



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE VOLUMES ANUAIS
DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO**
UM MODELO PARA PORTUGAL

Carlos Miguel Lima de Azevedo
(Licenciado)

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil
para a obtenção do Grau de Mestre em Transportes pela Universidade Técnica
de Lisboa no âmbito do protocolo de cooperação entre o IST e o LNEC

Orientador: Doutor João Paulo Lourenço Cardoso
Co-orientador: Doutor José Manuel Caré Baptista Viegas

Júri

Presidente: Doutor José Manuel Caré Baptista Viegas
Vogais: Doutor Luís Guilherme de Picado Santos
Doutor João Paulo Lourenço Cardoso
Doutor José Manuel Coelho das Neves

Junho de 2008

TÍTULO: Métodos de Estimativa de Volumes Anuais de Tráfego Rodoviário – Um Modelo para Portugal

NOME: Carlos Miguel Lima de Azevedo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

ORIENTADOR: Prof. Doutor João Lourenço Cardoso

CO-ORIENTADOR: Prof. Doutor José Manuel Viegas

SUMÁRIO

As características de utilização do automóvel no que diz respeito à flexibilidade nas distâncias praticáveis, ao conforto e à independência horária tornaram-no no meio de transporte mais utilizado no contexto actual da procura de transportes. A quantificação do uso do automóvel de forma regular e diversificada tornou-se numa necessidade manifesta da nossa sociedade, face aos impactes negativos associados ao tráfego rodoviário, tais como o congestionamento, a poluição ou a sinistralidade. O número de veículos que circulam numa rede rodoviária, ou parte dela, representado pelo volume de tráfego rodoviário, constitui uma fonte de informação fundamental sobre o estado de um determinado sistema de tráfego e na análise dos respectivos impactes.

No presente trabalho é analisado o cenário actual em que se enquadram as estimações de volumes anuais de tráfego rodoviário ao nível nacional, lançando as bases para o desenvolvimento de um modelo sistemático de estimação para Portugal. São analisados os diferentes métodos internacionais de estimação de volumes de tráfego rodoviário, referindo as particularidades no seu desenvolvimento e na sua utilização. É feita uma análise dos dados relevantes actualmente disponíveis em Portugal e apresentado o desenvolvimento de um método de estimação de volumes anuais de tráfego rodoviário ao nível nacional, baseado fundamentalmente nas leituras de conta-quilómetros realizadas em inspecções técnicas. Por fim, são apresentadas as estimativas dos volumes de tráfego rodoviário ao nível nacional para os anos de 2004, 2005 e 2006, segundo o método de estimação desenvolvido. Estes valores constituem a primeira estimativa nacional de volumes de tráfego desagregados por tipo de veículo e tipo de estrada, permitindo um melhor conhecimento das distâncias percorridas segundo estas variáveis e uma actualização das estimativas agregadas existentes.

Palavras-chave:

- Volume de circulação
- Volume de tráfego rodoviário nacional
- Modelo de estimação
- VMT (VKT)
- Veículos x quilómetro
- Distâncias percorridas

ABSTRACT

The automobile characteristics in terms of the flexibility of practicable distances comfort and time schedule autonomy have made it the most demanded mode of transportation. In face of the negative impacts associated with road transportation, as congestion, pollution and road accidents, the quantification of the regular and diversified use of the automobile has become a clear need of our society. The number of vehicles that circulate in a road network, or in part of it, is represented by the traffic volume (or vehicle miles of travel – VMT) and constitutes a source of fundamental information about the condition of a specific transportation system and for the analysis of its particular impacts.

In the present work, the available estimates of annual traffic volumes at national level are analysed, setting up the context for the development of a systematic method of estimation for the Portuguese case.

Several different international methods of VMT estimation are compared, namely considering the particularities of its development and use. Also, an analysis of the relevant and available data is made, and a method of estimation for the annual traffic volume in Portugal is proposed. The estimation method is mainly based on the odometers readings made in technical inspections.

Finally, the proposed method is applied for the estimation of the national road traffic volumes for the years of 2004, 2005 and 2006. The obtained results represent the first estimates at national level of annual traffic volumes, disaggregated by vehicle category and road type, thus enabling a better understanding of the travelled distances by these key variables, as well as permitting an actualization of the previous and aggregated estimates.

Key-words:

- Traffic volume
- Estimation model
- VMT (VKT)
- Vehicle - kilometres
- Distance travelled
- Kilometres (miles) of travel

Agradecimentos

A presente dissertação foi realizada sob orientação do Dr. Eng.º João Lourenço Cardoso, Investigador Principal Habilitado do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e co-orientação do Professor José Manuel Viegas, Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico.

O autor pretende expressar um reconhecido agradecimento:

- Ao Dr. Eng.º João Lourenço Cardoso, orientador da tese, pelo acompanhamento, pelos aconselhamentos nas várias fases do estudo e sobretudo pela constante disponibilidade e simpatia.
- Ao Prof. Doutor José Manuel Viegas, orientador da tese, pelo incentivo e pela colaboração prestada.
- Ao Eng.º António Lemonde de Macedo, Director do Departamento de Transportes do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pelo interesse mostrado.
- Ao Eng. Henrique Marques, ao Dr. Luís Mendes e ao Robson Moreira da Direcção Geral de Viação, pela disponibilização de dados essenciais para a realização desta dissertação.
- À Dr.ª Sofia Azeredo Lopes do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, e à Dr.ª Carla Silva, do DTEA – Transportes, Energia e Ambiente do Departamento de Mecânica do Instituto Superior Técnico, pelos preciosos ensinamentos e esclarecimentos prestados.
- À Dr.ª Elisabete Arsénio e à Eng.ª Sandra Vieira, pela amizade e pelo entusiasmo contagiante.
- Ao Técnico Principal José Gil do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pela sua importante colaboração no tratamento de dados.
- Aos colegas do Núcleo de Planeamento de Tráfego e Segurança do Laboratório Nacional de Engenharia Civil pelo apoio no processamento e cálculo automático efectuado.
- À minha irmã Inês e ao meu pai, pelo apoio e incentivo constantes ao longo deste trabalho.

ÍNDICE

1 |	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento e objecto de estudo	1
1.2	Objectivo do estudo	5
1.3	Estrutura da dissertação	7
2 |	PRÁTICA ACTUAL E OUTROS MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO	9
2.1	Breve perspectiva histórica nacional e internacional	9
2.2	Conjuntura internacional actual	10
2.3	Desafios e evolução dos métodos de estimação	11
2.4	Panorama internacional na estimação de volumes de circulação	19
3 |	ANÁLISE CIRCUNSTANCIADA DOS MÉTODOS EM USO	23
3.1	Preâmbulo	23
3.2	Principais fontes de informação	24
3.2.1	<i>CONTAGENS DE TRÁFEGO</i>	24
3.2.2	<i>INQUÉRITOS AO CONDUTOR</i>	26
3.2.3	<i>CONSUMOS DE COMBUSTÍVEL</i>	28
3.2.4	<i>LEITURA DIRECTA DE CONTA-QUILÓMETROS</i>	30
3.3	Descrição de métodos de estimação em uso	33
3.3.1	<i>ALEMANHA</i>	33
3.3.2	<i>SUÉCIA</i>	34
3.3.3	<i>ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA</i>	36
3.3.4	<i>REINO UNIDO</i>	39
3.3.5	<i>AUSTRÁLIA</i>	40
3.3.6	<i>FRANÇA</i>	41
3.3.7	<i>SÍNTESE</i>	43

4 |	INFORMAÇÃO RELEVANTE DISPONÍVEL EM PORTUGAL	45
4.1	Preâmbulo	45
4.2	Leituras de conta-quilómetros	45
4.3	Parque automóvel	53
4.4	Postos de Contagem	57
4.5	Rede Rodoviária	59
4.6	Consumos de combustíveis	62
4.7	Inquéritos ao transporte rodoviário de veículos pesados	63
5 |	ESTIMAÇÃO DE VOLUMES DE CIRCULAÇÃO PARA PORTUGAL	67
5.1	Preâmbulo	67
5.2	Método Proposto	68
5.2.1	<i>ESTIMAÇÃO DOS VOLUMES DE CIRCULAÇÃO POR TIPO DE VEÍCULO</i>	69
5.2.2	<i>ESTIMAÇÃO DOS VOLUMES DE CIRCULAÇÃO POR TIPO DE ESTRADA DA RRN</i>	93
5.2.3	<i>ESTIMAÇÃO DOS CONSUMOS DE COMBUSTÍVEIS</i>	100
5.2.4	<i>MODELO SIMPLIFICADO DE ESTIMAÇÃO DE DMDP</i>	104
5.2.5	<i>INTEGRAÇÃO DOS MODELOS DE ESTIMAÇÃO EM BASES DE DADOS ESTRUTURADAS</i>	111
5.3	Condicionantes e hipóteses do modelo	113
5.3.1	<i>MOTOCICLOS E OUTROS VEÍCULOS NÃO INSPECCIONADOS</i>	113
5.3.2	<i>TRÁFEGO TRANSFRONTEIRIÇO</i>	114
5.3.3	<i>A REDE</i>	115
5.3.4	<i>PARQUE AUTOMÓVEL EM CIRCULAÇÃO</i>	116
5.3.5	<i>VEÍCULOS RECENTES</i>	117
5.3.6	<i>PROCESSO DE CORRECÇÃO DE LEITURAS DE CONTA-QUILÓMETROS</i>	117
5.4	Resultados obtidos na estimação de volumes de circulação nacionais	118
5.4.1	<i>VOLUMES DE CIRCULAÇÃO POR TIPO DE VEÍCULO</i>	118
5.4.2	<i>VOLUMES DE CIRCULAÇÃO POR TIPO DE ESTRADA</i>	127
5.5	Validação	139
5.5.1	<i>VOLUMES DE CIRCULAÇÃO NACIONAIS</i>	139
5.5.2	<i>CONSUMOS DE COMBUSTÍVEIS</i>	140

6 |	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
7 |	BIBLIOGRAFIA	149

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 | Quadro resumo do tipo de informação utilizada em alguns países, no processo de estimacão de volumes de circulaco anuais.....	20
Quadro 2 | Quadro Resumo do tipo de informaco obtida em alguns países, no processo de estimacão de volumes de circulaco anuais.....	21
Quadro 3 | Classificaco de Estradas pela FHWA.....	37
Quadro 4 | Categorias de veículos sujeitos a inspecoes técnicas obrigatórias e respectiva periodicidade	47
Quadro 5 | Número de inspecoes técnicas e veículos inspecionados em 2004, 2005 e 2006	50
Quadro 6 | Classificaco geral de veículos segundo o IEP.....	58
Quadro 7 | Extensão da RRN construída	60
Quadro 8 | Características da RRN segundo a <i>BASE RRN</i>	61
Quadro 9 | Consumos de combustíveis em Portugal.....	63
Quadro 10 | Distância percorrida por veículos pesados de mercadorias por tipo de parque e tipo de transporte	64
Quadro 11 | Amostra considerado no ITRM de 2004 e 2005.....	64
Quadro 12 | Categorias de peso na desagregaco de veículos pesados de mercadorias no ITRM ...	65
Quadro 13 | Categorias de veículos pesados consideradas	74
Quadro 14 | Categorias de veículos ligeiros consideradas	75
Quadro 15 | Valores máximos da distância anual percorrida considerados na Dinamarca	76
Quadro 16 | Valores máximos da distância diária percorrida na deteco de <i>outliers</i>	77
Quadro 17 | Tratamento da base <i>VEÍCULOS</i>	78
Quadro 18 | Veículos inspecionados em 2004, 2005 e 2006, por ano de matrícula.....	80
Quadro 19 | Parque automóvel de veículos pesados em circulaco	83

Quadro 20 |	Número de veículos ligeiros inspeccionados entre 2004 e 2006	87
Quadro 21 |	Definição do número de veículos ligeiros em circulação.....	88
Quadro 22 |	Parque automóvel de veículos ligeiros em circulação.....	90
Quadro 23 |	Desagregação da RRN e da amostra formada pelos postos de contagem, por tipo de estrada.....	95
Quadro 24 |	Percentagem do volume de circulação atribuído a cada tipo de veículo, por tipo de estrada.....	99
Quadro 25 |	Velocidades médias consideradas na estimação de consumos de combustíveis.....	103
Quadro 26 |	Percentagens do volume de circulação para os tipos de estradas consideradas na estimação de consumos de combustíveis	104
Quadro 27 |	Modelos simplificados de estimação de DMDP de veículos pesados.....	108
Quadro 28 |	Modelos simplificados de estimação de DMDP de veículos ligeiros.....	109
Quadro 29 |	Número de motociclos e respectiva percentagem no parque automóvel nacional	113
Quadro 30 |	Volumes de circulação estimados, por tipo de veículo.....	118
Quadro 31 |	Volumes de circulação de veículos sujeitos a inspeção em 2005, por tipo de rede.....	128
Quadro 32 |	Volume de circulação na RRN em 2005 por tipo de estrada	129
Quadro 33 |	Consumo estimado e volume nacional de vendas de combustíveis, para o ano de 2004	140
Quadro 34 |	Consumo estimado e volume nacional de vendas de combustíveis, para o ano de 2005	141
Quadro 35 |	Consumo estimado e volume nacional de vendas de combustíveis, para o ano de 2006	141
Quadro 36 |	Quadro Resumo do tipo de informação utilizada no método de estimação de volumes de circulação anuais proposto.....	145
Quadro 37 |	Quadro Resumo do tipo de informação obtida sobre volumes de circulação anuais	146

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 | Importância do transporte rodoviário no panorama actual dos transportes nos países da zona Euro	1
Figura 2 | Estrutura da dissertação.....	8
Figura 3 | Diferença entre a distribuição do parque automóvel por ano de matrícula, da amostra do inquérito NPTS realizado em 1990 e do registo oficial de veículos do Oak Ridge National Laboratory	12
Figura 4 | Resultados da correcção de dados de leituras de conta-quilómetros I/M.....	14
Figura 5 | Exemplos de análises de volumes de circulação em estudos de sinistralidade e socio-económicos.....	17
Figura 6 | Utilização de SIG para cálculo e visualização da intensidade de tráfego na rede nacional da República Checa	26
Figura 7 | Exemplo de cálculo da distância percorrida através de leituras de conta-quilómetros em inspecções bienais	32
Figura 8 | Número anual de veículos inspeccionados e vendidos por ano de matrícula para 2004, 2005 e 2006.....	51
Figura 9 | Percentagem do número total de veículos inspeccionados consoante o número inspecções realizadas por ano	51
Figura 10 | Distribuição da quilometragem nas leituras das inspecções de veículos ligeiros	52
Figura 11 | Evolução do número total de veículos no parque automóvel nacional	54
Figura 12 | Número de veículos pesados no parque nacional consoante a idade (2006)	55
Figura 13 | Número de veículos ligeiros no parque nacional consoante a idade (2006).....	55
Figura 14 | Tratamento de veículos com distâncias percorridas negativas entre duas leituras consecutivas.....	71
Figura 15 | Exemplo da contribuição de inspecções consecutivas no cálculo das DMDP anuais	72
Figura 16 | Tratamento das leituras para cálculo de distâncias diárias percorridas por cada veículo .	73
Figura 17 | Variações das DMDP por ano de matrícula para vários grupos de veículos pesados	85
Figura 18 | Variações das DMDP por ano de matrícula, para várias categorias de veículos ligeiros e para os três anos de estimação considerados.....	92
Figura 19 | Esquema de desagregação por tipo de estrada.....	94

Figura 20 | Análise da variação da percentagem de tráfego de veículos pesados em anos consecutivos.....	96
Figura 21 | Esquema geral de funcionamento do modelo COPERT III.....	102
Figura 22 | Distribuição das DMDP de veículos ligeiros e pesados	105
Figura 23 | Exemplo de plataforma de acesso à informação sobre volumes de circulação	112
Figura 24 | Distribuição dos volumes de circulação nacionais por tipo de veículo.....	119
Figura 25 | Distribuição dos volumes de circulação por tipo de combustível.....	120
Figura 26 | Evolução da distribuição dos volumes de circulação por tipo de combustível de veículos ligeiros	120
Figura 27 | Distribuição dos volumes de circulação nacionais por categoria de peso	121
Figura 28 | Distribuição dos volumes de circulação de veículos ligeiros por categoria de cilindrada	122
Figura 29 | Distribuição dos volumes de circulação de veículos ligeiros por categoria de cilindrada	122
Figura 30 | Volume de circulação em 2004 dos principais tipos de veículos pesados.....	123
Figura 31 | Distribuição dos volumes de circulação de alguns grupos de veículos pesados por categoria de ano de cilindrada	124
Figura 32 | Volume de circulação em 2004 para os principais tipos de veículos ligeiros.....	125
Figura 33 | Distribuição dos volumes de circulação de alguns grupos de veículos ligeiros por categoria de ano de matrícula.....	126
Figura 34 | Distribuição dos volumes de circulação de alguns grupos de veículos ligeiros por categoria de ano de matrícula.....	126
Figura 35 | Distribuição do volume de circulação e da extensão total da RRN em 2005, por tipo de estrada.....	131
Figura 36 | Relação entre a contribuição para o volume de circulação e para a extensão total da RRN em 2005, por tipo de estrada	132
Figura 37 | Distribuição do volume de circulação da RRN em 2005, por classe de estrada.....	133
Figura 38 | Distribuição do volume de circulação da RRN em 2005, por tipo de veículo.....	133
Figura 39 | Distribuição do volume de circulação da RRN em 2005, por tipo de faixa de rodagem ..	134
Figura 40 | Volumes de circulação de veículos ligeiros na RRN em 2005, por tipo de estrada.....	135
Figura 41 | Volumes de circulação de veículos pesados na RRN em 2005, por tipo de estrada.....	136
Figura 42 | Volumes de circulação de veículos não sujeitos a inspeção na RRN em 2005, por tipo de estrada.....	137
Figura 43 | Percentagem de pesados na RRN em 2005, por tipo de estrada.....	138

Figura 44 | Comparação dos volumes de circulação estimados com o modelo proposto por Cardoso139

Figura 45 | Esquematização do método de estimação de volumes anuais de circulação para Portugal proposto145

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Lista dos postos de contagem utilizados na estimação de volumes de circulação da RRN .3	
ANEXO II – Tabelas propostas pela UNECE	11
ANEXO III – Categorias de veículo utilizadas pelo COPERT III.....	17
ANEXO IV – Estimação de Distâncias Médias Diárias Percorridas por tipo de veículo pesado – 2004	19
ANEXO V – Estimação de Distâncias Médias Diárias Percorridas por tipo de veículo pesado – 2005.	23
ANEXO VI – Estimação de Distâncias Médias Diárias Percorridas por tipo de veículo pesado – 2006	27
ANEXO VII – Estimação de Distâncias Médias Diárias Percorridas por tipo de veículo ligeiro – 2004.	31
ANEXO VIII – Estimação de Distâncias Médias Diárias Percorridas por tipo de veículo ligeiro – 2005	41
ANEXO IX – Estimação de Distâncias Médias Diárias Percorridas por tipo de veículo ligeiro – 2006.	51
ANEXO X – Definição de outliers para veículos pesados	61
ANEXO XI – Definição de outliers para veículos ligeiros	65
ANEXO XII – Estimação do parque de veículos pesados em circulação	76
ANEXO XIII – Estimação dos volumes de circulação de veículos pesados	80
ANEXO XIV – Estimação do parque de veículos ligeiros em circulação	84
ANEXO XV – Estimação dos volumes de circulação de veículos ligeiros	95
ANEXO XVI – Modelação de consumos nacionais de combustível pelo COPERT III.....	107

GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS

AE – Auto-estradas

ACAP – Associação de Comércio Automóvel de Portugal

ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

CC – Volume de combustíveis consumidos

CE – Comissão Europeia

CV – Volume de venda de combustíveis

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DGV – Direcção Geral de Viação

DIW – German Institute for Economic Research

DL – Decreto Lei

EN – Estrada Nacional

EP – Estradas de Portugal E.P.E.

