100km)	Diferença (l/100km)
42	90,2	6,06	0,49
22	131,8	6,09	0,53
30	87,9	6,15	0,59
43	119,5	6,18	0,62
2	7,7	6,21	0,64
18	1248,2	6,23	0,66
47	1626,5	6,23	0,67
20	77,7	6,23	0,67
11	331,3	6,28	0,71
45	37,5	6,29	0,72
27	558,7	6,32	0,75
31	535,6	6,33	0,76
39	331,3	6,34	0,77
5	300,9	6,37	0,80
49	363,7	6,38	0,81
21	400,6	6,38	0,82
35	176,8	6,43	0,87
41	848,8	6,44	0,88
13	357,7	6,60	1,03
36	819,6	6,66	1,10
15	611,5	6,69	1,13
32	405,4	6,71	1,14
16	363,4	6,71	1,14
9	282,0	6,73	1,17
25	1481,3	6,81	1,25
4	505,1	6,84	1,27
28	447,3	6,89	1,32
10	493,2	6,91	1,35
7	605,3	6,92	1,35
14	51,8	7,03	1,46
12	435,3	7,09	1,52
6	499,0	7,13	1,56
38	765,5	7,19	1,63
8	262,5	7,19	1,63
44	494,0	7,24	1,67

A Figura 3.6 resume o potencial de redução de consumo de combustível sem normalizar o percurso efectuado. Os resultados apresentados foram calculados considerando que todos os condutores mantêm as distâncias percorridas em cada tipo de percurso e que conduzem a viatura padrão.

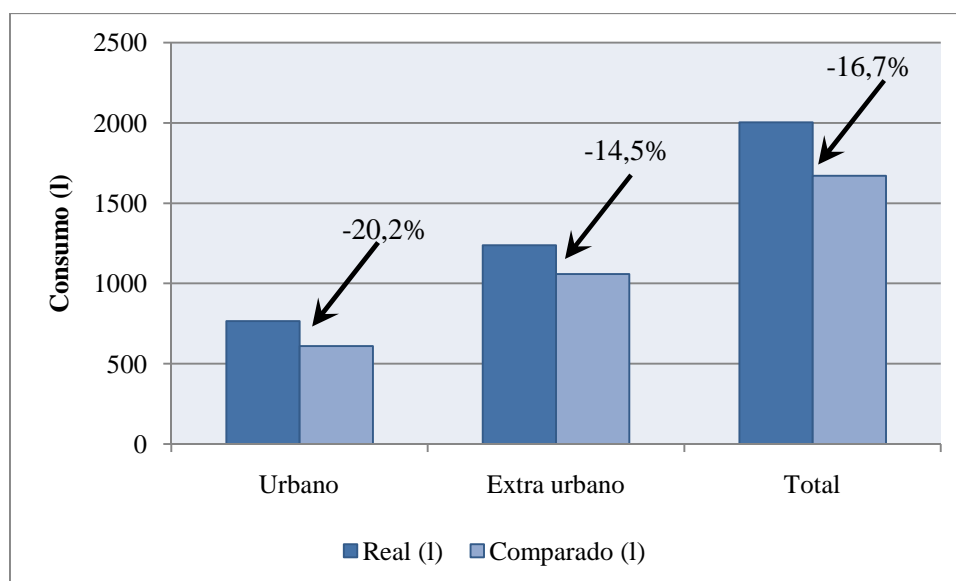


Figura 3.6 - Potencial de redução de consumo de combustível para cada tipo de percurso sem normalização de percurso

A coluna “Real” é relativa aos resultados obtidos na secção 3.1, sendo a coluna “Comparado” relativa aos resultados obtidos nesta secção, considerando que todos os condutores têm o mesmo consumo de combustível do condutor mais económico em cada tipo de percurso. As percentagens apresentadas correspondem à redução de consumo obtida se todos os condutores consumissem o mesmo combustível que o condutor mais económico

Em percurso urbano o potencial de poupança de combustível foi superior a 20%, enquanto que em percurso extra-urbano o potencial foi de 14,5%. Globalmente observou-se um potencial de poupança de 16,7%.

Os resultados obtidos não são independentes do tipo de percurso efectuado por cada condutor, pelo que foi necessário normalizar o percurso efectuado para estimar o efeito do factor comportamental no consumo de combustível, independentemente das variáveis automóvel e percurso.

3.3. Caso de estudo da região da Grande Lisboa

3.3.1. Efeito obtido por alteração comportamental com normalização de percurso

Sem aplicar a normalização de percurso não é possível perceber qual a influência do percurso efectuado nos resultados obtidos na secção 3.2.

A Tabela 3.3 hierarquiza os consumos obtidos após a normalização do percurso, de acordo com a metodologia explicada na secção 2.6.

É importante salientar que os resultados obtidos são explicados exclusivamente pela diferença de perfis de condução.

As colunas relativas à variação (consumo médio e percentagem) mostram a variação de consumo de combustível de cada condutor em relação ao condutor mais eficiente.

Tabela 3.3 - Hierarquização do consumo total de combustível com normalização de percurso

Condutor	Urbano (l/100km)	Extra-urbano (l/100km)	Total (l/100km)	Variação (l/100km)	Variação (%)
NEDC	9,58	5,63	7,08		
1	10,20	5,74	7,38		
23	10,38	5,73	7,44	0,06	0,8%
34	10,52	5,70	7,48	0,10	1,3%
45	9,97	6,10	7,53	0,15	2,0%
33	10,35	5,91	7,55	0,16	2,2%
19	10,38	5,94	7,58	0,19	2,6%
26	10,25	6,06	7,60	0,22	2,9%
24	10,24	6,08	7,61	0,23	3,0%
48	10,24	6,08	7,61	0,23	3,0%
2	10,78	5,85	7,67	0,28	3,7%
40	11,37	5,51	7,67	0,29	3,7%
42	10,44	6,06	7,68	0,29	3,8%
39	10,05	6,30	7,68	0,30	3,8%
3	10,40	6,24	7,77	0,39	5,0%
37	10,80	6,13	7,85	0,47	6,0%
18	10,48	6,35	7,87	0,49	6,2%
31	10,51	6,44	7,94	0,56	7,1%
27	10,64	6,37	7,94	0,56	7,1%
35	10,75	6,61	8,13	0,75	9,2%
28	10,47	6,87	8,19	0,81	9,9%
49	11,31	6,40	8,21	0,83	10,1%
9	10,81	6,71	8,22	0,84	10,2%
25	10,73	6,76	8,22	0,84	10,2%
4	10,58	6,88	8,24	0,86	10,4%
17	11,79	6,19	8,25	0,87	10,6%
46	12,38	5,85	8,26	0,88	10,6%
38	10,25	7,11	8,27	0,89	10,7%
30	12,13	6,02	8,27	0,89	10,7%

Condutor	Urbano (l/100km)	Extra-urbano (l/100km)	Total (l/100km)	Varição (l/100km)	Varição (%)
47	11,35	6,47	8,27	0,89	10,7%
15	11,20	6,62	8,31	0,93	11,2%
7	10,65	6,97	8,33	0,94	11,3%
13	11,47	6,52	8,35	0,97	11,6%
12	10,91	6,90	8,38	0,99	11,9%
32	11,14	6,77	8,38	1,00	11,9%
21	11,82	6,41	8,40	1,02	12,2%
11	12,06	6,32	8,43	1,05	12,5%
16	11,60	6,62	8,45	1,07	12,7%
14	11,41	6,73	8,45	1,07	12,7%
29	12,87	5,90	8,47	1,09	12,9%
43	12,27	6,32	8,51	1,13	13,3%
36	11,83	6,59	8,52	1,14	13,4%
5	12,36	6,31	8,54	1,16	13,5%
22	12,68	6,17	8,57	1,19	13,8%
6	11,24	7,12	8,63	1,25	14,5%
41	12,45	6,45	8,66	1,28	14,8%
44	11,32	7,17	8,70	1,32	15,2%
8	11,52	7,07	8,71	1,33	15,3%
10	12,11	6,86	8,80	1,41	16,1%
20	14,07	6,12	9,05	1,67	18,4%
Consumo médio (l/100km)			8,26		
Varição média (%)			10,6%		

A Figura 3.7 compara o consumo de combustível estimado para cada condutor antes e depois da normalização do percurso.

É possível observar uma grande variação em alguns condutores após a normalização de percurso. Os condutores em que esta variação é maior são condutores predominantemente extra urbanos, cuja relação entre os dois tipos de percurso favorece claramente o consumo obtido.

No percurso normalizado, que tem a mesma proporção entre distância percorrida em percurso urbano e extra-urbano do ciclo NEDC, nenhum condutor obtém valores de consumo de combustível inferiores aos valores anunciados para a viatura padrão. O condutor mais eficiente consome mais 0,3 l/100 km, o que corresponde a uma diferença de 4,2%.