ER – Estrada Regional

ERSO – Observatório Europeu de Segurança Rodoviária

EUA – Estados Unidos da América

FHWA – Federal Highway Administration

FR – Faixa de Rodagem

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

GPS – Global Positioning System

HCM – Highway Capacity Manual

HPMS – Highway Performance Monitoring System

IC – Itinerário Complementar

IEP – Instituto de Estradas de Portugal

IPO – Centro de Inspeção Técnica de Veículos

IMTT – Instituto de Mobilidade e dos Transportes Terrestres

INE – Instituto Nacional de Estatística

ISP – Instituto de Seguros de Portugal

ITS – Sistemas Inteligentes de Transporte

IP – Itinerário Principal

I/M – Inspection and Maintenance

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MPO – Metropolitan Planning Organizations

NHTS – National Household Travel Survey

NORIRN – Nova Organização dos Recenseamentos Quinquenais e Contagens Permanentes nas Infra-estruturas Rodoviárias Nacionais

NPTS – National Personal Travel Survey

OTEP – Observatório Transfronteiriço Espanha/Portugal

PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas

PRN – Plano Rodoviário Nacional

RGT – Recenseamento Geral de Tráfego

RRN – Rede Rodoviária Nacional

SCB – Statistics Sweden

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SMUV – Survey of Motor Vehicle Use

TMD – Tráfego Médio Diário

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

TPS – Total Petrol Sales

UE – União Europeia

UNECE – United Nations Economic Commission for Europe

VC – Volume de Circulação

vkm – veículos x quilómetro

VKT – Vehicle kilometers of travel

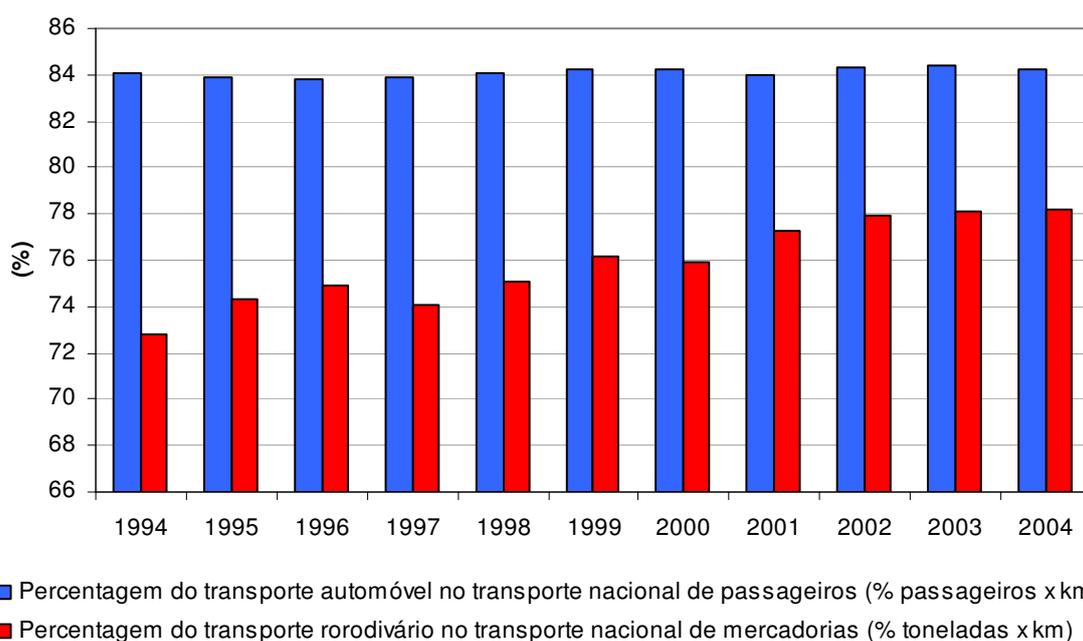
VMT – Vehicle miles of travel

VV – Swedish Road Administration

1.1 Enquadramento e objecto de estudo

As características de utilização do automóvel no que diz respeito à flexibilidade nas distâncias praticáveis, ao conforto e à autonomia na escolha do momento de início dos percursos e do respectivo trajecto tornaram-no no meio de transporte mais utilizado no contexto actual da procura de transportes. O EUROSTAT estimou em cerca de três quartos, a parcela atribuída ao modo rodoviário de todas as viagens realizadas na União Europeia (UE). A sua utilização crescente nas últimas décadas fez com que o automóvel se tornasse numa variável de decisão a ter em conta no planeamento individual e colectivo.

Figura 1 | Importância do transporte rodoviário no panorama actual dos transportes nos países da zona Euro
(fonte: EUROSTAT)



Associada a esta preponderância do modo rodoviário (ver Figura 1), a necessidade em quantificar o uso do automóvel de forma regular e diversificada tornou-se numa necessidade evidente da nossa sociedade. Efectivamente, a preocupação em caracterizar o uso do automóvel surge sob várias formas, consoante o agente interessado: enquanto um condutor de um veículo particular pretende conhecer, entre outras variáveis, o tempo de viagem que demora num determinado trajecto, já ao operador de uma dada rede interessa-lhe conhecer, por exemplo, tempos médios de viagens, ou o número total de veículos que nela circula. Esta última variável surge frequentemente como o principal parâmetro de quantificação do uso de uma rede rodoviária. De facto, o número de veículos que

circulam numa rede rodoviária, ou parte dela, constitui uma fonte de informação importante sobre o estado de um dado sistema de tráfego [48]. O *Highway Capacity Manual* (HCM), referência bibliográfica em estudos de infra-estruturas de transporte rodoviários e em avaliações do desempenho de sistemas de tráfego, salienta três variáveis na caracterização do tráfego de qualquer via: o volume, a velocidade e a densidade de tráfego.

O HCM define o volume de tráfego (*traffic volume*, no idioma original do documento) como sendo o número total de veículos que passa numa dada secção durante um determinado período de tempo [64]. Em outros documentos de referência, como o *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Words* [91], este conceito surge também associado à expressão “fluxo de tráfego” (*traffic flow*). Quando esta variável diz respeito a vários trechos ou à totalidade de uma rede rodoviária (e não a uma única secção) são utilizadas, na bibliografia internacional, diversas expressões, não havendo consenso entre os vários autores: *vehicle miles of travel* (VMT) [21], *vehicle-kilometres* [88] ou até *volume of road traffic* [78]. De facto, os autores que utilizam a expressão “fluxo de tráfego” como definição do número de veículos que passa apenas numa dada secção, recorrem frequentemente à expressão “volume de tráfego” quando se referem à circulação de toda uma rede rodoviária [78].

Em Portugal, o Vocabulário de Estradas e Aeródromos [42], documento de referência no âmbito da terminologia rodoviária, adoptou, em 1962, a expressão “volume de tráfego” para definir o número total de veículos que passa numa dada secção durante um determinado período de tempo, sendo este o termo adoptado pela maioria dos autores da bibliografia nacional recolhida. No entanto, o Vocabulário de Estradas e Aeródromos não indica qualquer terminologia relativamente à circulação de toda uma rede rodoviária. Este vazio manteve-se até ao recente estudo do LNEC (2003) [5], onde o termo “volume de circulação” é utilizado para definir as distâncias percorridas por um conjunto de veículos na rede nacional durante um determinado período de tempo.

Segundo o autor da presente dissertação, a terminologia “fluxo de tráfego” reflecte de forma mais clara o conceito do número de veículos que passa numa determinada secção de estrada por período de tempo, sobretudo tendo em conta a analogia do termo “fluxo” com os restantes ramos da engenharia e da ciência. Tanto o “volume de tráfego” como o “volume de circulação” são expressões que se adequam mais ao conceito de maior dimensão que representa a variável associada a toda uma rede rodoviária e não apenas a uma secção de estrada. No entanto e respeitando a terminologia estipulada pelo Vocabulário de Estradas e Aeródromos [42] para a expressão “volume de tráfego”, nesta dissertação é utilizado o termo “volume de circulação” (VC) sempre que se pretende fazer alusão às distâncias percorridas por todos os veículos numa dada rede rodoviária, para um determinado período de tempo.

Assim, o volume anual de circulação ao nível nacional, é definido pelo número de quilómetros (ou milhas) percorridos na rede nacional, por todos os veículos ao longo de 1 ano [21] e é expresso em veículos x quilómetros (vkm):

$$(1) \quad \text{Volume de Circulação(VC)} = (n^{\circ} \text{ de veículos}) \times (\text{quilómetros percorridos})$$

Este conceito fundamental de volume de circulação corresponde ao grau de utilização do sistema de tráfego rodoviário e pode, ainda, ser reformulado, a fim de satisfazer necessidades particulares na análise do sistema rodoviário. De facto, o uso do automóvel e os respectivos impactes variam consoante uma série de factores associados, normalmente, às características da rede, do veículo ou do condutor. Assim, a determinação do volume de circulação de uma determinada categoria de estradas, associado a um tipo de veículo ou para um período de tempo específico, permite frequentemente satisfazer as necessidades dos diferentes agentes interessados na quantificação do transporte rodoviário. Este grupo de agentes inclui intervenientes de diversos sectores: decisores políticos (internacionais, nacionais e regionais), construtores e gestores da infra-estrutura rodoviária, operadores e gestores de tráfego, responsáveis pelo planeamento e ordenamento do território, companhias (públicas ou privadas) de transporte de passageiros ou de mercadorias, seguradoras, agentes ligados à segurança rodoviária ou ainda às questões ambientais no sector dos transportes [89].

A preocupação em estimar os volumes de circulação de redes de estradas surge com os primeiros estudos de engenharia de tráfego. Em 1977, a *Federal Highway Administration* (FHWA) utilizou o conceito de VMT em dois dos seus principais documentos regulamentares sobre modelos de procura de transportes: *Applications of new travel demand forecasting techniques* [18] e *An introduction to urban travel demand forecasting* [19]. Referindo-se ao volume de circulação como uma das variáveis de comparação e avaliação de medidas de gestão de tráfego, a FHWA salientou ainda, nestes documentos, a importância da desagregação deste tipo de parâmetros por tipo de estrada e de veículo. Nestes estudos de tráfego de pequenas redes viárias tornou-se prática comum o recurso a postos de contagem como método de recolha de informação sobre volumes de tráfego rodoviário. Simultaneamente a estes levantamentos pontuais, durante as décadas de 70 e 80, alguns países desenvolveram métodos para estimar, sistematicamente, o uso da totalidade da sua rede nacional, na altura em expansão considerável, através de sistemas de contagens.

Na mesma altura começaram também a ser realizados inquéritos aos condutores e a agregados familiares, com o intuito de relacionar os padrões de mobilidade com as características de um determinado segmento populacional. Com efeito, os sistemas de contagem não permitem a obtenção de, por exemplo, características de natureza socio-económica relevantes para a análise e compreensão dos padrões de mobilidade do transporte individual.

Actualmente, a preocupação em estimar volumes de circulação não se resume à necessidade de avaliação de desempenho de redes. A avaliação dos impactes do uso do automóvel no que diz respeito à sinistralidade rodoviária passa frequentemente por comparações com outros países ou pela análise da evolução de indicadores ao longo do tempo, tanto ao nível nacional como regional. Estas avaliações requerem informação actualizada, completa, sistemática e confiável sobre os acidentes e respectivas consequências; sobre os factores de influência na ocorrência de acidentes e na respectiva gravidade, tais como as características da infra-estrutura, as velocidades praticadas, as características dos veículos, dos condutores e dos sistemas de segurança envolvidos; e ainda sobre variáveis de representação da exposição ao risco [4]. Chapman [14], definiu a exposição ao risco como “a quantidade de oportunidades de acidente a que um condutor ou sistema de tráfego é sujeito”.

Na ausência de métodos directos de quantificação desta variável, ela é usualmente representada pelo volume de circulação, podendo ainda, na definição de determinados indicadores, ser representada pela população, tempo de viagem ou volume de carga (passageiros ou mercadorias).

Tal como os impactes sobre a sinistralidade, as questões ambientais ligadas ao transporte rodoviário necessitam inevitavelmente de uma medida de quantificação do uso do automóvel. O crescimento da utilização deste meio de transporte levou ao estabelecimento de metas nacionais e internacionais tanto na redução da dependência energética relativamente ao petróleo, como também na problemática mais abrangente das alterações climáticas [92]. Estas iniciativas, tais como o *Protocolo de Quioto* [54], em 1997, o *Programa Nacional para as Alterações Climáticas* (PNAC) [13], regularmente actualizado, ou o *Programa de Actuação para Reduzir a Dependência de Portugal face ao Petróleo* [45], em 2004, realçam a importância de medidas de redução do uso do automóvel, evidenciando assim a necessidade de estimação sistemática e pormenorizada de volumes de circulação, como forma de supervisionar a execução das mesmas.

Indirectamente associada a estas preocupações ambientais, está a necessidade de estimação de distâncias percorridas na tarificação de alguns impostos de circulação. De facto, as autoridades de alguns países utilizam impostos de circulação automóvel que atendem aos impactes na utilização de cada veículo: congestionamento, poluição atmosférica e deterioração das infra-estruturas. Nos sistemas de tarificação utilizados na Alemanha, Suíça e Áustria, por exemplo, o imposto de circulação de veículos pesados de mercadorias é determinado consoante as respectivas distâncias percorridas em território nacional [22].

Recentemente, com o crescente interesse em estimar os volumes de circulação, alguns países que não tinham sistemas de contagens ou de inquéritos que permitissem uma estimação adequada dos volumes de circulação ao nível nacional, procuraram desenvolver métodos alternativos. Muitos destes métodos desenvolvidos recorrem frequentemente à informação proveniente de leituras de conta quilómetros realizadas nas inspecções técnicas de veículos ou aos consumos de combustíveis nacionais do sector rodoviário.

Com o desenvolvimento das tecnologias utilizadas no sector dos transportes tem-se assistido, nos últimos anos, ao aparecimento de métodos avançados de determinação de volumes de circulação. Nos Estados Unidos por exemplo, McCord *et al.* [49] estudou a hipótese do recurso a imagens de satélite na recolha de dados sobre volume de circulação, em alternativa aos sistemas de contagens utilizados em redes estaduais americanas. Sistemas de medição por *Global Positioning System* (GPS) das distâncias percorridas por um conjunto de veículos têm sido também considerados na estimação de volumes de circulação. No entanto, este tipo de sistemas encontra-se ainda muito pouco disseminado para utilização na estimação de volumes de circulação ao nível nacional, tendo em conta os complexos e dispendiosos sistemas de base necessários.

O crescimento económico, exigência constante da nossa sociedade, está associado a uma maior mobilidade e, logo, a um maior uso do automóvel tendo em conta o contexto actual da procura de transportes. Contudo, o congestionamento, a poluição e a sinistralidade são exemplo de factores negativos directamente associados ao tráfego rodoviário, obrigando assim à procura de sistemas de

transporte cada vez mais seguros, e com menores impactes negativos na nossa sociedade. Os decisores políticos e os agentes na área dos transportes enfrentam, constantemente, sucessivos desafios na busca de tais sistemas. Por todas estas razões vários cenários devem ser tidos em conta na recolha e análise de informação relativa a volumes de circulação. Esta informação deve ser reportada e harmonizada ao nível internacional a fim de permitir uma comparação entre vários países e um aperfeiçoamento contínuo dos métodos utilizados [89]. O interesse crescente em estimar os índices de sinistralidade e os impactes ambientais do tráfego rodoviário e em supervisionar, de forma constante, o crescimento do uso do automóvel ilustra a necessidade de quantificação e comparação internacional de volumes de circulação. A *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE) tem uma *task force* exclusivamente dedicada às questões relacionadas com a natureza e qualidade da informação relativa a volumes de circulação rodoviária ao nível nacional. Este grupo de trabalho preocupou-se nos últimos dois anos em criar um manual com métodos de avaliação da circulação rodoviária, resultante de uma pesquisa e consulta aos países com prática neste âmbito, a fim de obter moldes estatísticos comparáveis entre os vários estados membros [89].

Em Portugal a informação sobre volumes de circulação é escassa e muitas vezes incompleta. São raras as estimativas de volumes de circulação que cobrem toda a rede de estradas do território nacional. Exemplo disto, são as contagens periódicas que permitem uma estimação directa dos volumes de circulação de apenas uma amostra da Rede Rodoviária Nacional (RRN) [32]. Já o modelo desenvolvido por Cardoso ([4] e [5]) estima, para todos os anos do período 1980 a 2000, os volumes anuais de circulação nacionais através das vendas de combustíveis. Porém, este modelo, descrito pormenorizadamente no subcapítulo 2.3, não satisfaz muitas das necessidades dos agentes interessados em estatísticas de volumes anuais de circulação, devido à ausência de valores desagregados por tipo de veículo ou estrada. Assim, o panorama actual dos modelos de estimação de volumes de circulação em Portugal está desajustado relativamente às necessidades nacionais e internacionais, sendo inquestionável o interesse no estudo e desenvolvimento de métodos mais coerentes, sistemáticos, flexíveis e confiáveis.

1.2 Objectivo do estudo

A variabilidade nas necessidades dos vários agentes interessados faz com que se procure uma maior flexibilidade na caracterização dos volumes de circulação segundo diversos parâmetros. Na óptica da UNECE [89], várias variáveis devem ser recolhidas e associadas ao cálculo do volume de circulação, a fim de melhorar consideravelmente a qualidade da informação disponibilizada:

- características do veículo: tipo de veículo (pesado, ligeiro, motociclo...), idade, tipo de combustível, peso, potência e cilindrada do motor, consumos de combustível;
- utilização do veículo: tipo de utilização (privado ou de serviço) e tipo de transporte (passageiros, mercadorias ou misto);
- características do condutor: idade, sexo, anos de carta, nacionalidade e rendimento;

- características da infra-estrutura: tipo de estrada, número de faixas de rodagem e de vias por sentido, categoria de tráfego, meio envolvente onde se insere (urbano ou rural) e, eventualmente, localização geográfica ou administrativa da infra-estrutura (NUTS).

Difícilmente se conseguem definir todos estes parâmetros através da consulta de uma única fonte de informação. Na maioria dos casos a combinação de várias fontes é essencial na obtenção de dados de volumes de circulação desagregados segundo diversas variáveis. No entanto, determinados países foram capazes de construir tabelas com elevado número de variáveis, através de sistemas alargados de recolha e tratamento da informação (ver subcapítulo 2.4). Assim, importa analisar, para cada país, os métodos mais adequados aos recursos existentes, procurando gradualmente o melhoramento dos mesmos, tendo em conta as várias exigências nacionais e internacionais.

O objectivo do presente trabalho é lançar as bases para o desenvolvimento de um modelo de estimação sistemática de volumes anuais de circulação para Portugal, mediante a análise do cenário actual em que este tipo de prática se insere, propondo um método adequado à realidade portuguesa e testando-o numa aplicação prática. Sendo este objectivo matéria para eventuais desenvolvimentos distintos consoante as áreas de interesse, este trabalho procura constituir um suporte actualizado na identificação, tratamento e análise da informação de interesse para a quantificação do uso do automóvel em Portugal, tendo por base as práticas internacionais e as recomendações estipuladas pela UNECE [89].

Identificam-se de seguida as principais tarefas realizadas, apresentadas nesta dissertação:

- revisão bibliográfica de modelos de estimação de volumes de circulação, analisando a evolução das práticas nacionais e internacionais, e das necessidades dos vários agentes interessados;
- apresentação da classificação de métodos de estimação de volumes de circulação proposta pela UNECE, analisando as respectivas particularidades, dificuldades, vantagens e inconvenientes;
- descrição pormenorizada de sistemas internacionais contemporâneos de recolha, tratamento e análise de informação relativa a volumes de circulação ao nível nacional;
- identificação da informação relevante na estimação de volumes de circulação, disponível em Portugal. Análise da informação utilizada na estimação de volumes de circulação para os anos de 2004, 2005 e 2006, e das potencialidades associadas à informação não utilizada;
- estimação dos volumes de circulação em Portugal, para os anos de 2004, 2005 e 2006, tendo em conta as características da informação disponível em Portugal, os métodos e práticas internacionais recolhidos;
- análise de propostas e recomendações no desenvolvimento de futuros modelos de estimação sistemática de volumes de circulação em Portugal.

1.3 Estrutura da dissertação

O presente trabalho é constituído por um total de seis Capítulos (ver Figura 2), apresentando-se de seguida uma breve descrição dos respectivos conteúdos.

No Capítulo 2 descrevem-se os diferentes métodos de estimação de volumes de circulação, recolhidos na análise da bibliografia, referindo as particularidades no seu desenvolvimento e na sua utilização. São referidas as sucessivas condicionantes dos vários métodos de estimação de volumes de circulação ao longo dos anos e as alterações desenvolvidas na respectiva minimização.

No Capítulo 3 é apresentada a classificação de métodos de estimação de volumes de circulação consoante a principal fonte de informação utilizada, proposta pela UNECE [89]: postos de contagem, inquéritos ao condutor ou ao agregado familiar, consumos de combustível e leituras de conta quilómetros nas inspecções técnicas. São, ainda, descritos pormenorizadamente alguns exemplos internacionais de métodos de estimação de volumes de circulação ao nível nacional, ilustrativos das várias fontes de informação a ter em conta neste tipo de sistemas.

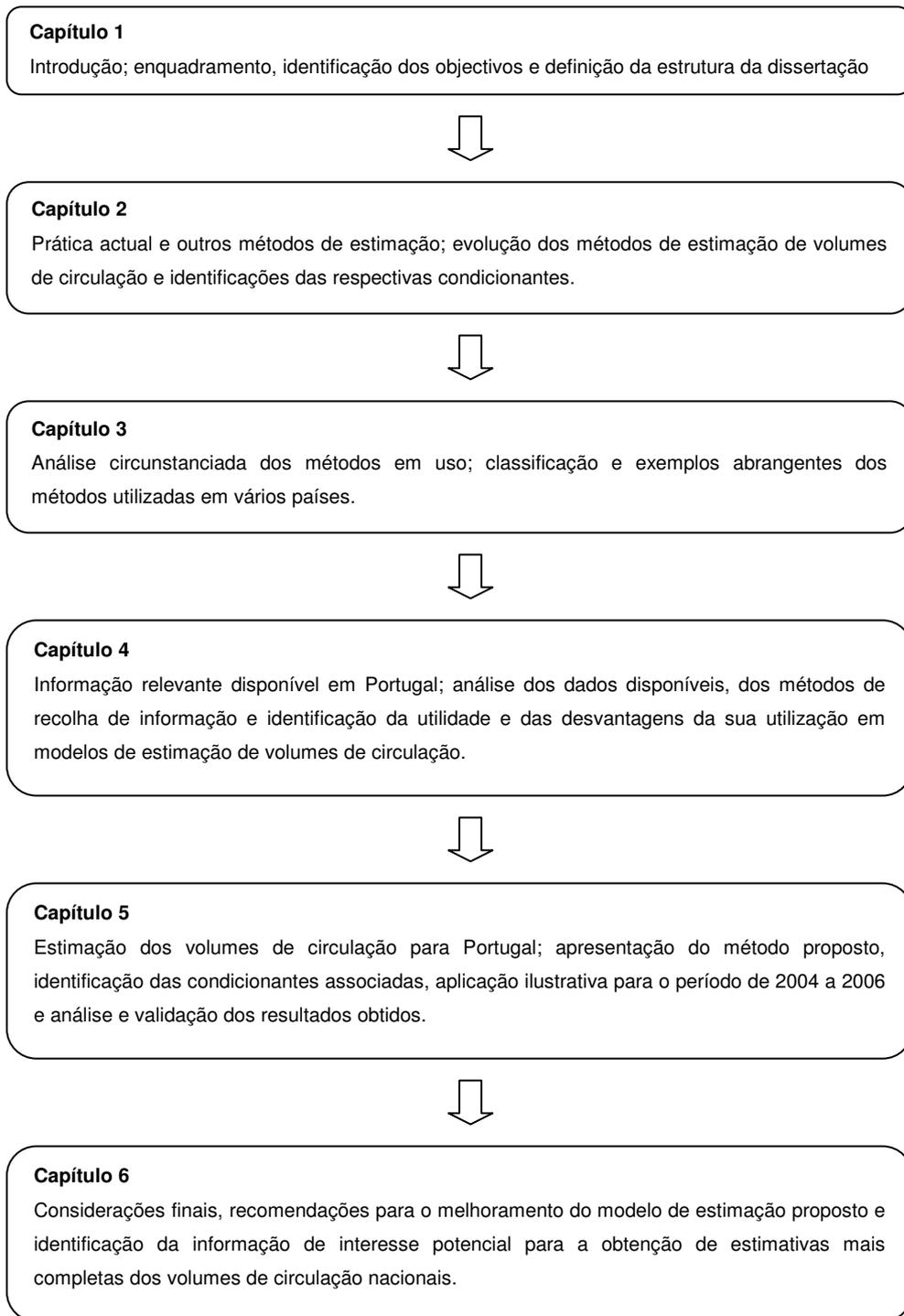
No Capítulo 4 são analisadas as fontes de informação, actualmente disponíveis e potencialmente relevantes na estimação de volumes de circulação em Portugal, indicando a utilidade e as desvantagens de cada uma delas.

No Capítulo 5 é proposto um método de estimação de volumes de circulação para Portugal aplicado, a título demonstrativo, ao período de 2004 a 2006. É ainda feita uma validação dos resultados através da comparação com modelos existentes e da avaliação dos consumos de combustíveis associados aos volumes de circulação estimados.

Finalmente, no Capítulo 6 apresentam-se as principais considerações a ter em conta no refinamento da aplicação do método de estimação de volumes de circulação em Portugal proposto, tendo em vista não só a superação das condicionantes das estimativas apresentadas no Capítulo 4, como também a obtenção de sistemas de estimação sistemática, completa e flexível de volumes de circulação ao nível nacional.

A esta dissertação está associada um conjunto de tabelas e cálculos auxiliares compilados num volume de Anexos. Este volume foi separado do conteúdo principal da dissertação sobretudo devido à quantidade de informação recolhida, utilizada e obtida na estimação proposta no Capítulo 4 e à sua utilidade como elemento de consulta pormenorizada.

Figura 2 | Estrutura da dissertação



2.1 Breve perspectiva histórica nacional e internacional

A quantificação e caracterização do uso do automóvel e dos respectivos impactes é uma necessidade evidente de vários agentes da nossa sociedade. A preocupação em minimizar os efeitos do congestionamento, da sinistralidade, da poluição e da degradação das infra-estruturas tem constituído o principal factor de motivação na avaliação da actividade do sistema rodoviário. A consciencialização dos impactes do uso do automóvel e a necessidade da respectiva quantificação não é de agora, existindo registos de métodos de estimação de volumes de circulação desde o início dos anos 70.

Nos EUA foi criado, em 1978, o *Highway Performance Monitoring System* (HPMS), substituindo os planos de contagens bienais existentes desde 1965 e criando um sistema contínuo de supervisão da rede nacional, baseado em contagens de tráfego [21]. Paralelamente iniciou-se em 1969 um ciclo de inquéritos periódicos a agregados familiares, o *National Personal Travel Survey* (NPTS) actualmente denominado *National Household Travel Survey* (NHTS), com o objectivo de caracterizar os padrões de mobilidade americana [20]. Estes dois programas criados pela FHWA formaram um dos primeiros sistemas estruturados de caracterização do tráfego rodoviário nacional, viabilizando uma estimação sistemática de volumes de circulação.

No Canadá, a necessidade de uma estimação sistemática e coerente dos volumes de circulação ao nível nacional levou, em 1986, à concepção de um sistema de contagens que cobrisse todo o solo canadiano [41]. Até 1986, os únicos registos de volumes de circulação tinham sido obtidos a partir de inquéritos a agregados familiares, como o *National Driving Survey*, em 1978 e o *Régie de l'Assurance Automobile du Quebec*, em 1985. Para além de se preocupar exclusivamente com o transporte individual de passageiros, a realização de inquéritos revelou-se excessivamente cara e muito frágil em termos de confiabilidade estatística. Seguindo o exemplo de outros países, o Departamento Federal de Transportes canadiano decidiu recorrer às contagens existentes na rede rodoviária numa estimação alternativa de volumes de circulação nacionais, tendo em conta os custos reduzidos e os importantes desenvolvimentos tecnológicos na detecção e identificação de veículos pelos contadores da altura.

Em Portugal, são realizados recenseamentos de tráfego com carácter periódico e sistemático ao nível nacional desde 1955 [43]. Os métodos de levantamento e estimação de tráfego utilizados foram melhorados ao longo dos anos. Actualmente, os dados de tráfego publicados pela Estradas de Portugal E.P.E. (EP) nos Recenseamentos Gerais de Tráfego (RGT), são baseados em contagens de tráfego de postos manuais e postos permanentes para uma amostra da Rede Rodoviária Nacional (RRN) [32]. A informação recolhida nos vários postos do RGT permite estimar os volumes de circulação na RRN, não havendo, todavia, registos oficiais de informação desagregada por categoria

de estrada ou tipo de veículo. Os dados das contagens efectuadas pela EP são analisados em pormenor no subcapítulo 4.4, onde é estudada a viabilidade da sua utilização em estimações de volumes desagregados. No que diz respeito à estimação de volumes de circulação ao nível nacional com recurso a inquéritos ao condutor ou ao agregado familiar, regista-se apenas uma iniciativa no âmbito de um estudo alargado de políticas de gestão da energia no sector dos transportes [26]. O Gabinete de Estudos e Planeamento do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações estimou, para 1987, um volume de circulação ao nível nacional de cerca de 24.74×10^9 veículos x km. Esta iniciativa constitui o único oásis no deserto das estimações de volumes de circulação através de inquéritos em Portugal. Finalmente, salienta-se o modelo desenvolvido por Cardoso [4] no âmbito da acção COST 329, financiada pela UE entre 1996 e 1998, que tinha como objectivo principal harmonizar os métodos de análise e avaliação do desempenho da segurança rodoviária. Esta acção permitiu o desenvolvimento de um método de estimação do volume de circulação harmonizado, aplicável à realidade portuguesa, com recurso ao parque automóvel e aos consumos anuais de combustíveis [4]. A análise deste modelo é apresentada em pormenor no subcapítulo 2.3.

2.2 Conjuntura internacional actual

Os esforços desenvolvidos no aperfeiçoamento e na harmonização das estimativas de volumes de circulação nacionais têm dado origem a iniciativas internacionais de troca de informação e de práticas utilizadas. Tal como foi referido no subcapítulo 1.1, o manual da UNECE [89] constitui a mais recente dessas iniciativas. O *Working Party on Transport Statistics* da *Transport Division* da UNECE abordou, nos últimos dois anos, a temática dos métodos de estimação dos volumes nacionais de circulação rodoviária. Foi criada uma *task force*, tendo em vista a elaboração de um manual de boas práticas baseado na disponibilidade de informação, nas dificuldades existentes na obtenção e utilização da mesma, na conformidade, na possibilidade de desagregação e nos erros dos resultados dos métodos utilizados em vários países. O resultado é um manual, finalizado em Junho de 2007, onde são referidos quatro tipos distintos de métodos de estimação de volumes de circulação, consoante a principal fonte de informação utilizada: postos de contagens, inquéritos ao condutor ou ao agregado familiar, leitura de conta-quilómetros em inspecções técnicas de veículos e consumos nacionais de combustíveis. Já em 1996, Kumapley *et al.* [38] utilizara um total de cinco tipos para classificar os diferentes métodos de estimação usados em alguns estados norte-americanos, acrescentando aos quatro métodos considerados pela UNECE, os métodos baseados em modelos de simulação macroscópica de redes.

O esforço conjunto empreendido pelos membros da UNECE na melhoria das estatísticas relacionadas com o uso automóvel não foi único no círculo internacional. De facto, no âmbito da criação do Observatório Europeu de Segurança Rodoviária (ERSO), estipulado no Livro Branco da UE de 2001, foi desenvolvido o projecto SafetyNet [57] com o intuito de criar uma base de dados uniforme e coerente sobre aspectos de segurança rodoviária dos vários estados membros. Reconhecendo a necessidade e a importância na utilização pelos Estados Membros de métodos de análise

harmonizados, uma das tarefas do projecto SafetyNet teve como objectivo comparar os vários métodos de quantificação da exposição ao risco. Referindo a forte dependência entre as estimativas do volume de circulação e os métodos de recolha de informação utilizados, o projecto SafetyNet considerou os volumes de circulação como uma das medidas de exposição ao risco com maiores vantagens em termos de flexibilidade de desagregação segundo as características da rede, dos veículos ou dos condutores [57].

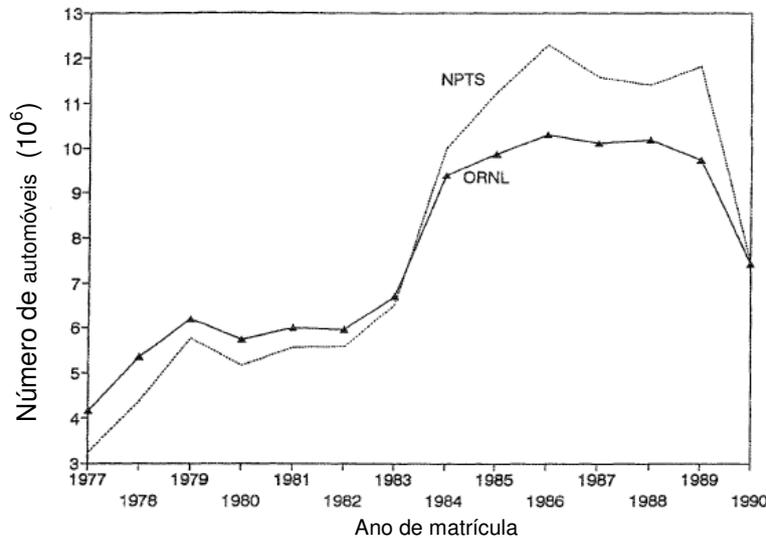
2.3 Desafios e evolução dos métodos de estimação

Os sistemas de estimação de volumes de circulação por contagens e por inquéritos foram-se generalizando nas décadas de 70 e 80 em muitos países que registavam aumentos significativos do uso do automóvel. Contudo, tal como no estudo realizado por Lee-Gossein *et al* [41] em 1989, foram-se identificando, sucessivas falhas e lacunas nos processos de estimação existentes, sobretudo face às exigências crescentes e cada vez mais específicas dos vários agentes interessados.