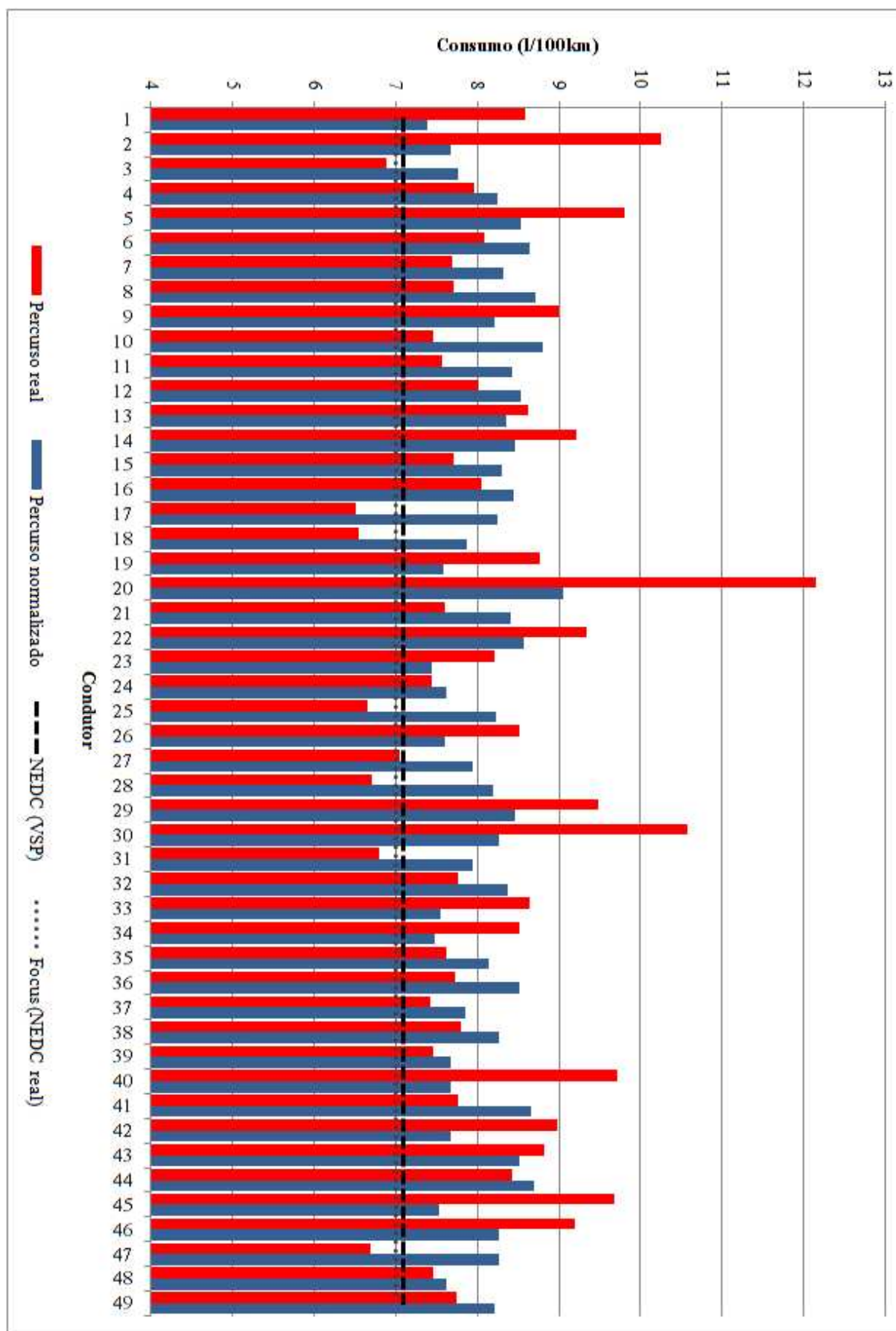


Figura 3.7 - Alteração do consumo total de combustível com normalização de percurso

A Figura 3.8 compara o consumo médio de combustível de todos os condutores com o “condutor padrão” (condutor virtual cujos consumos de combustível em percurso urbano e extra-urbano correspondem aos consumos dos condutores mais eficientes em cada tipo de percurso). Se este fosse o perfil adoptado por todos os condutores a poupança num percurso misto urbano/extra-urbano seria de 13,3%.

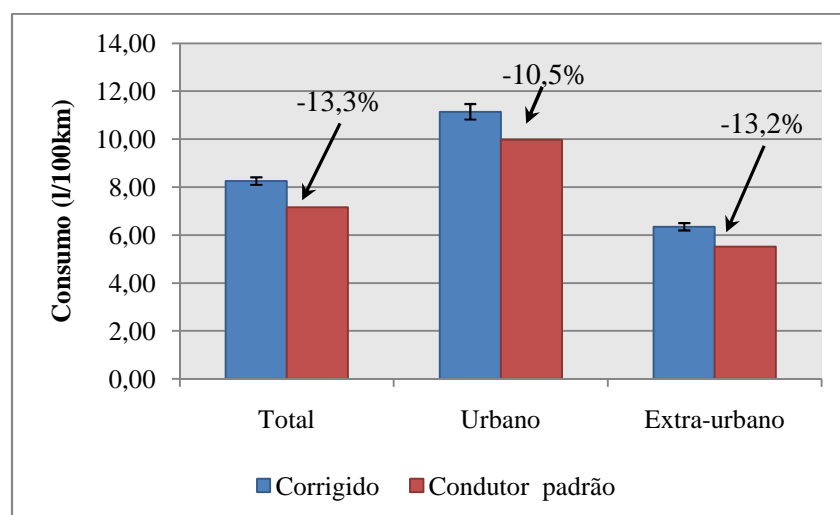


Figura 3.8 - Comparação do consumo de combustível do "condutor padrão" com a média dos condutores (percurso normalizado)

A comparação do condutor padrão com o ciclo NEDC (Figura 3.9) mostra que não há uma diferença significativa entre os dois. Se por um lado o consumo urbano é ligeiramente superior, o condutor padrão é mais económico em percurso extra-urbano.

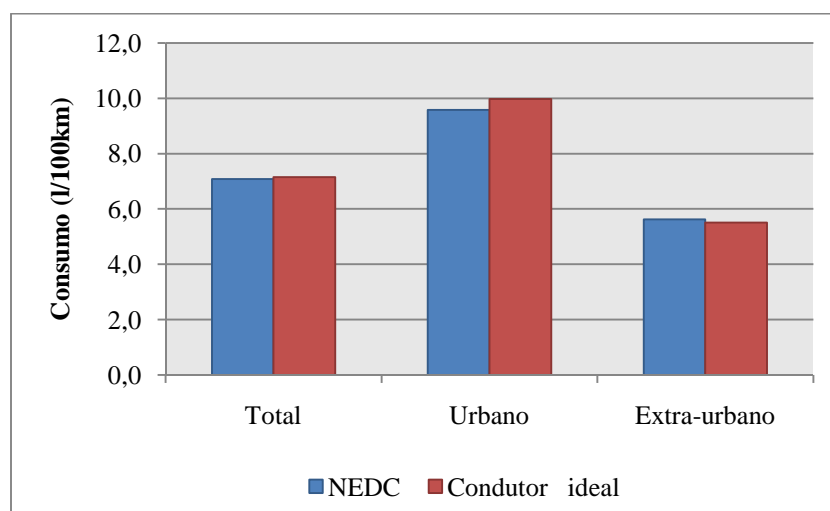


Figura 3.9 - Comparação do consumo de combustível do ciclo NEDC e do "condutor padrão"

A diferença entre consumos combinados do ciclo NEDC e do condutor padrão é de 1,0%, enquanto que a diferença entre este último e o consumo anunciado da viatura padrão é de 2,1%. Estas diferenças não são significativas e podem mesmo ser explicadas pelo facto do ciclo de teste permitir uma margem de erro de ± 2 km/h no perfil de velocidade e ± 1 s no tempo de variação de regime em relação aos valores definidos [26].

3.3.2. Efeito de limitação da velocidade máxima a 80 km/h

A Tabela 3.4 resume os resultados estimados de uma medida semelhante à adoptada em Barcelona na região da Grande Lisboa, supondo que nenhum condutor ultrapassa os 80 km/h.