Na utilização de inquéritos a agregados familiares, para além dos elevados custos e dificuldades práticas na respectiva execução, os erros associados ao processo de amostragem e aos métodos de tratamento de informação recolhida podem comprometer seriamente as estimações de volumes de circulação ([41] e [40]). Em 1994, Lave [40] analisou o crescimento atípico do volume de circulação anual nos EUA, registado pelos inquéritos ao agregado familiar (NPTS) de 1983 e 1990. O aumento de 41% durante estes 7 anos chocou a maioria dos gestores em transportes dando origem a vários artigos que analisavam as consequências de tal aumento. A incerteza na resposta dos inquiridos a “quantos quilómetros percorreu no último ano?”, a alteração do método de entrevista de correio postal para chamadas telefónicas e a disparidade verificada nas taxas de crescimento de distâncias médias percorridas relativamente a inquéritos anteriores (NPTS de 1969 e 1977) pôs em causa a confiabilidade dos resultados de 1990. As elevadas distâncias médias percorridas registadas no NPTS de 1990 ter-se-ão devido a um sobre dimensionamento da amostra no que diz respeito a veículos novos, os quais estão normalmente associados a maiores distâncias anuais percorridas [40], [36] e [28], e a um sub dimensionamento da amostra de veículos antigos (ver Figura 3).

Devido à crescente preocupação com os erros associados a inquéritos durante a década de 90, realizou-se, em 1997, o primeiro estudo sobre viagens de agregados familiares com recurso ao GPS [55]. Este estudo, realizado por Pearson e publicado em 2001, comparou as respostas obtidas por inquéritos e os valores reais das distâncias percorridas medidas directamente por GPS, para uma amostra de automóveis do estado do Texas. Num estudo semelhante, Wolf *et al.* [93] avaliaram as diferenças entre as estimativas de volumes de circulação obtidos através de métodos tradicionais de inquéritos a agregados familiares, usualmente utilizados em modelos de procura de transportes, e os volumes de circulação obtidos directamente através de GPS. Este estudo foi desenvolvido em 3 regiões distintas do estado da Califórnia, tendo sido obtida informação sobre as viagens de 292 agregados familiares. Wolf *et al.* [93] verificaram que as estimações com recurso a inquéritos são genericamente inferiores às distâncias reais medidas por GPS.

Figura 3 | Diferença entre a distribuição do parque automóvel por ano de matrícula, da amostra do inquérito NPTS realizado em 1990 e do registo oficial de veículos do Oak Ridge National Laboratory [40]



Para além dos erros de amostragem ou da confiabilidade nas respostas dos inquiridos, Fricker *et al.* [24], apontaram ainda os baixos índices de resposta como factor comprometedor das estimativas de volumes de circulação através de inquéritos. Não obstante todas estas condicionantes, os inquéritos a condutores e agregados familiares continuam a ser a única fonte de informação utilizada, a um nível nacional, na estimação de volumes de circulação desagregados segundo características demográficas ou socio-económicas. De facto, os inquéritos a agregados familiares possibilitam a caracterização de muitas variáveis do volume de circulação relacionadas com o veículo, o condutor ou a estrada [39] e [31]. No entanto, o facto deste tipo de análise estar associado a um esforço acrescido na recolha e tratamento dos dados relativamente a outras fontes de informação, limita frequentemente a análise a redes de dimensão reduzida, ou unicamente a um determinado tipo de veículos ou condutores [31].

Os sistemas de estimação de volumes de circulação por postos de contagem apresentam igualmente várias condicionantes, as quais têm vindo a ser estudadas e mitigadas desde as primeiras aplicações, na década de 70. Os sistemas de contagem convencionais ao nível nacional são frequentemente constituídos por um determinado número de postos de contagem permanente (automática) e por postos de cobertura, recolhendo, assim, informação sobre uma determinada amostra da rede. Contrariamente aos postos permanentes que registam informação durante todo o ano, os postos de cobertura recolhem dados apenas para um período de tempo reduzido, necessitando de métodos estatísticos para a estimação dos respectivos valores anuais. Lee-Gossein *et al* [41] identificaram dois tipos de erros distintos no tratamento da informação recolhida por postos de contagem na estimação de volumes de circulação: **erros de estimação** e **erros de agrupamento**. Os primeiros estão associados à utilização de factores temporais médios na estimação dos tráfegos anuais dos postos de cobertura, obtidos habitualmente a partir de um determinado grupo de postos de contagem permanente. Os erros de agrupamento são devidos ao processo de escolha do grupo de postos

permanentes (normalmente segundo as características geométricas da secção de contagem) a associar a um dado posto de cobertura. Relativamente ao processo de recolha de informação, Lee-Gossein *et al.* [41] identificaram ainda os erros associados à identificação dos vários tipos de veículos pelos aparelhos de contagem frequentemente utilizados. Actualmente os desenvolvimentos verificados nas tecnologias de contagem utilizadas têm vindo a minimizar os erros associados à identificação dos diferentes tipos de veículos [24].

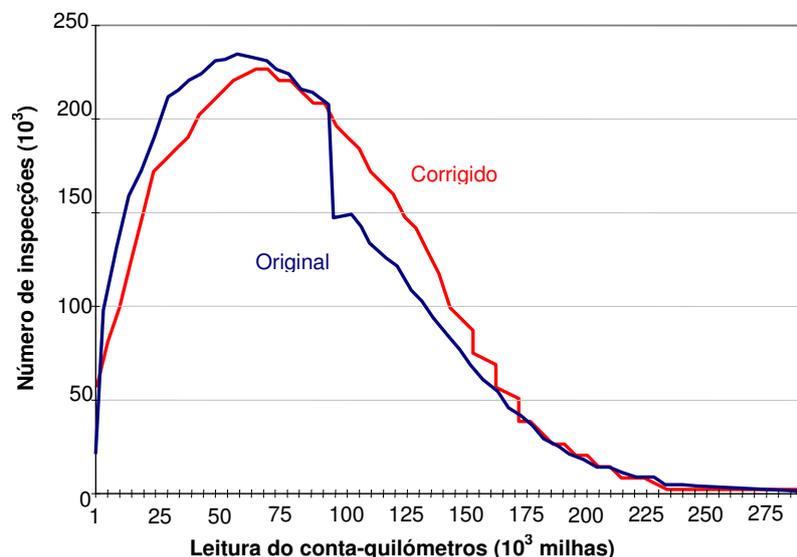
Face à impossibilidade de realizar contagens em todas as secções da rede de um determinado país, os processos de estimação de volumes de circulação por postos de contagem passam obrigatoriamente pela realização de um processo de amostragem. Este processo constitui uma das principais fragilidades na estimação por postos de contagem, tendo conduzindo à realização de inúmeros estudos sobre a optimização e as implicações dos vários métodos de amostragem existentes ([21], [41], [38], [30], [59] e [66]). Tanto o manual do HPMS [21] como Kumapley *et al.* [38] e Lee-Gossein *et al.* [41] salientam a importância de um processo de amostragem estratificada segundo diferentes categorias de estrada. Efectivamente, a desagregação da rede por categorias de estrada no processo de amostragem melhora os resultados da estimação de volumes de circulação. Estas categorias devem reflectir não só as propriedades geométricas da vias, mas também as características de tráfego verificadas. De facto, não basta desagregar a rede por tipo de estrada (categoria ou largura de faixa de rodagem), visto registarem-se diferenças nos volumes de circulação de estradas da mesma categoria: uma auto-estrada numa zona balnear, por exemplo, pode apresentar diferenças entre tráfegos de Verão e Inverno muito superiores às registadas numa via urbana de características geométricas semelhantes. O HPMS [21], por exemplo, considera cinco categorias de Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) na classificação das estradas de categorias inferiores (as “*minor arterial*” e as “*collector*”), com o objectivo de tornar o processo de análise de tráfego de amostras mais coerente. Recentemente têm surgido novas abordagens nos processos de amostragem e de desagregação da rede viária por efeitos da estimação de volumes e circulação. Sharma *et al.* [59], por exemplo, compararam o método de agrupamento de postos de contagem tradicional com o método de redes neuronais, obtendo menores erros de estimação dos volumes de estradas com baixo tráfego.

Os métodos de estimação de volumes de circulação por leitura de conta-quilómetros são bastante mais recentes. Estas leituras constituem, a par com as aplicações recentes de GPS, uma medida directa das distâncias percorridas por um determinado veículo. Todavia, a estimação de volumes de circulação através de leituras de conta-quilómetros também está associada a erros e limitações que têm merecido especial atenção por parte de investigadores e outros agentes interessados. Goh *et al.* [28] apresentaram, em 2001, um método de detecção de erros associados às leituras de conta-quilómetros, baseado no tratamento da informação dos dados das inspecções periódicas *Inspection and Maintenance (I/M)* no estado do Colorado, entre 1996 e 2003. Neste trabalho foram identificados três tipos de erros: **erros associados ao limite de dígitos do conta-quilómetros**, **erros de leitura ou registo** e **erros de funcionamento do conta-quilómetros**. Goh *et al.* [28] verificaram que os erros associados ao limite de dígitos do conta-quilómetros eram mais frequentes em veículos antigos, estabelecendo como medida de correcção um limite mínimo para a distância anual percorrida pelos

veículos inspeccionados. Identificou-se ainda o acrescento ou esquecimento de um dígito no acto de leitura, como erro de leitura ou registo mais comum. A fim de corrigir erros de leitura ou registo foram identificados os casos de desconformidade na evolução da quilometragem registada por categorias de veículos, sendo corrigido os valores que apresentaram um valor díspar da média dos restantes veículos ou com valores acima de limites máximos previamente definidos. Na Figura 4 apresentam-se as distribuições das leituras utilizadas originais (a azul) e corrigidas (a vermelho) por Goh *et al.* [28].

Numa iniciativa de troca de informação e boas práticas na estimação de volumes de circulação, Kumapley *et al.* [38], classificaram e analisaram os diferentes métodos de estimação utilizados pelos estados norte americanos. Nos EUA a estimação de volumes de circulação é realizada ao nível de cada estado, estando previsto o recurso a um método uniformizado, definido pelo HPMS, unicamente na estimação dos volumes na rede federal. Cada estado utiliza o seu próprio método na estimação de volumes de circulação da rede estadual, sendo o resultado posteriormente avaliado e aprovado por uma entidade (federal) competente, a FHWA. Relativamente aos métodos de estimação através de leituras de conta-quilómetros, Kumapley *et al.* [38] identificaram, para além dos erros já referenciados, as seguintes dificuldades no tratamento da informação recolhida nas inspecções técnicas a veículos: ausência de determinado tipo de veículos (exemplo: os motociclos não são habitualmente cobertos por inspecções técnicas), diferentes períodos de inspecções obrigatórias consoante a categoria do veículo, dificuldade de estimação das distâncias percorridas no estrangeiro pelo parque nacional e das distâncias percorridas em território nacional por veículos estrangeiros.

Figura 4 | Resultados da correcção de dados de leituras de conta-quilómetros I/M (adaptado de [28])



Tal como para os modelos de estimação baseados em leituras de conta-quilómetros, Kumapley *et al.* [38] enumeraram uma série de condicionantes associadas ao recurso aos consumos nacionais de combustíveis na estimação de volumes de circulação. A elevada quantidade de variáveis em jogo na definição dos consumos médios é apontada como a principal condicionante deste tipo de métodos: características do veículo (idade, peso, cilindrada, tipo de combustível...), estado de conservação do veículo, declive da rede nos percursos efectuados, características comportamentais na condução

(velocidades, acelerações...), condições atmosféricas e, ainda, as perdas no abastecimento e utilização do veículo. Para além da definição de todas estas variáveis, a estimação dos consumos totais de combustíveis ao nível nacional é dificultada pela existência de diversas actividades colaterais difíceis de estimar, tais como o transporte de combustível por veículos que atravessam a fronteira ou o consumo por veículos não contemplados no parque automóvel circulante (ver subcapítulo 3.2.3). Fricker *et al.* [24] identificaram, ainda, num estudo mais recente, a consideração das inovações tecnológicas de eficiência energética como uma dificuldade adicional na estimação de volumes de circulação através de consumos de combustíveis.

No estudo apresentado por Cardoso [7], foi desenvolvido um modelo de estimação de volumes de circulação baseado em consumos de combustíveis para Portugal em que o efeito da evolução na eficiência energética é considerada de forma implícita, mas indirecta. Foram igualmente apontadas desde logo, uma série de limitações resultantes do tipo de informação utilizada. Este modelo, foi desenvolvido no âmbito de uma acção COST (COST 329) que tinha como objectivo estudar e definir métodos comuns na descrição e análise de intervenções no âmbito da segurança rodoviária. Investigadores de 14 países participaram nesta acção, a qual incluiu o desenvolvimento de modelos de estimação de volumes anuais de circulação para países onde esta informação era inexistente. O modelo desenvolvido por Cardoso ([4] e [7]) utiliza os consumos anuais de combustíveis pelo sector rodoviário e as características do parque automóvel a fim de estimar o volume de circulação anual. Segundo este modelo, calibrado para os anos de 1980 a 2000, o volume de circulação é calculado através de:

$$(2) \quad TV_{it} = a_i \times f_t \times (GAS_{it} \times k_{it} DIS_{it})$$

Onde:

- TV_{it} – Volume de circulação do país i no ano t ;
- a_i – Factor relacionado com o país i , dependente das características do respectivo parque automóvel;
- f_t – Eficiência unitária do consumo de combustível no ano t ;
- k_{it} – Factor que relaciona a eficiência no consumo de gasóleo com a eficiência no consumo de gasolina, para o país i no ano t ;
- GAS_{it} – Volume de vendas de gasolina no sector rodoviário, para o país i no ano t ;
- DIS_{it} – Volume de vendas de gasóleo no sector rodoviário, para o país i no ano t .

O valor de k_{it} depende da composição do parque automóvel e dos respectivos consumos. Foi considerado um consumo de veículos pesados quatro vezes superior ao de veículos ligeiros. Os consumos de gasolina por motociclos também não foram considerados neste modelo.

A calibração do modelo foi feita utilizando valores dos volumes de circulação, do parque automóvel e das vendas de combustíveis dos países onde esta informação se encontrava disponibilizada (Bélgica,

França, Reino Unido, Finlândia, Alemanha, Noruega e Dinamarca). Para estes países o valor de a_i encontra-se perfeitamente calibrado, sendo necessário para os restantes países arbitrar um valor para eles, tendo em conta as semelhanças das condições de tráfego e dos comportamentos dos condutores ou calibrar, recorrendo a uma amostra pontual eventualmente existente. Para Portugal, foi utilizado o valor de a_i associado à Bélgica. Os valores de f_i para os vários anos foram determinados a partir de uma análise de componentes principais dos registos dos países com dados disponíveis.

Segundo Cardoso [4], para além da não consideração da contribuição de motociclos e de veículos ligeiros a gasóleo nos consumos de combustíveis na calibração de k_{it} na equação (2), a eventual existência de tráfego internacional significativo e de uma importação ou exportação considerável de volumes de combustíveis por veículos que atravessem a fronteira, fragilizam a confiabilidade dos resultados obtidos. Adicionalmente, este modelo não permite qualquer desagregação por tipo de veículos ou tipo de estrada. Contudo, face à ausência total de valores de referência verificada na altura, este modelo permitiu a obtenção de indicadores em estudos de circulação e de segurança rodoviária nacional.