Tabela 3.4 - Efeito da redução do limite de velocidade para 80 km/h

Condutor	Distância (km)	Consumo real (l/100km)	Consumo 80 km/h (l/100km)
1	209,66	8,59	8,40
2	44,38	10,25	9,03
3	461,38	6,89	5,40
4	674,54	7,97	5,80
5	533,64	9,81	8,02
6	627,30	8,09	5,73
7	752,40	7,69	5,57
8	306,50	7,71	5,02
9	421,48	8,99	7,51
10	548,74	7,46	4,96
11	451,09	7,56	6,14
12	797,84	8,01	5,25
13	553,90	8,62	6,55
14	101,65	9,22	7,29
15	739,31	7,71	6,09
16	491,99	8,06	6,61
17	948,77	6,51	5,52
18	1454,23	6,55	8,76
19	229,47	8,77	8,56
20	195,07	12,15	10,30
21	542,67	7,60	5,57
22	321,45	9,33	8,21
23	100,44	8,21	7,58
24	362,24	7,44	6,12
25	1583,18	6,66	4,81
26	311,13	8,52	7,60

Condutor	Distância (km)	Consumo real (l/100km)	Consumo 80 km/h (l/100km)
27	710,13	7,04	5,94
28	585,32	6,71	6,53
29	298,20	9,48	8,49
30	245,60	10,57	8,81
31	600,69	6,80	5,45
32	535,42	7,76	5,84
33	213,93	8,65	7,63
34	257,85	8,51	7,64
35	445,74	7,61	5,52
36	965,67	7,73	5,37
37	549,94	7,42	6,73
38	953,03	7,80	5,53
39	504,08	7,46	5,30
40	118,99	9,72	8,22
41	1171,55	7,77	5,12
42	183,46	8,98	8,21
43	201,37	8,82	7,75
44	623,87	8,43	6,04
45	77,18	9,69	9,03
46	480,39	9,19	8,49
47	1864,42	6,69	4,70
48	362,24	7,45	6,12
49	495,98	7,75	6,09
Média		7,71	6,19
	Varição (%)		19,7

A Tabela 3.4 mostra a variação de consumo de combustível, tendo em consideração o tipo de percurso feito por cada condutor. Neste caso não se procedeu à normalização de percurso, por se entender que o resultado obtido depende da relação percurso urbano/extra-urbano.

A Figura 3.10 mostra a diferença no consumo médio de combustível com base nos resultados obtidos. A coluna identificada como “Média real” mostra a média de consumo de combustível obtida na secção 3.1, enquanto a coluna “Média 80 km/h” mostra a média de consumo obtida nesta secção.

A diferença observada entre as duas barras da Figura 3.10 é estatisticamente significativa.

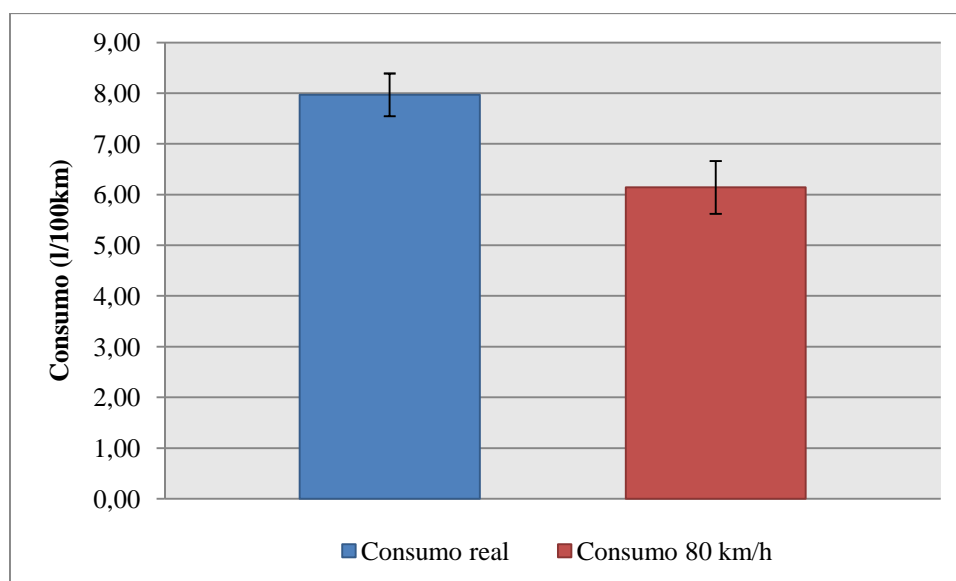


Figura 3.10 - Diferença entre consumo real e consumo de combustível com um limite de velocidade de 80 km/h

No total dos condutores monitorizados, o tempo extra necessário para percorrer a mesma distância aumentou em média 1h 01min 56s (9,2%). No entanto, este aumento inclui o tempo passado em excesso de velocidade (acima dos 120 km/h).

Corrigindo a velocidade máxima de cada condutor para 120 km/h, o tempo extra médio é de 1h 01min 42s (aumento de 8,8%).

Considerando que a utilização do automóvel é feita maioritariamente de 2^a a 6^a feira, este aumento corresponde a um tempo extra diário de 12 minutos e 20 segundos.

3.3.3. Quantificação do factor comportamental

As estimativas apresentadas nesta secção têm por base as vendas de combustíveis nos concelhos considerados como “Grande Lisboa” segundo o critério descrito no capítulo Material e Métodos, considerando que a amostra de 49 condutores monitorizados é representativa do universo em questão.

Pretende-se desta forma extrapolar os resultados obtidos pela aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho para o caso de estudo da região da Grande Lisboa.

A metodologia poderia igualmente ter sido aplicada ao país como um todo. No entanto os dados recolhidos são específicos da região da Grande Lisboa, não sendo por isso representativos de situações como a circulação interurbana em auto-estrada (A1 ou A2, por exemplo), que têm um impacto considerável no consumo total de combustíveis no sector dos transportes rodoviários em Portugal.

A estimativa é feita com base nas vendas de combustíveis de 2007, por ser este o ano mais recente com dados disponíveis, conforme indicado na Tabela 3.5 [27].

Tabela 3.5 - Vendas de combustíveis rodoviários na região da Grande Lisboa em 2007 [27]

Concelho	Gasolina Aditivada (t)	Gasolina IO 95 (t)	Gasolina IO 98 (t)	Gasóleo Rodoviário (t)
Lisboa	36,9	91.481,2	10.327,3	212.247,1
Alcochete	3,0	5.120,8	460,9	25.191,7
Almada	17,7	29.118,2	2.664,5	59.151,0
Amadora		21.818,7	1.984,9	38.993,9
Barreiro		9.152,2	850,4	18.680,6
Cascais		28.137,4	3.592	56.687,8
Loures		28.569,3	3.017,6	102.033,6
Moita		5.064,4	484,3	11.035,1
Montijo	15,8	11.843,3	1.267,9	37.884,6
Odivelas		5.246,8	426	14.166,3
Oeiras	11,8	34.212,5	3.564,7	72.662,4
Seixal	39,3	19.505,2	1.828,5	44.094,6
Sintra	6,1	44.917,5	4043	106.615,1
Vila Franca de Xira	9,2	17.433,2	1.604,7	68.892,1
Total	139,8	351.620,7	36.116,7	868.335,9

O Despacho n.º 17313/2008 do Ministério da Economia e Inovação define os factores de conversão para combustíveis, conforme indicado na Tabela 3.6 [28].

Tabela 3.6 - Factores de conversão de energia para gasolina e gasóleo

Combustível	PCI (tep/t)	PCI médio (tep/t)
Gasolina	1,051-1,075	1,063
Gasóleo	1,010-1,034	1,022

Na estimativa que foi efectuada utilizaram-se os valores médios indicados na Tabela 3.6.

A Tabela 3.7 apresenta o consumo energético no sector dos transportes rodoviários estimado na Grande Lisboa, calculado a partir da Tabela 3.5 e da Tabela 3.6. Esta estimativa considera que todos os combustíveis vendidos nos concelhos abrangidos são consumidos dentro da área definida como Grande Lisboa, e que todos os combustíveis consumidos nesta mesma área são adquiridos também no seu interior.

Tabela 3.7 - Valor energético dos combustíveis rodoviários vendidos na área definida como Grande Lisboa

	Vendas (t)	Teor energético (tep)
Gasolina	387.877,2	412.313,5
Gasóleo	868.335,9	887.439,3
Total	1.256.213,1	1.299.752,8

Com base na informação dos quadros anteriores e nos resultados obtidos no capítulo 3 é possível estimar a poupança de consumo de energia possível de obter através da alteração comportamental dos condutores.

A Tabela 3.8 resume os resultados obtidos para os dois critérios propostos. Neste quadro, o critério identificado como “Condutor padrão” estima os valores para uma alteração comportamental através de mudança de mentalidade, sem qualquer alteração legislativa.

O critério identificado como “Limite 80 km/h” estima a redução de consumo de combustível possível de obter através da alteração do limite de velocidade em auto-estrada na região da Grande Lisboa.