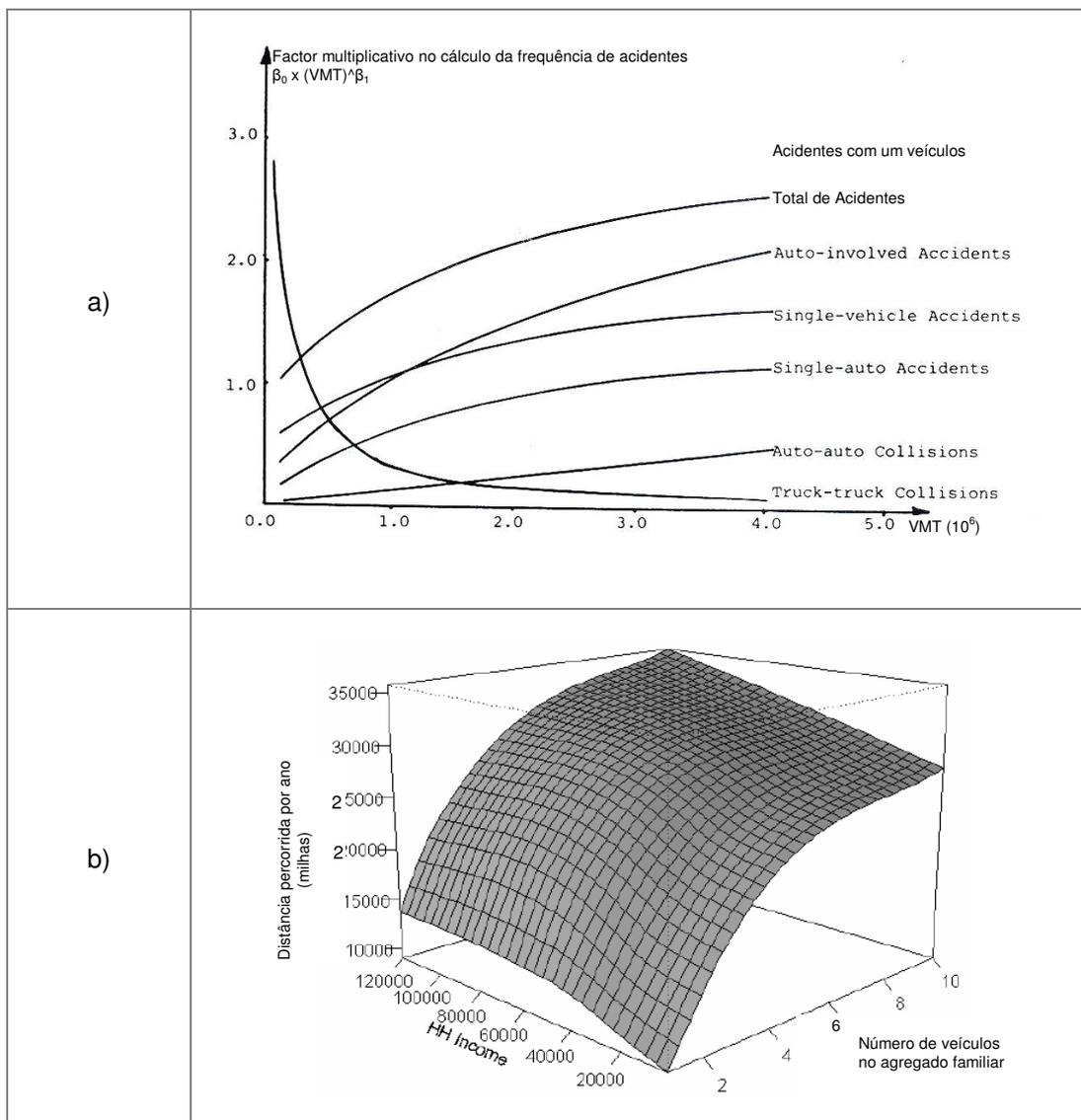
A preocupação em estimar os volumes de circulação como medida de exposição ao risco, manifestada recentemente na acção COST 329, surgiu logo com os primeiros estudos de análise da sinistralidade. De facto, desde 1953 que existem registos de trabalhos desenvolvidos nos EUA em que foram utilizados valores de volumes de circulação como medida de exposição ao risco na análise da sinistralidade [3]. A crescente necessidade de tais estimações nas análises de sinistralidade ao nível nacional, e em outras áreas, promoveram remodelações nos próprios sistemas de recolha de informação. O estudo já mencionado, realizado por Lee-Gossein M. *et al* [41] em 1986, tinha como principal objectivo a concepção de um sistema de contagens ao nível nacional que permitisse uma estimação coerente dos volumes de circulação canadianos, para utilização na determinação de taxas de acidentes por volume de circulação.

Como foi referido anteriormente, a estimação de distâncias percorridas é igualmente fundamental em estudos ambientais e energéticos no sector dos transportes. Para além dos múltiplos estudos correntes de estimação de emissões em situações de tráfego rodoviário específicas, como as análises de impactes do congestionamento [92], os estudos ao nível nacional nesta área requerem inevitavelmente estimações de volumes de circulação nacionais. O trabalho apresentado por Saari *et al.* [56] por exemplo, visou estimar o uso de recursos naturais no transporte rodoviário, por tipo de estrada e de veículo. Foram calculados, para o período de vida útil de cada tipo de estrada, os recursos consumidos na construção da infra-estrutura, os recursos materiais e custos de produção dos veículos que nela circulam e ainda os custos de utilização que obrigatoriamente dependem do volume de circulação.

A forma como é feita a análise e o tratamento da informação relativa aos volumes de circulação depende forçosamente dos objectivos previamente estipulados, tendo em conta a diversidade de métodos e de dados disponíveis. Quanto mais pormenorizada e completa for a informação relativa a volumes de circulação nacionais, maior a possibilidade de realização de análises diferenciadas. A conjugação de volumes de circulação com outras variáveis de interesse (características demográficas,

socio-económicas, do parque automóvel, da rede rodoviária e da sinistralidade) pode ser feita de várias formas, sendo mais frequente o recurso a análises de regressão ([36], [58] e [35]) ou econométricas [39]. O estudo realizado por Jovanis *et al.* [35] realizado em 1986, é um exemplo das regressões realizadas frequentemente na análise da influência de diversas variáveis sobre a sinistralidade. Neste trabalho foi utilizado um modelo de regressão de Poisson para análise da influência do volume de circulação por categoria de veículos, e das condições atmosféricas na frequência de acidentes numa estrada estadual americana (ver Figura 5). Já Kweon *et al.* [39], por exemplo, analisaram a relação entre os rendimentos de um agregado familiar e o número de veículos e de trabalhadores do agregado com os respectivos quilómetros percorridos por ano (VMT), através de uma análise econométrica. Os resultados obtidos foram apresentados sob a forma de funções densidade e regressões espaciais de VMT, em relação a estas e outras variáveis tais como a existência de transportes públicos ou localização geográfica do agregado familiar (ver Figura 5).

Figura 5 | Exemplos de análises de volumes de circulação em estudos de sinistralidade – a) Jovanis *et al.* [35] e socio-económicos – b) Kweon *et al.* [39]



Recentemente têm surgido métodos com recurso a outro tipo de fonte de informação que os postos de contagem, inquéritos, leituras de conta-quilómetros ou consumos de combustíveis. Os sistemas de GPS já referidos ao longo deste Capítulo constituem um dos métodos mais recentes de determinação de volumes de circulação. Em Portland, nos EUA, foi realizado um teste piloto, com recurso à supervisão por GPS de uma amostra de veículos, com o intuito de estudar uma eventual substituição do imposto sobre o combustível por um imposto de circulação automóvel em função das distâncias percorridas [65]. Na Suíça, Alemanha e Áustria os veículos pesados de mercadorias, que representam uma parcela importante do tráfego na rede nacional, são já monitorizados através de GPS, para a cobrança de imposto de circulação [22]. Para além dos estudos comparativos entre as distâncias percorridas estimadas por inquéritos e distâncias medidas através de GPS ([93] e [55]) salienta-se, também, o estudo realizado por Davidan *et al.* [15] que propôs um novo sistema de estimação e supervisão de volumes de circulação na região sul da Califórnia, com recurso a ITS (Sistemas Inteligentes de Transportes) e GPS. Este estudo defende o desenvolvimento de um sistema baseado em contagens (tradicionais e via ITS) e em medições de distâncias por GPS, para a estimação de volumes de circulação. Numa análise dos métodos de estimação de volumes de circulação utilizados pelos vários estados dos EUA, Fricker *et al.* [24] recomendam não só a utilização de GPS, como alternativa a inquéritos por correio ou telefone, mas também o recurso a SIG, no tratamento da informação e na optimização do processo de amostragem, e ao *Remote Sensing*, como fonte de informação principal. *Remote Sensing* é, de uma forma genérica, o processo de aquisição de informação de determinadas propriedades de um fenómeno ou objecto sem contacto físico com o alvo de observação – através de satélites ou de fotografias aéreas. No *National Consortia on Remote Sensing* dos EUA, já se encontra em fase avançada investigação no sentido de estudar a viabilidade da estimação de volumes de circulação através de imagens de satélite [24]. Todavia, estes métodos avançados de estimação de distâncias percorridas não se encontram ainda suficientemente desenvolvidos e sistematizados para aplicação em estimações de volumes de circulação totais ao nível nacional.

Face à variedade dos métodos apresentados neste Capítulo, compreende-se a preocupação de vários organismos internacionais em harmonizar os métodos dos vários países. Iniciativas internacionais como a da UNECE [89], ao nível europeu, ou a de Kumapley e Fricker [38] e [24], ao nível dos estados norte americanos, permitem comparar pela primeira vez os vários métodos utilizados, analisando as respectivas vantagens e condicionantes e recomendando, ainda, quais devem ser as estatísticas a apresentar pelas entidades responsáveis. Assim, a proposta de um método para estimação de volumes de circulação ao nível nacional em Portugal deve passar, não só pela análise exaustiva dos vários métodos existentes mas também pelas recomendações internacionais propostas neste tipo de documentos.

2.4 Panorama internacional na estimação de volumes de circulação

Após a análise de algumas características de métodos de estimação de volumes de circulação, realizada no subcapítulo anterior, são apresentados, nos Quadro 1 e Quadro 2, os principais dados de entrada e saída dos principais modelos de estimação utilizados por diversos países, ao nível nacional. Considerando a multiplicidade dos métodos recolhidos na bibliografia, não é viável, neste trabalho, a análise pormenorizada de todos os métodos em uso, tendo em conta que os modelos variam, não só na principal fonte de informação mas, sobretudo, em questões processuais, amostrais ou de apresentação dos resultados obtidos. Alguns modelos internacionais são apresentados pormenorizadamente no subcapítulo 3.3, para melhor compreensão os métodos utilizados na recolha, tratamento e compatibilização da informação necessária para a obtenção de estimativas coerentes e sistematizadas de volumes de circulação nacionais.

Quadro 1 | Quadro resumo do tipo de informação utilizada em alguns países, no processo de estimação de volumes de circulação anuais

	Cobertura Total								Amostra									
	Contagens Periódicas na rede principal < 3 anos	Contagens Periódicas rede principal > 3	Cor-rede secundária > 3 anos	Leitura conta-quilómetros	Estatística demográfica	Registo do Parque Automóvel	Consumo Combustível	Contagens Contínuas na Rede Principal	Contagens Contínuas na Rede Secundária	Contagens Periódicas na rede principal < 3 anos	Contagens Periódicas na rede principal > 3 anos	Contagens Periódicas rede secundária	Cor-rede secundária > 3 anos	Leitura conta-quilómetros	Inquéritos	Estatística demográfica	Registo do Parque Automóvel	Consumo Combustível
Alemanha ¹		●				●	●	●						●				●
USA	●						● ⁴	●		● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴
Holanda						●							●	○ ● ²				
Suécia ¹						●		●		●		●	●	●				
Reino Unido	●						●	●			●							
Suíça ¹			● ²	●	●								●	●				
Eslovénia					●	●				●		●	●					
Noruega					●	●							●					
Letónia					●								●					
Hungria							●			●				●				
França					● ³	●	●							●				
Finlândia	●						●	●				●	○	● ²				
Estónia				●										●				
Dinamarca			●		●		●							● ○				
Rep. Checa	●						●	●			●			●				
Nova Zelândia ¹	●	●							●		●		●			●		
Austrália					●								●					
Canada					●		○	○		○		○	●					

¹ - Apresentam dois modelos de estimação distintos

² - Só para veículos pesados de mercadorias

³ - Registo de veículos até 2000

⁴ - Varia consoante o Estado

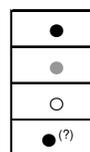
●	- Principal fonte de informação
●	- Outra fonte de informação utilizada
○	- Fonte de informação utilizada em modelos antigos

Quadro 2 | Quadro Resumo do tipo de informação obtida em alguns países, no processo de estimação de volumes de circulação anuais

	Veículos Leigos	Veículos Pesados	Motociclos	Rede classificada / Nacional	Rede não classificada / Local	Estimação da circulação em território nacional	Estimação de circulação dos condutores nacionais	Por tipo de veículo	Por idade de veículo	Por categoria de estrada	Por região / área	Por motivo de viagem	Por tipo de condutor	Por tipo de combustível	Variações Sazonais / Diárias
Alemanha ¹	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	
USA	●	●	● (?)	●	●		●		●	●					●
Holanda	●	●	●	●	●	● ²	●	●					●		
Suécia ¹	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	
Reino Unido	●	●	●	●	●	●	●		●	●					●
Suíça ¹	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		
Eslovénia	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Noruega	●	●	●	●	●		●	●	●				●		
Letónia	●	●		●	●		●	●	●				●		
Hungria	●	●	●	●		●	●		●						●
França	●	●	●	●	●	●	●		●				●	●	
Finlândia	●	●	●	●	●	●	○	●	○	●			○	●	
Estónia	●	●	● (?)	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
Dinamarca	●	●	●	●	●		●	●	● (?)				●	●	
Rep. Checa	●	●	●	●		●	●		●	●					●
Nova Zelândia ¹	●	●	●	●	●	●		●	●	●					
Austrália	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●		
Canada	●	●		●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●

¹ - Apresentam dois modelos de estimação distintos

² - Só para veículos pesados de mercadorias



- Resultados obtidos disponível

- Resultados obtidos unicamente em um dos vários modelos existentes

- Resultados obtidos em modelos antigos

- Disponibilidade desconhecida

3.1 Preâmbulo

Como já foi referido no Capítulo anterior, a diversidade dos métodos de estimação de volumes de circulação é grande, tornando a definição de boas práticas uma tarefa morosa e delicada. Esta multiplicidade de métodos e de combinações de práticas é sobretudo provocada pela variabilidade de:

- tipo de informação disponível;
- pormenorização da informação disponível;
- exigências de desagregação da estimativa pretendida;

De facto, estes três elementos condicionam fortemente o processo de estimação utilizado por cada país. Devido à dificuldade em obter dados pormenorizados e abrangentes através de apenas uma fonte de informação, os países recorrem usualmente a vários tipos de fontes a fim de pormenorizar, ajustar e calibrar a respectiva estimativa de volumes de circulação. Neste Capítulo sintetizam-se os vários métodos de estimação recolhidos na bibliografia, baseando-se na classificação proposta pela UNECE [89], e apresentam-se pormenorizadamente alguns métodos internacionais de estimação de volumes de circulação ao nível nacional.

No subcapítulo 3.2 referem-se as quatro fontes de informação fundamentais usadas nos vários métodos referidos no Capítulo 2 e enunciadas no manual da UNECE [89], salientando-se as respectivas exigências e dificuldades na desagregação de resultados segundo diversas variáveis. Na classificação dos diferentes tipos de métodos de estimação aqui apresentada não foram analisados os modelos de simulação macroscópica, considerados como um tipo de método distinto por Kumapley *et al.* [38]. De facto, os modelos de simulação macroscópica são normalmente aplicados a determinadas zonas da rede viária, aglomerados urbanos ou eventualmente regiões um pouco mais vastas. Estes modelos seguem um método próprio que inclui normalmente os seguintes passos: identificação dos diferentes usos do solo, estimação da geração, definição de matrizes origem destino, repartição modal e afectação do tráfego. Devido à quantidade e multiplicidade do tipo de informação necessária e à complexidade dos processos utilizados, a aplicação de modelos de simulação macroscópica na estimação de volumes de circulação ao nível nacional torna-se pesada e difícil. Foram igualmente desprezados neste Capítulo os modelos cuja principal fonte de informação é a medição por GPS de distâncias percorridas. Efectivamente, os sistemas de GPS encontram-se ainda em fase experimental na estimação de volumes de circulação, não se tendo ainda registada nenhuma aplicação ao nível nacional. Todavia a potencialidade de utilização destes sistemas será tida em conta no Capítulo 6.

Finalmente, no subcapítulo 3.3 são apresentados pormenorizadamente os métodos de estimação de volumes de circulação utilizados actualmente nalguns países. Estes sistemas foram seleccionados com o intuito de cobrir as principais fontes de informação apresentadas no subcapítulo 3.2, ilustrando, ainda, os diferentes métodos desenvolvidos por esses países na recolha e tratamento da informação.

3.2 Principais fontes de informação

3.2.1 Contagens de tráfego

As contagens de tráfego constituem a principal fonte de informação dos métodos de estimação utilizados pela maioria dos países. Sendo uma prática caracterizada por repetições periódicas de contagens em momentos pré definidos, recomendada por algumas organizações internacionais tal como a UNECE [69] e constituindo uma preciosa fonte de informação em várias áreas, as contagens permitem obter dados sobre as principais características de tráfego rodoviário. Importa referir que esta fonte de informação exige homogeneidade nos procedimentos de levantamento ao longo dos vários anos de realização, a fim de salvaguardar a coerência e comparabilidade dos resultados obtidos.

A utilização das contagens na determinação de volumes de circulação é baseada no comprimento da secção de contagem e na intensidade de tráfego representada normalmente pelo TMDA. Através destes dois valores facilmente se obtém um volume de circulação a partir dos dados obtidos nos segmentos de uma determinada categoria de estrada:

$$(3) \quad VC_i = \left(\sum_{n=1}^N (TMDA_n \times L_n) \right) \times \frac{L_{TOT\ i}}{\sum_{n=1}^N L_n} \times 365$$

Onde,

- VC_i – Volume de circulação anual para a categoria de estrada i (vkm);
- $TMDA_n$ – Tráfego médio diário anual para o segmento n (veículos);
- L_n – Comprimento do segmento n (km);
- $L_{TOT\ i}$ – Comprimento total dos segmentos da categoria i (km);
- N – Número total de segmentos com informação disponível na categoria i .

Em muitos países a cobertura dos postos de contagem é essencialmente feita ao nível da rede principal. O estudo de Fricker *et al.* [24], realizado em 2002, sintetiza os vários métodos de estimação, ao nível estadual, dos volumes de circulação da rede principal norte americana, salientando as várias dificuldades na análise da rede de estradas de categorias inferiores (rural/local). Efectivamente o método do HPMS aplicado nos EUA, referido no subcapítulo 2.1 determina com algum rigor as

distâncias percorridas em estradas da rede principal, desprezando as percorridas em “pequenas estradas”.

Genericamente, as contagens na rede principal são realizadas com postos de contagem automática (permanente) e com postos de contagem manual (cobertura). Enquanto os primeiros registam o tráfego continuamente, obtendo valores para qualquer altura do ano, os postos de contagem manual permitem uma cobertura espacial mais alargada mas temporalmente bastante mais restrita. Assim, o resultado da equação (3) representa um valor real do VC para as contagens automáticas, enquanto que para as contagens manuais, trata-se sempre de uma estimativa. Isto torna-se evidente quando analisados os métodos normalmente utilizados na estimação de TMDA em postos manuais: as contagens automáticas servem frequentemente de calibração e determinação de parâmetros de extrapolação das contagens manuais..