Tabela 3.8 - Potencial de poupança energética devido ao factor comportamental

Critério	Consumo calculado (l/100km)	Redução (%)	Energia poupada (tep)
Condutor padrão	7,15	13,3%	172.867
Limite 80 km/h	6,19	19,7%	256.051

A redução indicada para a limitação a 80 km/h (19,7%) é obtida considerando uma média ponderada por quilómetros em comparação com o consumo médio real da amostra (7,97 l/100km).

No cenário correspondente ao condutor padrão, a redução (13,3%) foi calculada em relação à média aritmética simples de todos os condutores (8,25 l/100km), uma vez que este valor foi obtido com normalização de percurso.

A poupança de combustível obtida considerando o “condutor padrão” (173 tep) é elevada, correspondendo a mais de metade do valor previsto para 2015 pelo PNAEE devido à utilização de tecnologias mais eficientes (300 ktep), apenas na zona definida como Grande Lisboa. Esta redução de consumo de combustível corresponde a uma redução de emissões de CO₂ para a atmosfera de 524.560 toneladas.

O valor obtido para o cenário de alteração do limite de velocidade máximo é ainda mais elevado (256 ktep), mas tem a desvantagem de depender de uma decisão política que pode ser muito impopular. Neste caso a redução de emissões de CO₂ para a atmosfera seria de 776.980 toneladas.

3.4. Resultados de eco-condução

Os dados registados pelo *datalogger* permitem analisar alguns parâmetros de eco-condução. Os resultados obtidos podem ser úteis no planeamento de acções de formação de eco-condução, procurando perceber quais os aspectos com maior potencial de melhoria.

Esta análise é complementar aos resultados apresentados anteriormente, e visa não só ajudar a explicar as diferenças de consumo de combustível verificadas entre os vários condutores, mas também em que pontos deveria incidir uma eventual acção de formação em eco-condução.

Para que o resultado obtido pela formação em eco-condução seja maximizado, o seu planeamento deve ser personalizado com base nos resultados descritos nesta secção.

Todos os condutores têm aspectos que podem ser melhorados, sendo cada caso um caso específico. Nesse sentido o *datalogger* mostra ser uma ferramenta válida para auditar o perfil de eco-condutor antecipadamente, permitindo um planeamento da acção de formação mais eficaz.

De igual modo o *datalogger* pode ser também utilizado para verificar posteriormente quais os resultados obtidos.

O primeiro parâmetro analisado é o tempo passado em regimes de motor (RPM) elevados. O critério adoptado considera que o regime do motor é elevado sempre que for superior a 3.000 RPM, sendo baixo ou moderado quando for inferior a este valor.

A Figura 3.11 mostra que a maioria dos condutores passa menos de 10% do tempo total de condução em regimes de motor baixos ou moderados. Porém, há 10 condutores em que isso não acontece.

Estes casos revelam uma utilização predominantemente extra-urbana, com velocidades elevadas, a que correspondem regimes de motor também elevados.

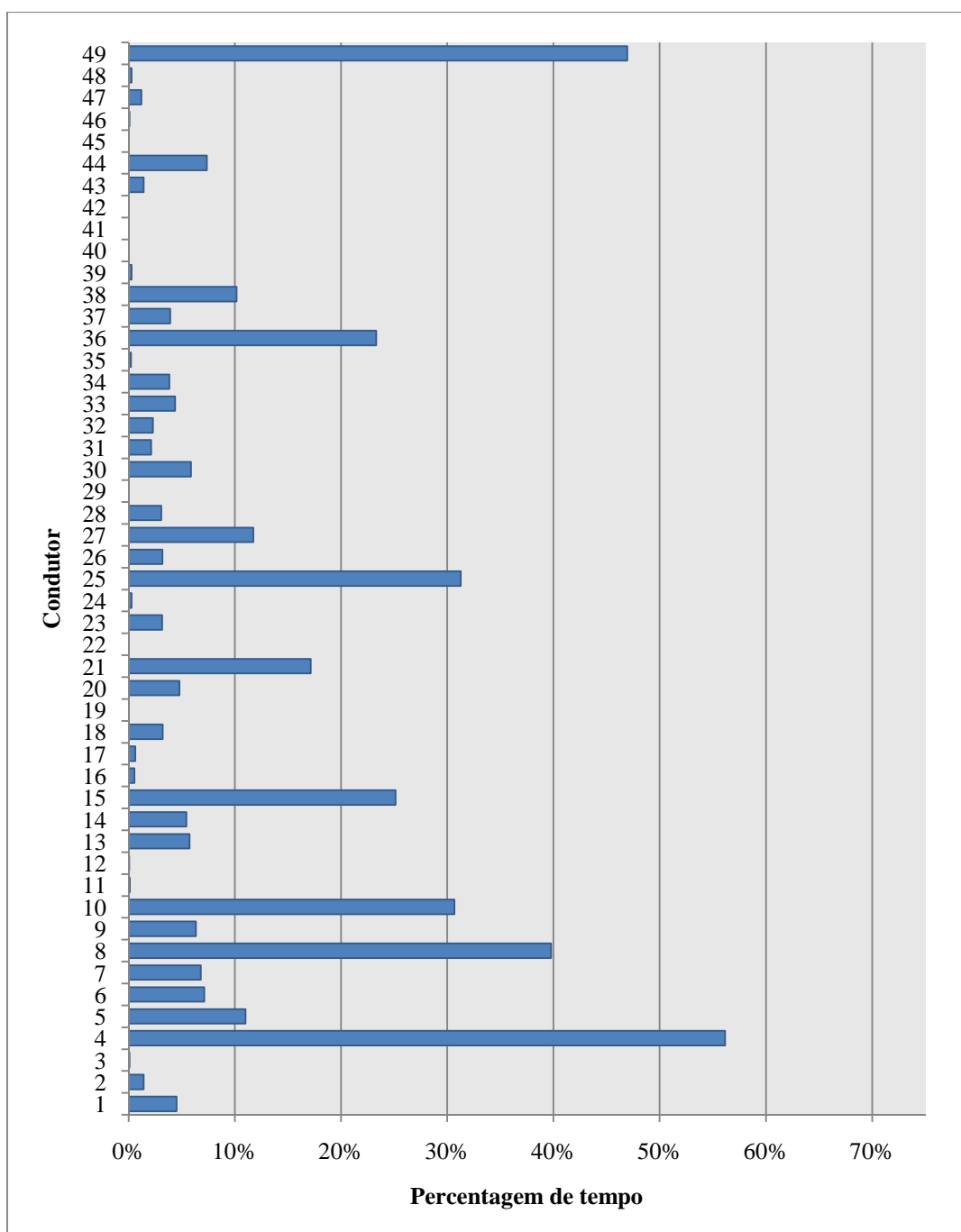


Figura 3.11 - Percentagem de tempo, por condutor, com rotação do motor superior a 3.000 RPM

O número de travagens fortes e muito fortes (Figura 3.12) de cada condutor é um parâmetro de eco-condução que pode ser consideravelmente melhorado num grande número de condutores.

Este é um aspecto que afecta fortemente a eficiência energética do transporte rodoviário. A variação da energia cinética resultante da força de travagem aplicada é toda ela desperdiçada sob a forma de calor. Apenas em veículos com sistemas de recuperação de energia cinética (veículos eléctricos ou híbridos) este efeito pode ser atenuado, mas nunca totalmente eliminado [29].

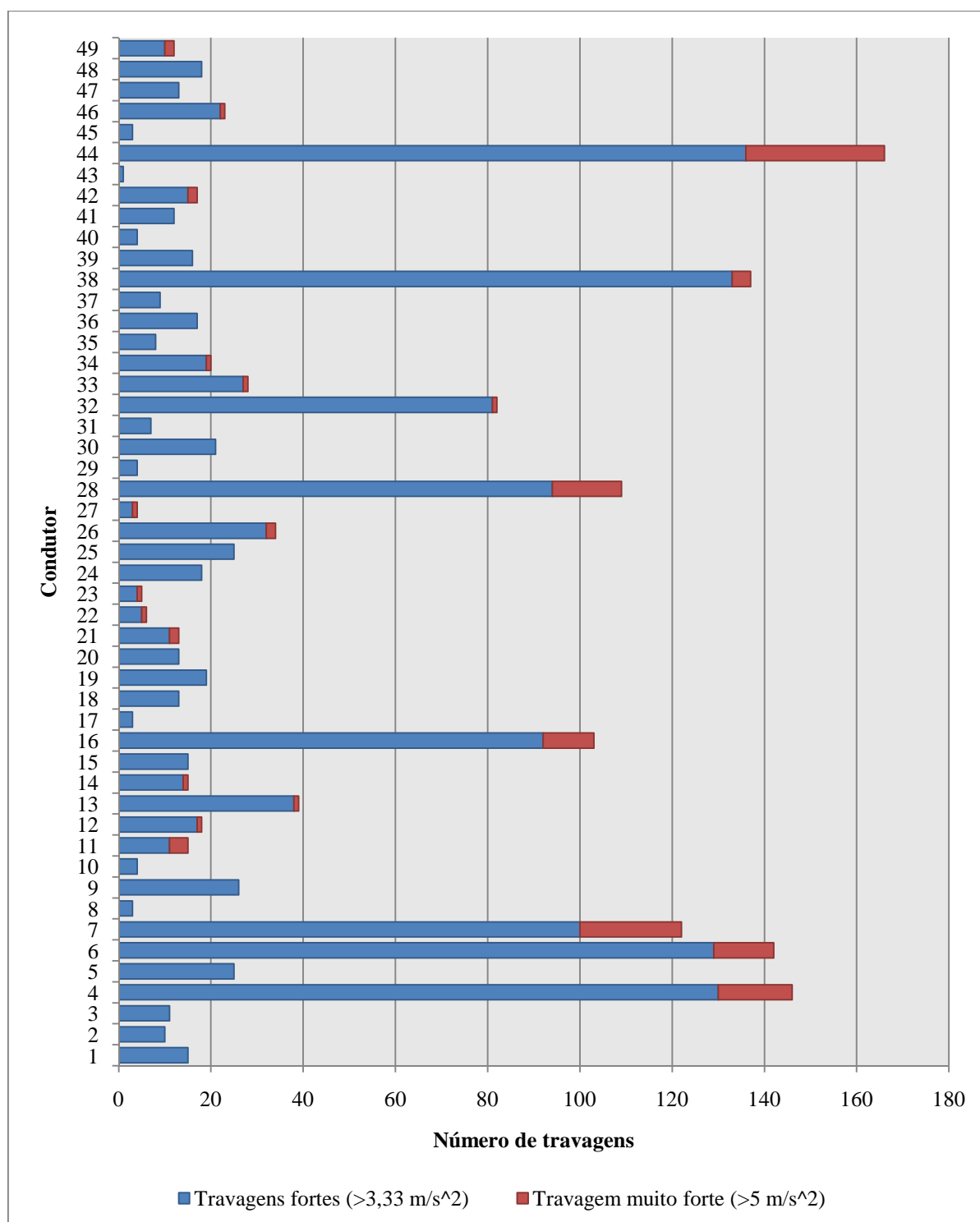


Figura 3.12 - Número de travagens fortes e muito fortes por condutor

A Figura 3.12 considera o número total de travagens fortes e muito fortes. No entanto, a distância percorrida no ciclo semanal por cada condutor é muito variável. Por essa razão, a Figura 3.13 mostra o número de travagens fortes ou muito fortes por cada 100 quilómetros percorridos. Desta forma é possível observar com que frequência estas ocorrem.

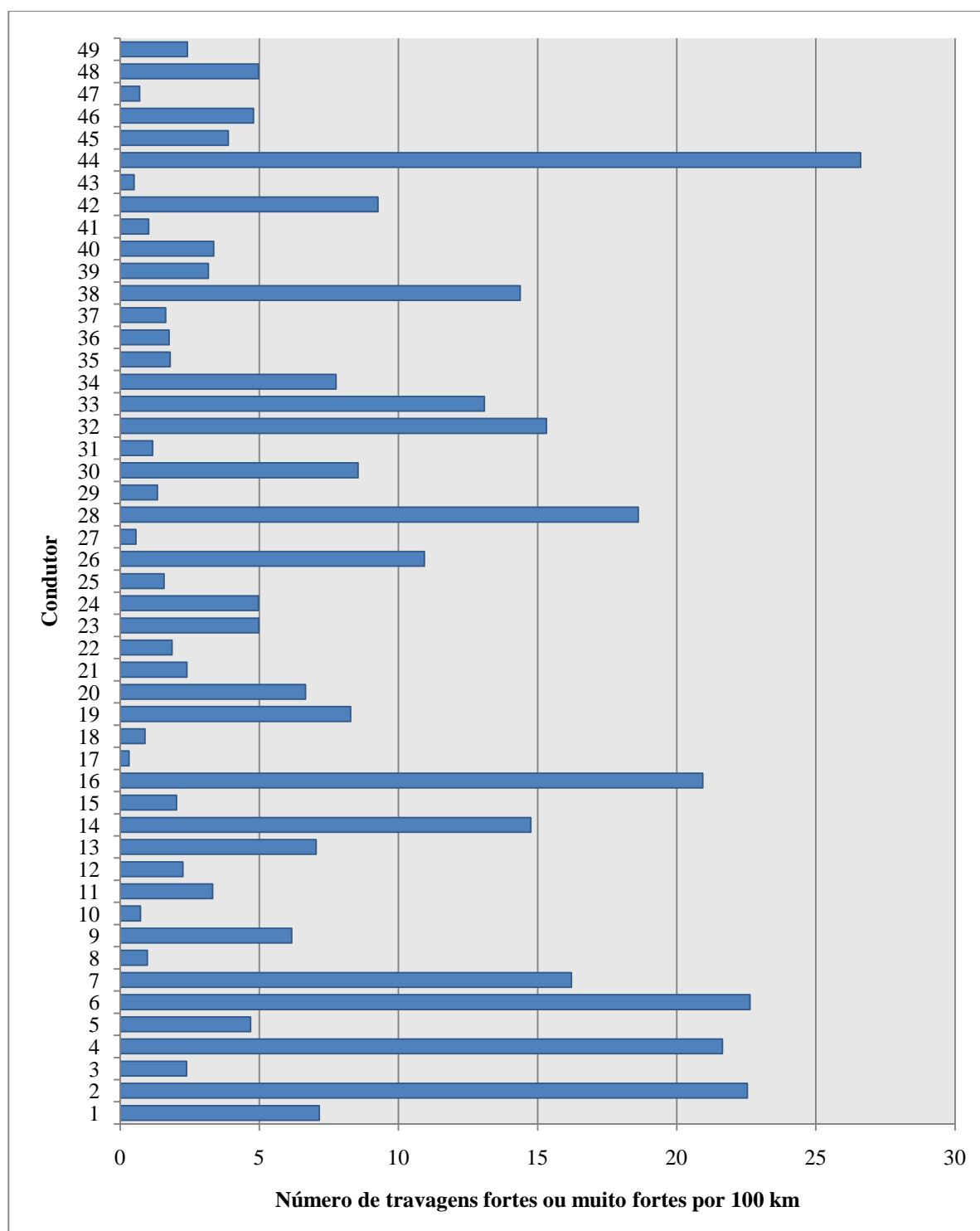


Figura 3.13 - Travagens fortes ou muito fortes por cada 100 quilómetros

Conforme demonstrado anteriormente, a intensidade da aceleração está directamente relacionada com o consumo, além de ser representativo da agressividade do perfil de condução. Idealmente a Figura 3.14 estaria totalmente a zero, o que seria indicativo que nenhum condutor teria feito acelerações fortes ou muito fortes.

A situação observada está muito longe de ser a ideal, havendo mesmo condutores como por exemplo os números 5, 20 e 30, em que os valores observados revelam ser um hábito frequente.