Além dos cuidados no processo de amostragem temporal das contagens manuais, importa referir a importância do processo de amostragem espacial, tendo em conta a dificuldade óbvia em cobrir e caracterizar as diferentes naturezas de tráfego habitualmente observadas em redes rodoviárias de grandes dimensões. Neste contexto é frequente dimensionar amostras de forma diferenciada consoante a categoria de estrada que se pretende caracterizar e a sua representatividade na rede, tal como se verifica no sistema de contagens da Eslovénia [80]. Existem, ainda, mecanismos rotativos de amostragem a fim de determinar periodicamente os volumes em diferentes locais, cobrindo ao fim de um certo tempo a totalidade da rede. É o caso do sistema de contagens manuais da Finlândia [78] onde um quarto da rede nacional é abrangida anualmente, através de um sistema rotativo de 4 anos.

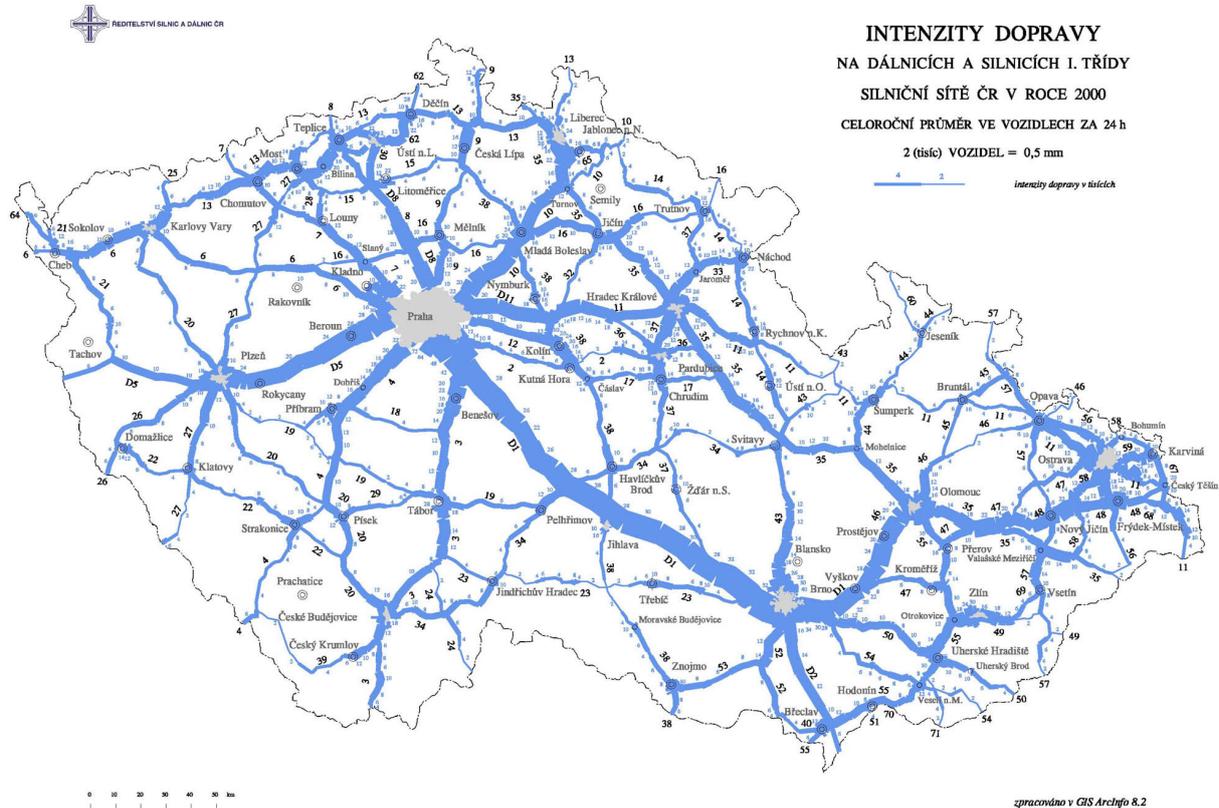
A visualização e manipulação de resultados é facilitada quando se recorre a aplicações SIG. O estudo apresentado por Davidan *et al.* [15], referia, já em 1996, o recurso a SIG na estimação de volumes de circulação no estado da Califórnia. Esta é já uma prática frequente em redes mais reduzidas, ao nível de aglomerados ou regiões. Porém, certos países, tal como a República Checa, implementaram este método na respectiva rede nacional (ver Figura 6).

Uma das principais vantagens da informação obtida por contagens de tráfego é a possibilidade de desagregação por tipo de estrada, por tipo de veículo, por período e ainda por região. No que diz respeito a características de veículos, a possibilidade de desagregação em várias categorias prende-se com as potencialidades do equipamento de classificação usado, estando genericamente compreendida entre três, número mínimo exigido pela UNECE [89], e um número elevado de categorias, como é o caso da República Checa [70] com 13 tipos diferentes de veículos. Esta desagregação baseia-se normalmente no comprimento do veículo, número de eixos, distância entre eixos ou peso por eixo. Todavia, as contagens de tráfego não permitem qualquer desagregação segundo características do condutor nem aos motivos de deslocação, sendo necessário para tal recorrer a outro tipo de fonte de informação, nomeadamente a inquéritos ao condutor (subcapítulo 3.2.2).

As contagens de tráfego constituem a principal fonte de informação na estimação do volume de circulação da rede principal na maioria dos modelos de estimação ao nível nacional, sendo que

chegam a constituir fonte única nalguns modelos como os do Reino Unido [78], da Finlândia [85] ou de alguns estados dos EUA [74].

Figura 6 | Utilização de SIG para cálculo e visualização da intensidade de tráfego na rede nacional da República Checa (fonte: <http://www.rsd.cz/> a Janeiro 2007)



3.2.2 Inquéritos ao condutor

Os inquéritos aos utentes permitem obter informação directa junto dos utilizadores da rede rodoviária, através de entrevistas ou questionários individuais, a agregados familiares ou a condutores. Este tipo de fonte de informação possui, indiscutivelmente, mais potencialidades no nível de pormenorização e flexibilidade dos dados recolhidos, relativamente às outras fontes apresentadas neste Capítulo, tendo em conta a possibilidade de adaptação dos questionários à informação pretendida. Efectivamente, informação sobre o veículo, o condutor, as respectivas viagens efectuadas e o contexto familiar ou empresarial em que se inserem, pode ser obtida através de um ou vários inquéritos.

A realização de inquéritos passa obrigatoriamente por um processo de amostragem tendo em conta a população de residentes ou de pessoas habilitadas a conduzir e do parque automóvel nacional. É precisamente neste processo de amostragem e na execução dos inquéritos que se encontram as maiores dificuldades. Os elevados custos de realização de inquéritos impedem a respectiva utilização frequente, sendo necessário recorrer muitas vezes a inquéritos de interesse múltiplo, e não apenas no contexto dos volumes de circulação, como medida de redução dos custos associados. A

disponibilidade de informação na definição de amostras e as dificuldades práticas na execução de inquéritos ao nível nacional, constituem outros factores a ter em conta na realização de inquéritos ao condutor, tornando os inquéritos por regiões administrativas uma solução mais apetecível.

O contacto com os inquiridos pode ser realizado através de vários métodos:

- envio de questionário por correio postal;
- envio de questionário por correio electrónico;
- entrevista telefónica;
- entrevista presencial;

Estes quatro métodos apresentam diferentes vantagens e dificuldades a ter em conta na sua execução. Questionários demasiado longos enviados por correio postal, por exemplo, têm forte probabilidade de apresentarem baixos índices de resposta. Adicionalmente, nos inquéritos por correio postal é necessário recorrer à identificação prévia da população habilitada a conduzir, antes de proceder à realização dos inquéritos em si. Em contrapartida, os questionários por correio apresentam a vantagem de permitir facilmente a concentração de vários interesses no mesmo inquérito, reduzindo frequentemente os custos associados.

As entrevistas telefónicas permitem uma redução no tempo até à obtenção dos dados, quando comparados com os questionários por correio postal. Permitem ainda a explicação do contexto em que é realizado o inquérito, permitindo a motivação do inquirido em participar nesta e em futuras iniciativas similares. Todavia, a conjugação das questões relacionadas com os volumes de circulação e de outras temáticas num mesmo inquérito torna-se mais delicada, tendo em conta o tempo médio de entrevista aceitável pelo inquirido.

As entrevistas presenciais são normalmente utilizadas para inquéritos mais extensos, incidindo numa amostra de um dado segmento populacional [89].

Em todos os países da UE, na Noruega e no Liechtenstein, é realizado, de três em três meses, um inquérito aos veículos de mercadorias com mais de seis toneladas de peso [10], sendo a informação assim recolhida aproveitada em alguns modelos de estimação de volumes de circulação ao nível nacional. Verifica-se, ainda, que alguns Estados Membros estendem este inquérito aos veículos pesados com mais de 3.5 toneladas (e não seis) de peso bruto total, alargando a amostra estipulada neste Regulamento 98/1172/EC do Conselho Europeu [10].

Apesar dos inquéritos permitirem obter informação com um nível de pormenor bastante elevado, estão frequentemente associados a alguns erros de cobertura que devem ser referidos [89]:

- existência de certo tipo de veículos numa determinada categoria que não são normalmente abrangidos pelos inquéritos mas contribuem para o volume de circulação total ao nível nacional (exemplo: veículos especiais tais como os veículos pesados de remoção de neve ou os veículos privados que circulam em recintos fechados);

- desactualização da amostra face à população de veículos existente, tendo em conta a habitual periodicidade na realização de inquéritos;
- limitação a veículos de registo nacional, impossibilitando a determinação dos quilómetros percorridos pelo tráfego internacional;
- inclusão das viagens realizadas pelos veículos nacionais no estrangeiro.

Para além destes erros de cobertura, os resultados dos inquéritos são também influenciados por eventuais erros de amostragem, associados ao tamanho da amostra, à representatividade dos vários estratos da população, a um período de referência desajustado relativamente ao ano de realização do inquérito e a erros de resposta por parte do inquirido.

Frequentemente recorre-se aos inquéritos à mobilidade já realizados para obter informação útil na estimação de volumes de circulação, em especial aos originados por percursos pendulares. Estes inquéritos visam descrever vários parâmetros da mobilidade e do transporte de pessoas ou mercadorias num determinado país, recorrendo a uma descrição pormenorizada das viagens realizadas pelo inquirido. Na Suíça uma das principais fontes de informação são as entrevistas telefónicas realizadas a cerca de 30 000 agregados familiares, em que é pedida a descrição dos percursos realizados no dia anterior à entrevista, a indicação dos locais e horas de chegada e partida de cada viagem, dos modos de transporte utilizados e a estimativa das distâncias percorridas [79].

3.2.3 Consumos de combustível

O processo de estimação de volumes de circulação por consumos de combustíveis (em território nacional e/ou pelos veículos nacionais) é baseado na comparação entre estes e as vendas de combustível no sector dos transportes rodoviários. A UNECE [89] refere este processo como sendo um processo iterativo de estimação de volumes de circulação através da modelação de consumos nacionais de combustíveis, onde o recurso a várias fontes de informação é essencial. Este método não dispensa a recolha de informação sobre o tráfego rodoviário de um país através de outras fontes de informação, mas permite obter, através da venda de combustíveis como variável de controlo, estimativas mais ajustadas do volume de circulação. A equação (4) apresenta o balanço entre os consumos de combustíveis (CC) e as vendas de combustível (CV), através da definição do parque automóvel, das suas distâncias percorridas e do respectivo consumo de combustível.

$$(4) \quad n \times \underbrace{dist_{med} \times cons_{med}}_{VC} = CC \Leftrightarrow CV$$

Onde,

- n – Número total de veículos no parque automóvel;
- $dist_{med}$ – Distância média anual percorrida por um veículo do parque automóvel (km/veículo);
- $cons_{med}$ – Consumo médio de um veículo (l/km);

- *CC* – Volume de combustível consumido pelo parque automóvel (l ou m³);
- *CV* – Volume de combustível vendido no sector rodoviário (l ou m³);
- *VC* – Volume de circulação (veículos x km).

Importa referir que nesta comparação não é obrigatória a obtenção de uma igualdade entre os dois termos de combustível atribuído ao sector rodoviário (*CC* e *CV*), pois existem diversas actividades colaterais, cujo contributo para o consumo nacional de combustíveis é difícil de estimar. Estas actividades incluem o transporte de combustível por veículos que atravessam a fronteira, o consumo por veículos especiais como os equipamentos do sector da construção civil ou os consumos por barcos de pesca e de recreio. Estas actividades devem ser identificadas e conhecidas as respectivas ordens de grandeza, pois em certos países, como a França, representam valores na ordem dos 5% do total do consumo real estimado [84].

Apesar do volume de combustível vendido anualmente (*CV*) ser disponibilizado e devidamente determinado pelas entidades responsáveis, a estimação das distâncias e dos consumos médios dos vários veículos tornam este processo de cálculo frágil e exigente. No que diz respeito à estimação dos consumos médios de combustível dos veículos do parque automóvel, várias considerações devem ser tidas em conta: separação do cálculo por tipo de combustível e por tipo de veículo, eventuais perdas de combustíveis em circulação e no abastecimento, consideração das inovações tecnológicas de eficiência energética e de novos tipos de combustíveis tais como o bio diesel, GPL (Gás de Petróleo Liquefeito) ou hidrogénio. De facto, estando a utilização desta fonte de informação fortemente ligada à estimação de emissões de poluentes, principalmente CO₂, é frequente a estratificação de consumos por tipo de veículo desagregados por peso, por tipo de combustível e até pela respectiva utilização [72] tendo em conta as diferenças evidentes nas respectivas distâncias percorridas e nos consumos associados.

Outra das dificuldades na utilização do método de estimação por recurso exclusivo ao consumo de combustíveis, apresentada pela UNECE [89], é a necessidade de definição precisa do tráfego de veículos e de combustíveis na fronteira do país em análise. De facto, a estimação de consumos de combustíveis torna-se bastante delicada quando se verificam intensos volumes de tráfego transfronteiriço. Uma estimação correcta e detalhada das distâncias percorridas por veículos estrangeiros no país em análise e por veículos nacionais além fronteiras torna-se fundamental. Adicionalmente importa ter em atenção as *trocas* de combustíveis na fronteira, muito frequente quando os preços de combustíveis apresentam diferenças consideráveis entre os dois países. Nestes casos, assiste-se habitualmente a um número considerável de veículos que atravessa a fronteira apenas para se abastecer, percorrendo posteriormente a maior parte dos respectivos quilómetros associados a esse abastecimento, no país de origem.

Relativamente à estimação de distâncias médias percorridas num determinado ano, é frequente o recurso a uma das outras fontes de informação identificadas neste Capítulo: contagens [84] e [72], inquéritos [84] e [81] ou leituras de conta quilómetros [72].

As contagens de tráfego podem ser utilizadas como fonte suplementar de informação na estimação directa de distâncias médias percorridas, como factor de actualização de distâncias médias já determinadas para anos anteriores e, também, como informação para estratificação por tipo de estrada.

Assim, quando se dispõe de informação diversa e pormenorizada, o processo de estimação de volumes de circulação utilizando os consumos de combustível consiste num método de calibração bastante confiável, através do equilíbrio entre o valor dos consumos estimados e do volume total de vendas de combustível. Quando esta informação complementar não está disponível, estes modelos constituem muitas vezes a única alternativa de estimação de volumes de circulação ao nível nacional, mas, nesse caso, são modelos simples e com baixos níveis de desagregação, como é o caso do método proposto por Cardoso [4], apresentado no subcapítulo 2.3.

3.2.4 Leitura directa de conta-quilómetros

Os conta-quilómetros constituem o único registo de percursos acumulados comum à maioria das categorias de veículos, permitindo uma estimação exacta dos quilómetros percorridos por um determinado veículo. A leitura dos conta-quilómetros não possibilita, no entanto, a recolha de qualquer informação ao nível geográfico, inviabilizando a distribuição de volumes de circulação por tipos de estradas ou por regiões. A fim de obter valores de volumes de circulação por diferentes categorias de veículos, as respectivas características relevantes podem ser recolhidas directamente na inspecção onde é realizada a leitura de conta-quilómetros ou posteriormente por associação ao registo do veículo na base de dados relativa ao parque automóvel.

A principal condicionante deste tipo de informação reside no facto das leituras permitirem unicamente a determinação de volumes de circulação associados a veículos nacionais sujeitos a inspecções periódicas, incluindo assim os respectivos percursos internacionais e não contemplando as viagens de veículos estrangeiros em território nacional.

Além das leituras realizadas habitualmente nas inspecções técnicas, é sempre necessário recorrer ao número total de veículos registados num dado momento, tanto em sistemas onde as inspecções cobrem unicamente algumas categorias de veículos [25], [37], [72], [75], [76], [79] e [82] como também em modelos que abrangem todo o parque motorizado [19]. Todos os modelos necessitam de informação sobre o parque automóvel, tendo em conta que apenas uma amostra de veículos é sujeita a inspecção num dado ano, devido ao carácter periódico das inspecções ou à não obrigatoriedade de inspecção para certo tipo de veículos. De facto, a Directiva Comunitária 96/96/CE [9] prevê apenas inspecções a veículos de quatro ou mais rodas que circulem em vias públicas, não tendo sido alargadas a outros veículos nos quadros legais da maior parte dos países da UE.

As inspecções periódicas são realizadas ao longo do ano e não apenas num determinado período do ano, obrigando ao estabelecimento de considerações no processo de estimação de distâncias percorridas num determinado ano. O facto de existirem diferentes periodicidades de inspecção

consoante o tipo e idade do veículo obriga à consideração de várias combinações e cálculos diferenciados para cada uma das categorias consideradas.