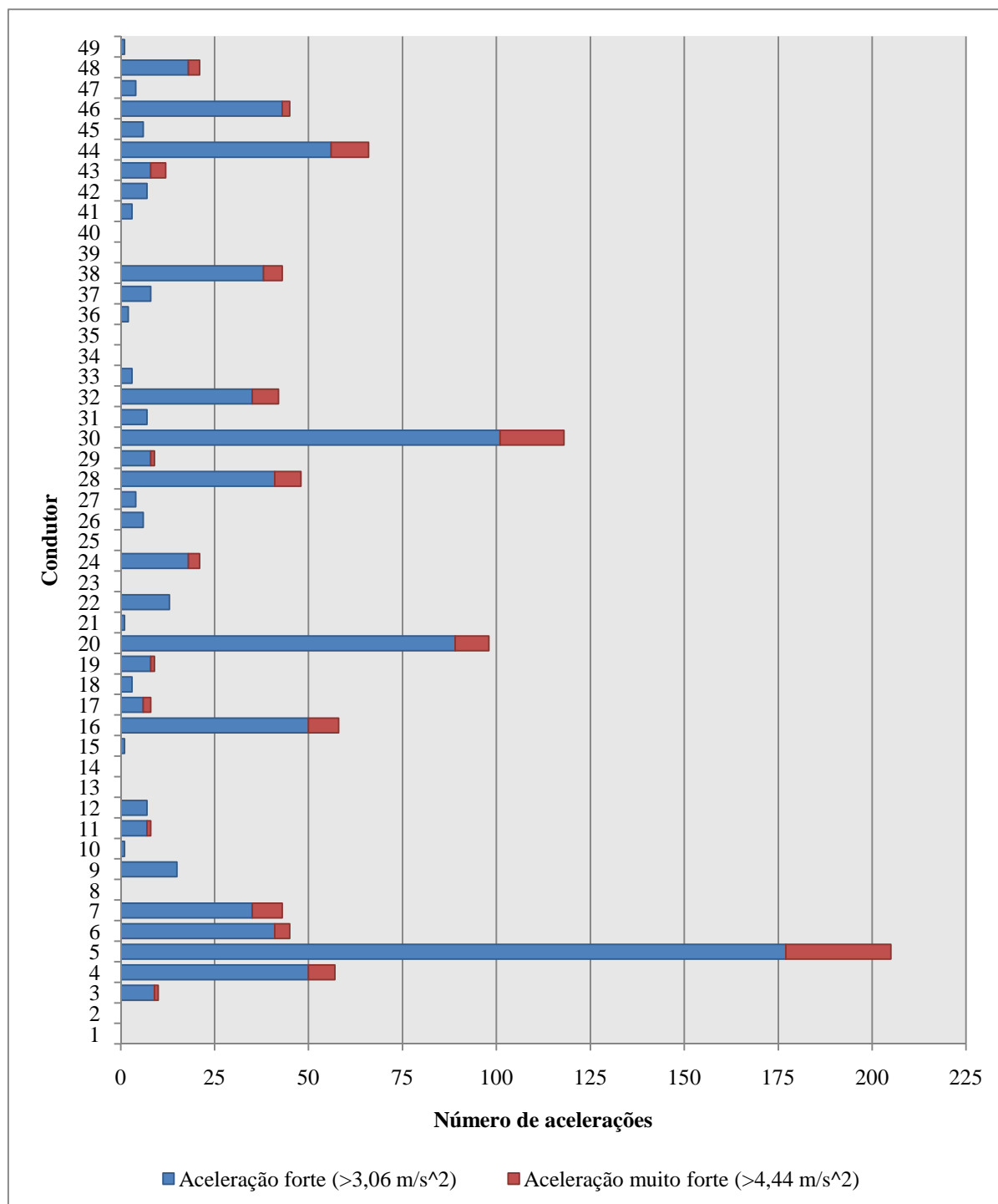


Figura 3.14 - Número de acelerações fortes e muito fortes

A Figura 3.15 mostra o número de acelerações fortes ou muito fortes por cada 100 quilómetros percorridos, de modo a permitir perceber com que frequência estas acontecem.

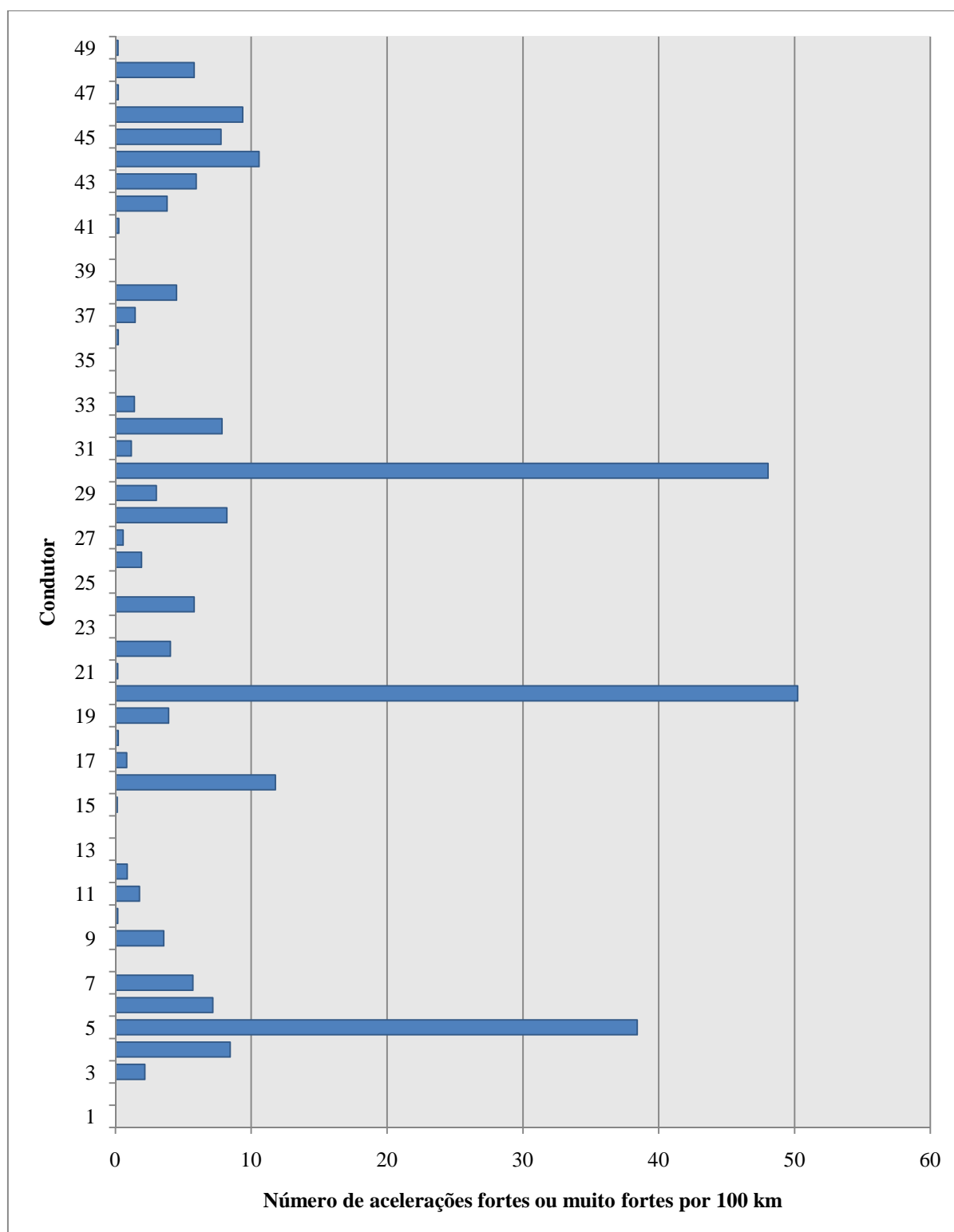


Figura 3.15 - Número de acelerações fortes ou muito fortes por cada 100 quilómetros

A percentagem de tempo passada com o motor ao ralenti (Figura 3.16) é um critério de eco-condução que não depende totalmente do condutor. No entanto é sempre possível procurar reduzir estes

períodos. Nesta figura é de realçar o grande número de condutores que passa mais de 10% do tempo total de condução passado ao ralenti.

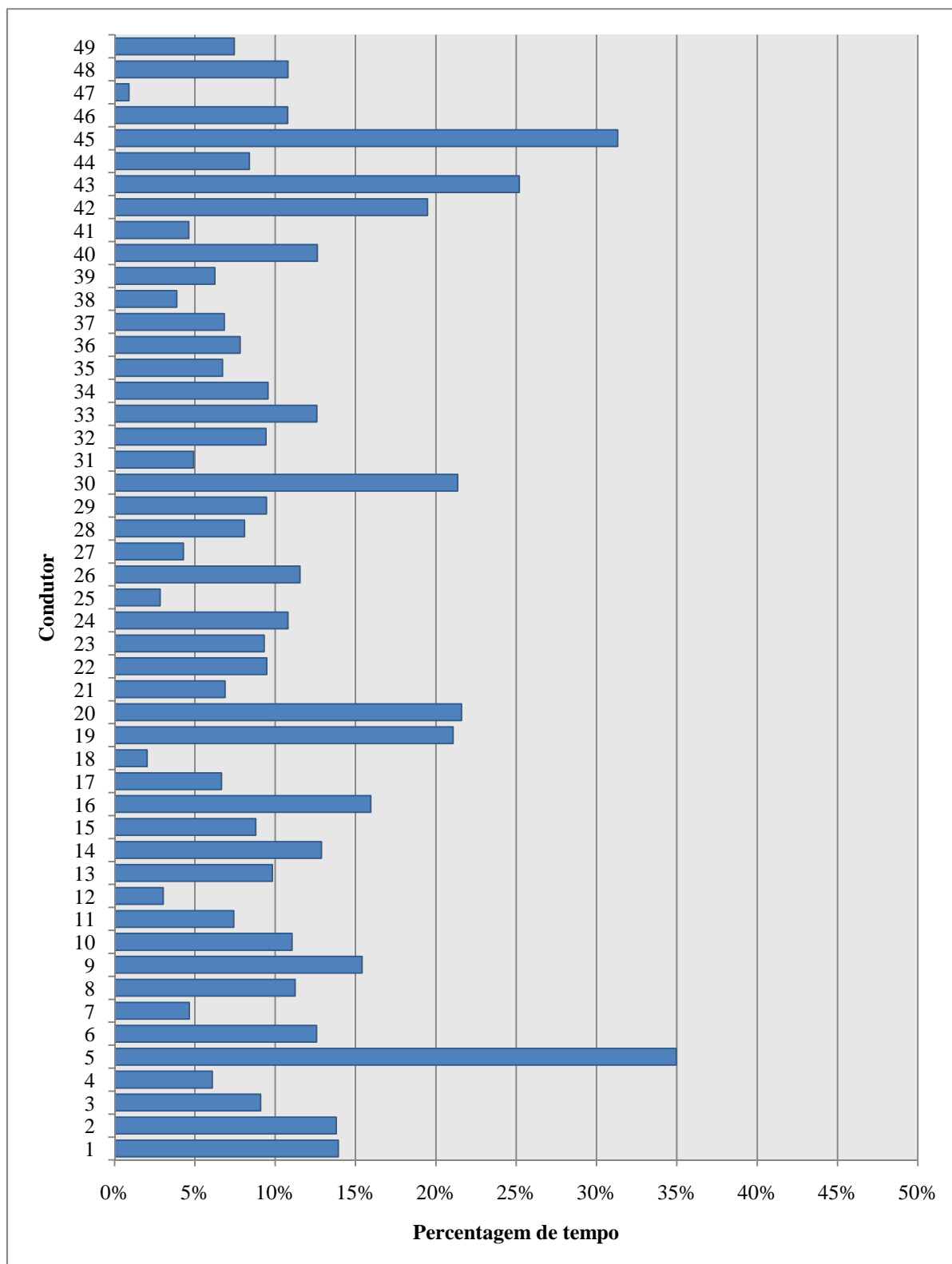


Figura 3.16 - Percentagem de tempo ao ralenti

A utilização da função de corte de injeção depende em grande parte do conhecimento do condutor. Exemplo disso é o facto dos 3 condutores que maior utilização fazem desta função (condutores 21, 35 e 39) serem profissionais do sector automóvel com formação técnica (Figura 3.17).

É de realçar também que há 2 condutores que não fazem qualquer utilização desta função, o que mostra o total desconhecimento da sua existência e/ou dos benefícios da sua utilização.

Nos condutores 1, 15, 17, 27 e 37 a utilização desta função é muito reduzida, pelo que não é possível perceber se o corte de injeção ocorre propositadamente ou é ocasional.

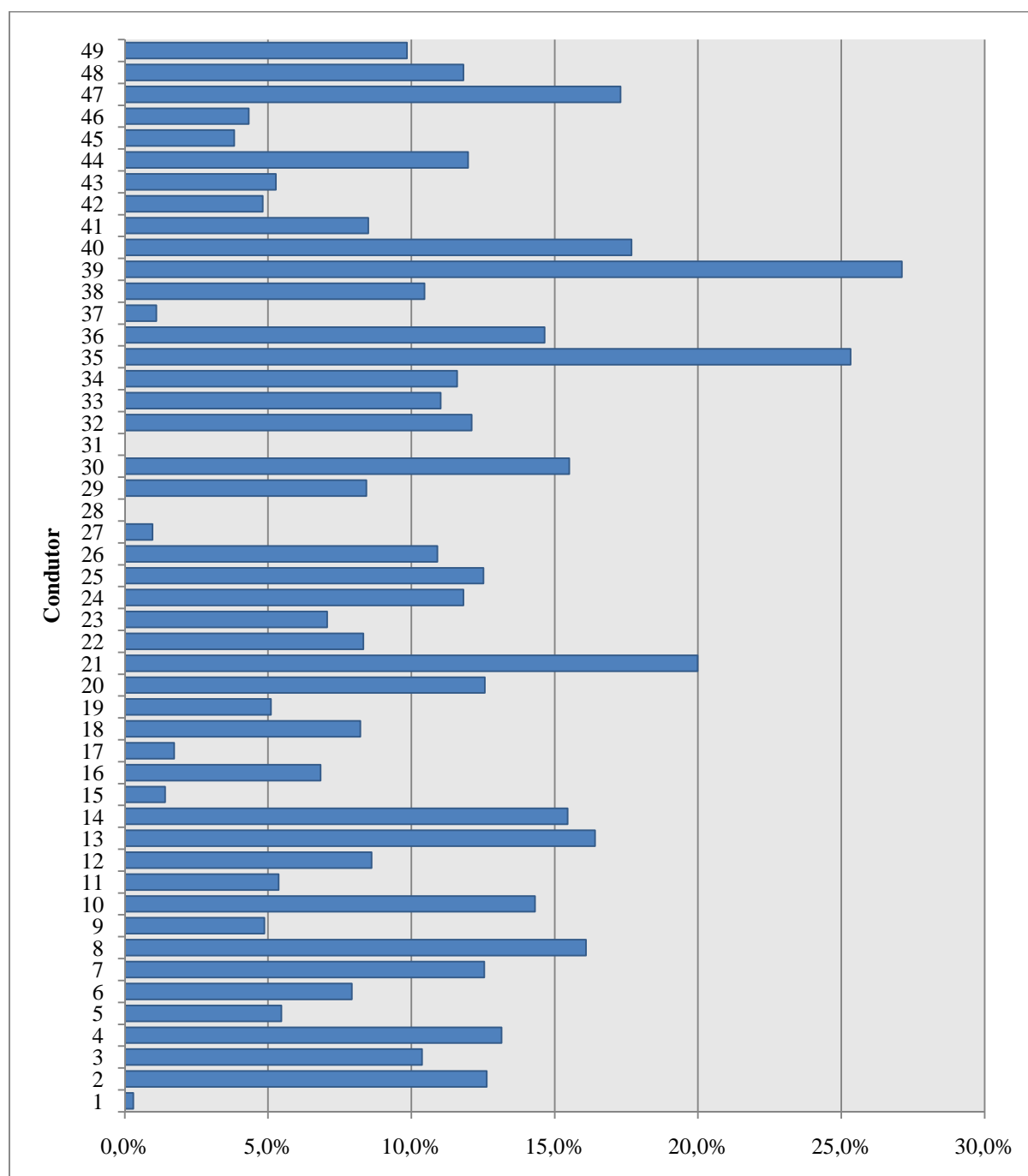


Figura 3.17 - Percentagem do tempo de condução passado em CI por condutor

4. Conclusões

O presente trabalho teve como objectivo desenvolver um método que permitisse comparar o efeito comportamental no consumo de combustível de veículos automóveis ligeiros entre condutores diferentes, independentemente do veículo conduzido e do percurso efectuado.

Para esse efeito foram monitorizados os perfis dinâmicos de 49 condutores durante o período de uma semana, recorrendo a *dataloggers* EOBD.

Os dados recolhidos pelo *datalogger* utilizado não são suficientes para calcular com precisão o consumo de combustível de cada condutor, mas permitem traçar o respectivo perfil dinâmico.

Através do perfil dinâmico de cada condutor é possível obter a respectiva distribuição de modos VSP. A metodologia desenvolvida baseia-se nesse perfil, a partir do qual é feita a normalização da viatura conduzida e do percurso efectuado.

Para normalizar a viatura seleccionou-se uma viatura padrão, da qual se conhecia previamente o seu consumo em função do modo VSP a que circula. A partir da distribuição VSP de cada condutor, foi possível estimar o consumo que se obteria se fosse esta a viatura conduzida.

A normalização do percurso efectuado foi feita determinando a velocidade média de cada condutor em função do seu modo VSP médio. As distâncias totais percorridas em percurso urbano e extra-urbano tiveram por base o ciclo NEDC, uma vez que é este o ciclo utilizado na UE para os testes de consumo de todos os veículos homologados no espaço da União. A partir da velocidade média e da distância percorrida, foi possível calcular o tempo de viagem de cada condutor, e consequentemente o tempo dispendido em cada modo VSP.

A aplicação da metodologia descrita permitiu comparar o efeito comportamental independentemente das variáveis veículo e percurso efectuado. Os resultados obtidos mostram que há uma grande variação de consumos entre os condutores mais económicos e os restantes.