De forma geral, o volume de circulação pode ser calculado por:

$$(5) \quad VC_i = \left(\frac{\sum_n \frac{(Leitura_{T+\Delta T} - Leitura_T)}{\Delta T}}{n} \times N \right) \times 365$$

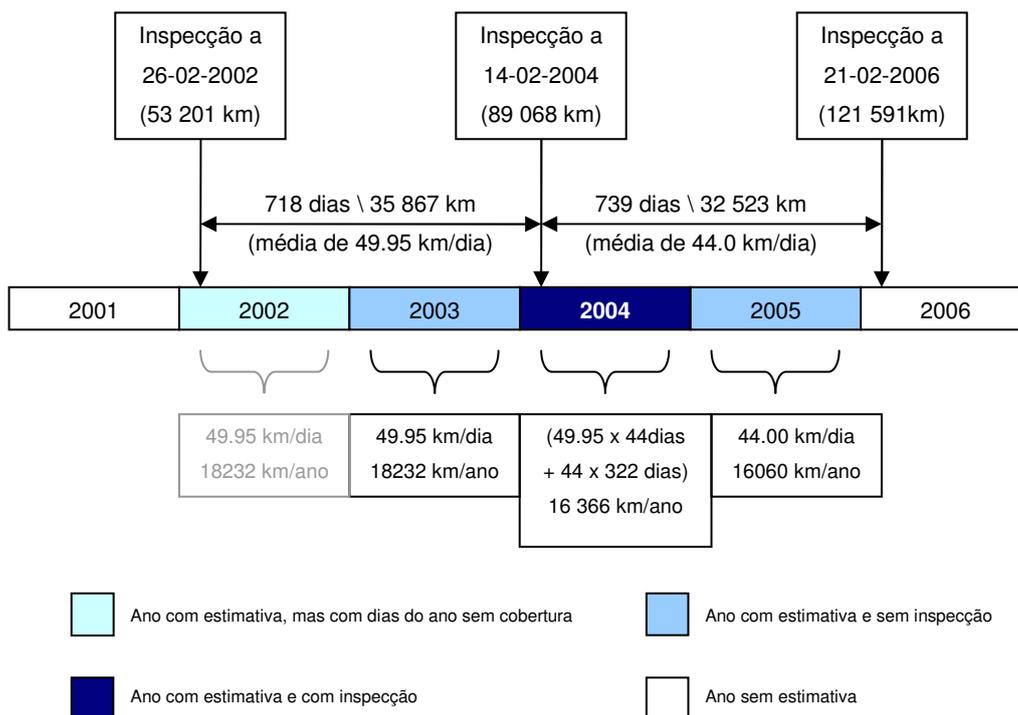
Onde,

- VC_i – Volume de circulação anual para a categoria de veículos i (vkm);
- $Leitura_{T+\Delta T}$ – Segunda leitura do conta-quilómetros (km);
- $Leitura_T$ – Primeira leitura do conta-quilómetros (km);
- ΔT – Tempo entre leituras (dias);
- n – Número de veículos inspeccionados da categoria i ;
- N – Número total de veículos da categoria i no parque automóvel nacional (veículos).

Na equação (5) admitem-se, assim, distâncias percorridas diárias constantes entre duas inspeções periódicas, considerando, por exemplo, que um veículo que fez a primeira inspeção ao fim de quatro anos percorreu a mesma distância todos os dias durante esse período. Para estimação de volumes de circulação mensais é necessário recorrer a outra fonte de informação, tal como no modelo dinamarquês, em que são utilizados índices de variação mensal retirados dos postos de contagem espalhados pela rede [87].

Os cálculos utilizados variam de país para país, consoante o sistema de inspeções em vigor. A Figura 7 ilustra, recorrendo a um caso específico, os cálculos frequentemente utilizados no tratamento de dados de leitura de conta-quilómetros segundo as recomendações do *Handbook on Statistics on Road Traffic* da UNECE [89]. Nesta figura são apresentadas as simplificações utilizadas no cálculo da estimativa da distância percorrida por um veículo sujeito a inspeções bienais. Para os anos de 2003 e 2005 os dados de duas das três inspeções realizadas permitem cobrir e estimar directamente o valor da quilometragem, aplicando a equação (5). Já para o ano de 2004 foi necessário recorrer às três leituras existentes, tendo em conta que foi precisamente em 2004 que foi realizada uma das inspeções. A distância percorrida em 2002 foi estimada desprezando a contribuição dos primeiros dias do ano. Para 2006 esta simplificação não é viável tendo em conta o curto período de informação disponível (de 01/01/2006 a 21/02/2006). Estes ajustamentos são tanto mais delicados quanto mais numerosas forem as combinações de números e de periodicidades das inspeções de cada categoria

Figura 7 | Exemplo de cálculo da distância percorrida através de leituras de conta-quilómetros em inspecções bienais



Uma das principais dificuldades na utilização deste tipo de informação refere-se à forma de consideração dos veículos novos. Efectivamente, a Directiva Comunitária 96/96/CE [9] prevê a primeira inspecção de veículos ligeiros apenas ao fim dos primeiros 4 anos de utilização, havendo pois uma lacuna na informação sobre as distâncias percorridas durante esse período. Desta forma, um processo de estimativa do volume de circulação total do parque automóvel, num determinado ano, através de leituras de conta-quilómetros efectuadas em inspecções técnicas, permite obter uma estimativa óptima somente ao fim de, pelo menos, cinco anos, sendo possível ir melhorando anualmente, durante esse período, a respectiva estimativa [89]. Este aspecto é agravado pelo facto dos veículos mais recentes estarem associados a maiores distâncias percorridas por ano ([28] e [36]), contribuindo consideravelmente para o volume de circulação ao nível nacional.

Para além desta dificuldade, associada à periodicidade das inspecções, existem os erros de leitura, os erros dos mostradores, as alterações ilegais dos registos dos conta-quilómetros ou as alterações no tipo de utilização do veículo inspeccionado. Os frequentes erros de leitura que surgem, em parte, devido à menor importância dada a esta tarefa aquando de uma inspecção, podem ser controlados através do conhecimento dos valores esperados para cada categoria de veículos e uma verificação exaustiva dos valores recolhidos das leituras. Os erros associados aos mostradores de conta-quilómetros são habitualmente de detecção fácil e são principalmente devidos à limitação do número de dígitos do mostrador quando este atinge um valor máximo (exemplo: mostrador com 5 dígitos que atinge os 99 999 km registados). Apesar de poderem ser estabelecidos valores mínimos de percursos anuais para cada categoria, a alteração ilegal dos registos dos conta-quilómetros é bastante difícil de

detectar. Este tipo de prática é verificada sobretudo no comércio de veículos usados, como forma de aumentar o preço de venda do veículo [89]. A alteração do uso de um determinado veículo entre duas leituras pode influenciar a estimativa da categoria em que este se insere, contribuindo para variações na estimativa do volume de circulação total.

3.3 Descrição de métodos de estimação em uso

A classificação de modelos de estimação de volumes de circulação ao nível nacional apresentada no subcapítulo 3.2 é baseada na principal fonte de informação utilizada pelos vários métodos actualmente aplicados. A obtenção de estimativas do volume de circulação de todo o parque automóvel, desagregadas segundo diversas variáveis, exige, tal como já foi referido anteriormente (ver subcapítulo 3.1), a concepção de sistemas complexos de recolha e tratamento da informação proveniente de fontes diversas para além da principal. Estes sistemas complexos obrigam, habitualmente, a iniciativas por parte de decisores políticos ou de outros agentes interessados, que contemplam inevitavelmente coordenações ao nível institucional de troca de informação e de métodos de tratamento de dados, em todo o processo de estimação.

Em Portugal, não existe actualmente qualquer sistema de recolha de informação criado com o objectivo exclusivo ou integrado de obtenção de dados sobre volumes de circulação ao nível nacional. Uma das tarefas estipuladas para esta dissertação é a descrição pormenorizada de sistemas de estimação de volumes de circulação em uso a fim de melhor compreender as respectivas exigências, tendo em vista a concepção deste tipo de sistemas para Portugal.

Assim, neste subcapítulo são descritos pormenorizadamente alguns sistemas de estimação de volumes de circulação de outros países que ilustram as práticas internacionais contemporâneas e que abrangem os quatro tipos de métodos apresentados no subcapítulo anterior.

3.3.1 Alemanha

O *Federal Highway Research Intitute* (BAST) recorre a um método misto de contagens para estimar os volumes de circulação anuais na Alemanha [73]. As contagens automáticas permanentes em cerca de 1300 postos da rede nacional (600 em auto-estradas e 700 em outras estradas da rede nacional) constituem a principal fonte de informação do modelo de estimação alemão. Estes postos de contagem, que cobrem a rede de forma eficaz, com um espaçamento médio de 20 km nas auto-estradas e 50 km em outras estradas, registam continuamente o volume de tráfego para 9 categorias de veículos distintas. Contudo, os postos automáticos constituem uma amostra que é posteriormente utilizada na estimação do volume de circulação em toda a rede nacional. São então efectuadas contagens manuais quinquenais em todos os restantes segmentos da rede nacional, caracterizando o respectivo tráfego. São ainda realizadas contagens quinquenais adicionais com o intuito de determinar a percentagem de veículos de matrícula estrangeira que circulam nas estradas alemãs. Cerca de 400

postos recolhem, durante 8 ou 15 dias por ano, informação sobre o tipo e país de origem dos veículos estrangeiros a fim de superar a falta de informação nos atravessamentos das fronteiras alemãs.

Para obter uma estimação do volume de circulação em todas as estradas e não unicamente nas estradas da rede nacional, o *German Institute for Economic Research* (DIW) recorre a inquéritos de periodicidade irregular (1990, 1993 e 2002), os quais pressupõem duas leituras de conta-quilómetros num intervalo de 10 semanas [72]. Os dados, recolhidos nos inquéritos por correio postal, são utilizados na estimacão do volume de circulação nacional, do respectivo consumo total de combustível e das emissões de CO₂ do sector automóvel. Com uma taxa de reposta de cerca de 70% numa amostra de 125 mil inquiridos, foram associados às quilometragens registadas os consumos específicos dos respectivos veículos, consoante o modelo e a marca, recolhidos junto dos fabricantes (no último inquérito foram considerados cerca de 5 000 modelos diferentes). Para além das leituras, os condutores indicam, ainda, uma estimativa do número de quilómetros anualmente percorridos, fora do território nacional. O valor final obtido para os consumos totais de combustíveis é, então, comparado com o valor das vendas registadas pelas gasoleiras, ao nível nacional. Os veículos estrangeiros são abrangidos por um outro inquérito realizado nas áreas de serviço próximas da fronteira, a fim de estimar as quilometragens médias efectuadas em território alemão.

O modelo de estimacão alemão em números:

- 600 postos de contagem automática em auto-estradas
- 700 postos de contagem automática em outras estradas classificadas
- 10 000 postos de contagem manual, quinquenal
- 400 postos de contagem manual, quinquenal em auto-estradas e em estradas da rede europeia para a contagem veículos estrangeiros
- 125 000 inquéritos não periódicos a proprietários de veículos
- 703×10^9 vkm estimados (2002)
- 45.3×10^6 veículos registados (2004)
- 13 400 km como distância média percorrida por veículos ligeiros (2002)
- 33.1×10^9 litros de consumo interno de combustíveis (2004)

3.3.2 Suécia

Na Suécia, o *Statistics Sweden* (SCB) é responsável pela estimacão dos volumes anuais de circulação [76]. O método utilizado recorre unicamente ao registo de todos os veículos do parque automóvel nacional (obtido junto do *Swedish Road Administration – VV*) e às leituras de conta-quilómetros aquando das inspecções anuais obrigatórias. A estimacão é obtida através da associação de cada veículo do parque automóvel às respectivas leituras de conta-quilómetros, calculando um valor da distância média anual percorrida [76]:

$$(6) \quad DMAP = \frac{Leitura1 - Leitura2}{T} \times 365$$

Onde,

- *DMAP* – Distância média anual percorrida (km/ano);
- *Leitura1* e *Leitura2* – quilometragem registada na última e penúltima inspeção respectivamente (km);
- *T* – Tempo entre as duas inspeções consideradas (dias).

Os dados relativos ao registo do parque automóvel contêm ainda informação acerca da utilização do veículo (se apesar de estar registado, é ou não utilizado) e das datas de desactivação dos veículos que deixam de circular na rede rodoviária. São feitas várias verificações e correcções aos dados das leituras, minimizando os erros de leitura/registo e os erros associados a defeitos do conta-quilómetros. Este método permite ainda a desagregação por classe de veículos. Tendo em conta que os veículos novos (até quatro anos) não são sujeitos a qualquer inspeção obrigatória, o método acima descrito não contempla as respectivas distâncias percorridas. Assim, os veículos novos são associados a distâncias percorridas médias de uma amostra de veículos novos inspeccionados para o efeito, consoante o tipo, idade e combustível do veículo. Importa referir que este modelo não determina a parcela das distâncias percorridas por veículos estrangeiros e inclui as distâncias percorridas por veículos suecos noutras redes.

Um modelo alternativo, desenvolvido pelo *Swedish National Road and Transport Research Institute* (VTI) em 1999 e actualizado em 2003, recorre a informação recolhida nos postos de contagem para a estimação dos volumes de circulação da rede nacional [77]. Utilizando inicialmente como base as contagens realizadas pela VV, o registo de veículos junto da mesma instituição e os inquéritos anuais ao transporte de mercadorias pelo SCB, o modelo foi posteriormente calibrado tendo em conta as leituras de conta-quilómetros acima referidas. As contagens manuais são realizadas de quatro em quatro anos num total de 22 000 postos espalhados pela rede nacional e complementadas por contagens automáticas contínuas a fim de obter parâmetros de estimação de volumes mensais, sazonais ou anuais. A informação retirada dos inquéritos à mobilidade ou dos dados nacionais de sinistralidade rodoviária é também utilizada como elemento de ajuste do modelo. Assim, as contagens de veículos realizadas na rede nacional são extrapoladas para toda a rede existente (nacional, municipal e privada) através de um factor retirado dos inquéritos à mobilidade. Posteriormente, o valor total de veículosxquilómetro é desagregado segundo várias categorias de veículos (motociclos, ligeiros, pesados de mercadorias com distância entre eixos inferior a 3.3m, pesados de mercadorias com distância entre eixos superior a 3.3m e pesados de passageiros) e por tipo de combustível (gasolina, gasóleo e outros). Esta desagregação é realizada principalmente através da proporção de cada categoria no parque nacional automóvel e pelos inquéritos a veículos pesados de mercadoria. Apesar de o volume total de veículosxquilómetro estar relativamente bem estimado por este modelo, as parcelas individuais de cada categoria apresentam erros quando comparadas com as estimativas do modelo de leitura de conta-quilómetros do SCB. O modelo proposto pelo VTI sofreu algumas

alterações em 2003 que permitiram não só uniformizar a classificação de pesados por pesos totais (e não por carga máxima ou distância entre eixos) como também recorrer a amostras das leituras dos conta-quilómetros para estimação de veículosxquilómetro para cada categoria.

A proporção de veículosxquilómetro para cada categoria j relativamente ao ano i é determinada da seguinte forma:

$$(7) \quad \hat{\alpha}_{i,j} = \alpha_{n,j} \times \frac{\sum_j A_{i,j}}{\sum_j A_{n,j}} \quad \alpha_{i,j} = \frac{\hat{\alpha}_{i,j}}{\sum_j \hat{\alpha}_{i,j}}$$

Onde,

- $A_{i,j}$ – Proporção de veículos da categoria j no parque automóvel relativamente ao ano i ;
- n – Último ano de dados disponíveis relativos às leituras dos conta-quilómetros;
- $\alpha_{n,j}$ – proporção da categoria j relativamente ao ano n .

Contrariamente ao modelo do SCB, o modelo do VTI permite obter uma estimativa do volume de circulação em estradas sueca e não das distâncias percorridas por veículos suecos. Importa referir que apesar de existirem diferenças entre o objecto estimado e o processo de estimação, os valores absolutos obtidos são da mesma ordem de grandeza, sugerindo um equilíbrio entre o volume de circulação associado a veículos suecos no estrangeiro e o volume de circulação de veículos estrangeiros na Suécia.

O modelo de estimação sueco em números:

- 22 000 postos de contagem na rede nacional classificada
- Determinação de distâncias percorridas para 92% dos veículos ligeiros registados
- Determinação de distâncias percorridas para 87% dos veículos pesados de mercadorias registados
- Determinação de distâncias percorridas para 95% dos veículos pesados de passageiros registados
- Determinação de distâncias percorridas para 90% dos motociclos registados

3.3.3 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos da América, a FHWA é responsável pela recolha, análise e comunicação de toda a informação referente a elementos da rede viária [74]. Relativamente aos dados de volumes de circulação, a FHWA recorre ao HPMS, programa de base de dados a nível estadual, baseado fundamentalmente em registos de postos de contagem na rede federal constituídos por registos

“universais” e por registos “amostrais” [29]. Os primeiros contêm informação limitada sobre toda a rede nacional principal, enquanto os segundos recolhem informação mais extensa sobre uma determinada amostra da restante rede nacional. A informação relativa à rede local é disponibilizada em “tabelas sumário”, apresentadas por cada estado, com informação sobre toda a rede de um estado (rede nacional e local). É nestas tabelas que figuram as informações mais pormenorizadas sobre os volumes de circulação tais como a percentagens em relação ao volume de circulação de cada categoria de veículo por tipo de estrada. A classificação de estradas utilizada pela FHWA baseia-se na classe funcional e no meio envolvente, totalizando 12 categorias distintas:

Quadro 3 | Classificação de Estradas pela FHWA

Rural				Urban			
A	S	U	Functional Classification	A	S	U	Functional Classification
X	X	X	Interstate	X	X	X	Interstate
X	X	X	Other Principal Arterial	X	X	X	Other Freeways & Expressways
X	X		Minor Arterial	X	X	X	Other Principal Arterial
X	X		Major Collector	X	X		Minor Arterial
X			Minor Collector	X	X		Collector
X			Local	X			Local

No Quadro 3 são indicados quais os tipo de estrada considerados para as “tabelas sumário”, os registos “amostrais” e os registos “universais” (A, S e U respectivamente).

A estimativa ao nível nacional de volumes de circulação é então determinada através dos registos “universais”, dos registos “amostrais”, os quais são extrapolados para o total da rede nacional, e ainda da informação retirada das “tabelas sumário” fornecidas por cada estado.