É de realçar também que apesar do ciclo NEDC não ser representativo da amostra monitorizada, a comparação feita entre este ciclo e a amostra após a normalização de viaturas e de percursos, mostra que há condutores que obtêm resultados semelhantes. Estes resultados mostram que há de facto um potencial que está longe de ser explorado no que diz respeito ao factor comportamental na condução de veículos automóveis ligeiros em termos de eficiência energética.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um caso de estudo, a região da Grande Lisboa, no qual se procurou quantificar o potencial de poupança de combustível possível de obter através da alteração comportamental.

A quantificação foi feita com base em dois critérios. O primeiro prevê a alteração da mentalidade dos condutores lisboetas, sem qualquer mudança legislativa, comparando todos os condutores com um condutor virtual, designado por “condutor padrão”, cujo consumo de combustível em percurso urbano e extra-urbano é o mesmo dos condutores mais económicos em cada um destes percursos.

O segundo critério prevê a redução do limite de velocidade em auto-estrada de 120 km/h para 80 km/h, à semelhança do que aconteceu em 2007 na cidade de Barcelona. Para isso alteraram-se os perfis dinâmicos de todos os condutores monitorizados, corrigindo a velocidade instantânea para 80 km/h sempre que o valor real fosse superior. Para manter a distância percorrida inalterada, acrescentou-se ao perfil dinâmico o tempo necessário a uma velocidade de cruzeiro de 80 km/h.

Os resultados obtidos para o primeiro critério confirmam que apesar do ciclo de condução utilizado para medir as emissões de gases de escape e consumos anunciados para os modelos homologados na União Europeia, o ciclo NEDC, não ser representativo da amostra estudada, o “condutor padrão” em termos de eficiência energética é bem caracterizado por este ciclo.

O potencial de poupança estimado para o consumo de combustível pelo factor comportamental no sector dos transportes em automóveis ligeiros na região da Grande Lisboa é de 172,9 ktep. Este valor é muito elevado e só seria possível de obter com uma mudança radical por parte de todos os condutores, o que está longe de ser um cenário realista.

No entanto, a consciencialização dos condutores tem um potencial que actualmente não é aproveitado e pode representar uma parte muito significativa dos objectivos a que se propõe o PNAEE.

A redução do limite de velocidade tem um potencial ainda maior, 256 ktep, e a aplicação em locais como a cidade de Barcelona, mostra que é tecnicamente viável e depende apenas da adopção de medidas de controlo que a tornem eficaz. No entanto a decisão política em questão pode revelar-se muito impopular, pelo que a sua aplicação depende de outros factores para além dos estritamente técnicos.

Os resultados monitorizados de eco-condução revelam que há uma quantidade considerável de condutores que certamente beneficiariam com formação adequada nesta área.

O desenvolvimento de técnicas de eco-condução durante a instrução para a obtenção da carta de condução poderia ser um modo de melhorar a eficiência energética, embora os resultados só sejam observáveis a longo prazo.

No caso dos condutores já encartados, a consciencialização é mais difícil de conseguir, mas a melhoria das técnicas de eco-condução pode ser conseguida através de campanhas de sensibilização ou de formação específica nesta área.

5. Propostas de trabalhos futuros

No seguimento do presente trabalho seria relevante verificar os resultados obtidos utilizando viaturas padrão diferentes, tais como automóveis com motor de ignição por compressão (gasóleo), com motor de ignição comandada (gasolina) de baixa cilindrada ou com tracção eléctrica.

Seria também relevante quantificar, aplicando o método desenvolvido no âmbito do presente trabalho, o efeito comportamental a nível nacional.

Tendo em consideração o perfil de velocidades da amostra monitorizada, a análise do efeito do excesso de velocidade em auto-estrada na factura energética nacional é igualmente relevante. Para esse efeito é necessário limitar a recolha de dados apenas a viagens feitas neste tipo de percurso.

Qualquer uma das análises propostas pode ser complementada por um estudo socioeconómico, tendo em consideração o preço-fronteira do recurso energético em questão, o petróleo. Este estudo procuraria determinar a factura energética para a economia nacional devido ao défice de eficiência energética provocado pelo factor comportamental.

O resultado de acções de formação em eco-condução, no que diz respeito à sua eficiência, pode também ser avaliado. Para esse efeito seria necessário repetir a monitorização do ciclo semanal de condução, após formação adequada.

6. Referências Bibliográficas

- [1] Resolução do Conselho de ministros n.º 80/2008. *Diário da República nº 97 Série I de 20/05/2008*; pp 2824-2865.
- [2] Eurostat (2011). Acedido em 4 de Janeiro de 2011, disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>.
- [3] Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, pp. L 114/64-85 de 27 de Abril de 2006..
- [4] Parlamento Europeu (2009). *Relatório sobre o seguimento dos planos de acção nacionais de eficiência energética: primeira avaliação*. A6-0030/2009.
- [5] Sivak, M. e Tsimhoni, O. (2009). *Fuel efficiency of vehicles on US roads: 1923-2006*. Energy Policy. Vol. 37, pp 3168-3170.
- [6] Decreto 152/2007. *Díari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, de 12 de Julho de 2007, pp. 23837-44.
- [7] Cantera, D. (2008). *Análisis de la calidad del aire por limitación de velocidad a 80km/h en los corredores de acceso a la ciudad de Barcelona*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [8] Baldasano, J., Gonçalves, M.; Soret, A. e Jiménez-Guerrero, P. (2010). Air pollution impacts of speed limitation measures in large cities: The need for improving traffic data in a metropolitan area. *Atmospheric Environment*. Vol. XXX, pp 1-10.
- [9] Berry, I (2010). *The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Massachusetts Institute of Technology.
- [10] Barth, M. e Boriboonsomsin, K. (2009). Energy and emissions impacts of a free-based dynamic eco-driving system. *Transportation Research Part D*. 2009. Vol. 14, pp 400-410.
- [11] Eco-condução Portugal. [Online]. Consultado em 28 de Dezembro de 2010. Disponível em: www.ecoconducao-portugal.pt.
- [12] Plotkin, S. (2009). Examining fuel economy and carbon standards for light vehicles. *Energy Policy*. Vol. 37, pp 3843-3853.
- [13] Nivola, P.. e Crandall, R. (1995).. *The extra mile*. s.l. : Twentieth Century Fund. ISBN 0-8157-6091-4.
- [14] Direcção Geral de Energia e Geologia (2010). *Petróleo, carvão e gás natural. Estatísticas rápidas - Outubro 2010*. 66.
- [15] U.S. Energy Information Administration. *U.S. Energy Information Administration - Independent Statistics and Analysis*. [Online]. Consultado em 4 de Janeiro de 2011. Disponível em <http://www.eia.gov/oog/info/gdu/gasdiesel.asp>.
- [16] Google Maps (2010). Acedido em 14/12/2010, disponível em: <http://maps.google.pt/>
- [17] Peleja, J. (2009). *Monitorização do efeito do comportamento de condução no consumo em veículos ligeiros diesel*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico.

- [18] Estradas de Portugal. [Online]. Consultado em 21 de Dezembro de 2010. Disponível em http://telematica.estradasdeportugal.pt/pls/alqueva/f?p=105:9:0::NO::P3_REDE,P3_NIVEL:8,REDE.
- [19] Davis Instruments. [Online]. Consultado em 4 de Fevereiro de 2011. Disponível em <http://www.davisnet.com/about/index.asp>.
- [20] Directiva 98/69/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.. *Jornal Oficial da União Europeia n° L 350*; pp 0001 - 0057 28 de Dezembro de 1998.
- [21] U.S. Environmental Protection Agency (2002). *Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle and Equipment Emission System*. EPA420-R-02-027.
- [22] Jiménez-Palacios, J. (1999). *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing*. Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica. Massachusetts Institute of Technology.
- [23] Gonçalves, G. (2009). *Energy and Environmental Monitoring of Alternative Fuel Vehicles*. 2009. Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico.
- [24] Carfolio. [Online]. Consultado em 4 de Janeiro de 2011. Disponível em <http://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=167673>.
- [25] Direcção Geral de Energia e Geologia. *Tabela de conversão (litros/kgs)*. [Online]. Consultado em 4 de Fevereiro de 2011. Disponível em <http://www.dgge.pt?cr=7442>.
- [26] Directiva do Conselho 70/220/CEE. *Jornal Oficial n° L 076*; pp 0001 – 0194 de 6 de Abril de 1970.
- [27] Direcção Geral de Energia e Geologia. *Petróleo - Vendas por concelho (2007)*. [Online]. Consultado em 4 de Fevereiro de 2011. Disponível em <http://www.dgge.pt?cr=10332>.
- [28] Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho de 2008, *Diário da República, 2.ª série — N.º 122*, pp. 27912-27913. . Ministério da Economia e Inovação.
- [29] Robert Bosch GmbH (2007). *Automotive Handbook. 7th Edition*: SAE Society of Automotive Engineers. ISBN 2007. 978-0-7680-1953-7.