As distâncias percorridas totais são calculadas com base no TMDA e na extensão do trecho associado ao posto de contagem. Os valores dos volumes de circulação de cada registo “universal” são agrupados segundo as classes *Interstates* e as estradas do *National Highway System* (*Other Principal Arteries* e *Other Freeways and Expressways*). Relativamente às outras estradas cobertas pelo HPMS, o volume de circulação é determinado através do TMDA de registos “amostrais”, da extensão do segmento associado e do respectivo coeficiente de extrapolação para cada categoria considerada. Este factor de extrapolação é calculado por [24]:

$$(8) \quad VC_i = EF_i \times VCA_i$$

e

$$EF_i = \frac{L_i}{LS_i}$$

Sendo:

- EF_i - Factor de expansão da categoria de estrada i ;
- VC_i - Volume de circulação da categoria de estrada i ;

- VCA_i - Volume de circulação da categoria de estrada i na amostra;
- L_i - Extensão total das estradas de categoria i na rede;
- LS_i - Extensão das estradas de categoria i na amostra.

Apesar dos valores de TMDA serem actualizados anualmente, as contagens são realizadas unicamente em ciclos de três anos, sendo necessário utilizar factores de actualização retirados dos registos “universais” para a determinação de valores dos anos intermédios. O HPMS não estipula nenhum método específico para a estimação de volumes de circulação das categorias *rural minor collector* e *local*, obrigando no entanto os estados a fornecerem informação em “tabelas sumário”. Assim, cada estado desenvolveu individualmente métodos de estimação que vão desde estimações por contagens a modelos baseados em consumos de combustíveis [23].

Paralelamente ao programa HPMS cada estado realiza um número limitado de contagens automáticas contínuas (*automatic traffic recorder*) e pesagens (*weigh-in-motion*) que permitem não só validar a estimativa do HPMS como também analisar as variações sazonais/mensais na rede viária americana.

Importa referir ainda que cada área metropolitana com mais de 50 mil habitantes deve, por lei, ter uma *Metropolitan Planning Organizations* (MPO) responsável pela gestão da rede de transportes numa zona urbana específica. Estas zonas são normalmente alvo de um plano de contagens bastante mais rigoroso contribuindo para a calibração dos modelos de estimação de volumes de circulação nas zonas em questão. Actualmente existem 384 MPO em todo o território americano.

Tal como já foi referido anteriormente, iniciou-se em 1969 um ciclo de inquéritos periódicos a agregados familiares, o NHTS [20]. O NHTS recolhe informação sobre a mobilidade de uma amostra de agregados familiares americanos. O sexto e mais recente inquérito foi realizado em 2001, recolhendo informação sobre 66 000 agregados familiares, estando prevista a realização do próximo inquérito já em 2008. O NHTS de 2001 recorreu a entrevistas telefónicas a agregados familiares, os quais foram questionados sobre a última “viagem longa” realizada (mais de 50 milhas), os percursos realizados num dia útil e ainda os quilómetros registados pelo(s) seu(s) veículo(s).

Este método permite a obtenção de informação pormenorizada sobre um segmento específico da população americana, servindo como exemplo para este tipo de aplicações. Todavia, o NHTS não constitui um modelo de estimação do volume de circulação total ao nível nacional.

O modelo de estimação americano em números:

- Rede de estradas com um total de 6433×10^6 km de extensão (2004)
- Volume de circulação nacional de $4\,799 \times 10^{12}$ vkm estimados (2004)
- 92% do volume de circulação correspondente a distâncias percorridas por veículos ligeiros e por motociclos
- 1.1×10^6 registos “universais”
- 113 000 registos “amostrais”

3.3.4 Reino Unido

Tal como os EUA, o Reino Unido recorre a um método de estimação de volumes de circulação ao nível nacional baseado em informação recolhida por postos de contagem. Contudo, a principal fonte de informação deste método são os postos de contagem manuais espalhados pela rede britânica, contrariamente ao modelo americano onde os postos automáticos constituem a principal fonte de informação do modelo.

As contagens manuais são feitas de maneira distinta para as duas categorias de estradas consideradas na rede britânica: *Major* e *Minor Roads* [78].

As *Major Roads*, constituídas por um total de cerca de 50 000 km, são separadas em 5 classes (*motorways, trunk rural, trunk urban, principal urban e principal rural*). Os 340 000 km associados às *Minor Roads* são desagregados em seis classes distintas (B, C e U, cada uma delas podendo ser em ambiente urbano ou rural). Relativamente à categoria de *Major Roads*, está prevista uma cobertura completa (em todos os trechos da rede) com contagens de três em três anos (Escócia – 6 anos), durante 12h num dia útil previamente seleccionado, e sem influência do tráfego de férias ou de outras variações sazonais. Para a categoria de *Minor Roads*, são realizadas contagens anuais numa amostra de cada classe considerada. Estas contagens são recolhidas num total de 4 500 postos, 200 dos quais registam apenas as variações do tráfego em dias com influência sazonal e de fim de semana.

As contagens automáticas são realizadas em apenas 160 postos, efectuando uma contagem contínua do tráfego. Estes postos permitem a desagregação dos respectivos volumes de tráfego segundo 11 tipos de veículos distintos. Porém foram detectados alguns problemas neste processo: classificação incorrecta de veículos que circulem a baixas velocidades e ainda avarias frequentes do equipamento [78]. A estes 160 postos, acrescentam-se 56 postos automáticos inseridos no sistema de gestão de tráfego da zona urbana de Londres, que contam e classificam os veículos segundo duas categorias: veículos curtos ($\leq 5.2m$) e longos.

As contagens automáticas constituem um excelente instrumento na análise da evolução do tráfego ao longo do tempo. Adicionalmente estes postos permitem a definição de factores distintos (segundo o tipo de veículo, o dia da contagem, a zona da contagem e estrada, a categoria da estrada ou nível de tráfego) necessários para a estimação do TMDA dos postos de contagem manual. Os métodos de estimação de TMDA são diferentes para as duas categorias consideradas no método britânico:

Para a categoria de *Major Roads*:

$$(9) \quad VC = \sum TMDA_1 \times L \times 365$$

Onde,

- VC – Volume de circulação Anual (vkm);
- $TMDA_1$ – Tráfego médio diário anual, obtido através de contagens ou métodos de estimação (veículos/dia);

- L – Extensão do trecho associado ao posto de contagem (km).

Para a categoria de *Minor roads*:

$$(10) \quad VC = \sum \left(\left(\sum_{\text{por CATEGORIA}} TMDA_2 \times L \times 365 \right) \times \prod_i \alpha_i \right)$$

Onde,

- VC – Volume de Circulação Anual (vkm);
- $TMDA_2$ – Tráfego médio diário anual, estimado por cada categoria de estrada e por região (veículos/dia);
- L – Extensão do trecho associado ao posto de contagem considerado (km);
- α_i – Factor de crescimento ou correcção num determinado ano, que depende de várias variáveis i : tipo de veículo, dia da contagem, localização geográfica do posto, tipo de estrada e categoria dos registos históricos do volume de circulação.

O modelo de estimacão britânico em números:

- Cerca de 390 000 km de estradas
- 160 (+ 56) postos automáticos de contagem
- 5 100 postos de contagem manual na rede principal (2005)
- 4 500 postos de contagem manual na rede secundária (2005) dos quais 200 são realizados em períodos de tráfego irregular
- Estimacão para 5 categorias de veículos distintas
- 498×10^9 vkm estimados para veículos motorizados (2004)

3.3.5 Austrália

O *Australian Bureau of Statistics* (ABS) recorre ao *Survey of Motor Vehicle Use* (SMUV) como principal fonte de informao sobre o volume de circulao do parque automóvel nacional [2]. Este inqrito recolhe informao sobre distâncias percorridas e consumos de combustíveis, por tipo de veículo. Realizado pela primeira vez em 1963, o SMUV foi novamente conduzido em 1971 e de trs em três anos entre 1976 e 1998. Desde 1998  realizado anualmente, tendo, no entanto, sofrido várias alteraces metodológicas e de implementaco ao longo da sua existência.

O inqrito abrange todos os veículos registados numa determinada data, excepto caravanas, tractores agrícolas, veículos militares, veículos do corpo diplomático, e veículos especiais tais como os veículos utilizados no sector da construco. Após identificao do universo de veículos em circulao,  seleccionada uma amostra de veículos cujos donos serão solicitados a responder a dois

inquéritos desfasados de 3 meses. Nestes inquéritos são recolhidas informações sobre o veículo, as viagens efectuadas e são, ainda, realizadas leituras dos conta-quilómetros.

Os dados obtidos são sujeitos a diversas correcções a fim de minimizar os vários erros de estimação associados à utilização de inquéritos na estimação de volumes de circulação, tais como, o preenchimento incompleto de inquéritos ou a troca de proprietário ou de tipo de utilização do veículos durante o período de análise. Os resultados são, então, desagregados por tipo de veículo, por motivo de viagem, por categoria de estrada, por tipo de combustível e por zona de registo do veículo. Para cada tipo de desagregação considerada está associado um erro de estimação diferente tendo em conta o desenho amostral efectuado [2].

Num trabalho interessante desenvolvido por Skutenko *et al.* [62] foram comparados os valores dos consumos nacionais de combustíveis estimados através do SMVU com os valores de vendas anuais de combustíveis (*Total Petrol Sales – TPS*) publicados pelo Departamento de Indústria, Turismo e Recursos australiano. Este estudo aponta para uma diferença de 5 a 15% entre os volumes totais de combustíveis vendidos relativamente aos valores de TPS.

Contrariamente ao TPS, o SMVU não considera os veículos não registados, os veículos militares e do corpo diplomático, o consumo de combustíveis associado a barcos de pesca e de recreio, os veículos agrícolas nem os veículos registados mas não autorizados a circular na rede de estradas nacional. O principal erro de amostragem detectado é devido ao desfasamento entre o processo de amostragem e a implementação dos inquéritos, fazendo com que o parque automóvel nacional se altere. Este desfasamento faz com que muitos veículos novos que normalmente apresentam maiores índices de circulação não sejam considerados no SMVU mas sim no TPS. Todos estes factores justificam cerca de 70% da diferença observada entre os dois valores, estando os restantes 30% associados a diversos factores não justificados pelo referido estudo.

O modelo de estimação australiano em números:

- 13.5×10^6 veículos registados a 31 de Março de 2004
- 15 988 veículos utilizados como amostra no SMUV de 2005 (28% ligeiros de passageiros e motociclos, 59% veículos de mercadorias, 10% pesados de passageiros e 3% de outras categorias)
- 206.4×10^9 veículos x quilómetro em 2005 (01-11-04 a 31-10-05)

3.3.6 França

O *Service Economie, Statistiques et Prospective* do Ministério dos Transportes, Equipamento, Turismo e Mar publica anualmente estimativas dos volumes de circulação por tipo de veículo, nacionalidade, tipo de combustível e categoria de estrada [84]. Os volumes de circulação são determinados através do equilíbrio entre o volume estimado de combustíveis consumidos (*CC*) e o volume de vendas de combustíveis no sector rodoviário (*CV*). Utilizando informação de várias fontes, este método é

constituído por duas etapas distintas: a estimação das distâncias médias anuais percorridas e do número de veículos do parque automóvel; e a determinação das taxas de consumo médio de combustíveis por tipo de veículo [84].

Até o ano de 2000, o parque automóvel era determinado usando os registos do imposto de circulação. Desde então, devido à alteração do sistema tributário automóvel, são utilizadas taxas de abatimento e os registos de vendas de veículos para determinar a dimensão e características do parque automóvel.

As distâncias médias percorridas por ano são obtidas através de inquéritos. No caso de veículos pesados de mercadorias recorre-se aos inquéritos anuais obrigatórios segundo a legislação actual da UE [10], que contemplam uma caracterização pormenorizada dos percursos realizados por uma amostra de veículos, durante uma determinada semana (ver subcapítulo 4.7). Os valores relativos aos veículos pesados de passageiros são directamente fornecidos pelos operadores. As distâncias médias percorridas pelos veículos ligeiros de mercadorias são estimadas através de um inquérito quaterenal, enquanto que as dos veículos ligeiros de passageiros são estimadas a partir de duas fontes distintas: um inquérito anual a 10 000 agregados familiares, onde é recolhida informação sobre cada veículo e os respectivos quilómetros percorridos; e uma amostra de 3300 veículos com monitorização regular onde são recolhidas, de duas em duas semanas, informações sobre as distâncias percorridas e os respectivos consumos de combustível.

Para além dos dados do parque automóvel e das distâncias médias percorridas recolhidas através dos vários inquéritos, o modelo francês recorre a outras fontes de informação complementar na estimação do valor final do volume de circulação nacional: o registo de 2 000 postos de contagem da rede nacional, os inquéritos e estudos em estações de serviço, portagens ou fronteiras com o intuito de caracterizar os tráfegos internacionais, os índices e os estudos turísticos para obtenção do respectivo tráfego associado, e as informações sobre a circulação de motociclos retiradas dos inquéritos periódicos a agregados familiares.

Os inquéritos a veículos pesados de mercadorias e a recolha constante de informação através da supervisão da amostra de 3 300 veículos permitem a obtenção de taxas médias de consumos de combustíveis segundo vários tipos de veículos.

Com o modelo francês estima-se, assim, o volume consumido de um determinado tipo de combustível, pelo sector rodoviário, em território nacional, através da expressão:

$$(11) \quad CC = PA \cdot dist_{med} \cdot TC$$

Onde,

- CC – Volume estimado do consumo de combustível (m^3);
- PA – Parque Automóvel (n° de veículos);
- $dist_{med}$ – Distância média percorrida (km);
- TC – Taxa de consumo de combustível unitária (l/100 km).

Desde 1998 que se regista uma diferença de cerca de 5% entre o *CC* e o volume total de vendas no sector rodoviário (*CV*). Admitiu-se que, em média, existe um maior tráfego em França associado a veículos com combustível estrangeiro do que um tráfego em outras redes de veículos com combustíveis adquiridos em França. Um inquérito realizado em 1999, a veículos pesados com matrícula estrangeira, verificou que apenas 40% dos veículos que circulavam em estradas francesas adquiriam o combustível em território francês [84].

O modelo de estimação francês em números:

- Cerca de 2 000 postos de contagem cobrindo 35 000 km de estradas da rede rodoviária nacional
- 35,8 milhões de veículos registados em Janeiro de 2004 (18,2 milhões de veículos a gasóleo, 29,7 milhões de veículos ligeiros de passageiros)
- Volume de circulação total de $559,9 \times 10^9$ vkm em 2004
- Consumo estimado de $16,3 \times 10^6$ m³ de gasolina e de $37,9 \times 10^6$ m³ de gasóleo (2004)
- Vendas de $15,5 \times 10^6$ m³ de gasolina e de $36,4 \times 10^6$ m³ de gasóleo (2004)

3.3.7 Síntese

O conjunto dos seis sistemas descritos pormenorizadamente neste subcapítulo abrange os quatro tipos de métodos de estimação de volumes de circulação, diferenciados pela principal fonte de informação utilizada. Estes modelos ilustram, também, o facto da maioria dos sistemas ao nível nacional recorrer a outras fontes de informação complementares e a processos de tratamento de dados diversificados na obtenção de estimativas sistemáticas e pormenorizadas do volume de circulação.

Cada sistema é único, desenvolvido especificamente para satisfazer as necessidades particulares de um determinado país e adaptado à informação existente e às características próprias da respectiva circulação automóvel. No entanto, vários países encetaram esforços para a melhoria da qualidade e quantidade da informação existente e dos métodos de tratamento de dados utilizados, através de iniciativas ao nível nacional, contemplando frequentemente a participação de diversas instituições.

Assim, qualquer desenvolvimento de modelos de estimação de volumes de circulação ao nível nacional para o caso português deve passar por uma análise pormenorizada da informação existente, dos sistemas de recolha e tratamento de dados existentes no país e no estrangeiro.

No Capítulo seguinte dá-se um primeiro contributo para o desenvolvimento de métodos de estimação sistemática de volumes anuais de circulação em Portugal.

4.1 Preâmbulo

Um dos objectivos do presente trabalho, é lançar as bases para o desenvolvimento de um modelo sistemático de estimação para Portugal, tendo-se, nesse sentido, analisada a situação actual no que diz respeito à informação disponível.

Nos Capítulos 2 e 3 foram apresentados vários métodos de estimação de volumes de circulação, tendo-se evidenciado a necessidade de recorrer a várias fontes de informação. O facto de o volume de circulação num determinado país ser função de variados factores e de ser necessário caracterizá-lo segundo diversas variáveis, impõe uma recolha e um conhecimento pormenorizado da informação relevante, habitualmente distribuída por diversas fontes.

Importa, pois, na concepção de um procedimento de estimação de volumes de circulação, conhecer toda a informação potencialmente relevante para o efeito. Neste sentido, neste subcapítulo são referidas várias fontes de informação existentes no contexto nacional, potencialmente relevantes, tendo em vista a estimação de volumes de circulação em Portugal. São ainda analisadas as vantagens e as limitações associadas a cada tipo de informação, apresentadas algumas considerações acerca dos respectivos processos de recolha e evidenciadas as potencialidades de utilização em modelos de estimação sistemáticos.

4.2 Leituras de conta-quilómetros

O Artigo 116º do Código da Estrada [47] prevê a realização de inspecções a veículos a motor e os seus reboques nas seguintes finalidades:

- aprovação do respectivo modelo;
- atribuição de matrícula;
- aprovação de alteração de características construtivas ou funcionais;
- verificação periódica das suas características e condições de segurança;
- verificação das características construtivas ou funcionais do veículo, após reparação em consequência de acidente;
- verificação das respectivas condições de manutenção, mediante controlo aleatório de natureza técnica, na via pública.

Com o intuito de harmonizar a periodicidade das inspeções obrigatórias de veículos nos vários Estados Membros da UE, foi adoptada, em 1996, a Directiva nº 96/96/CE [9] que regula as inspeções e respectivos procedimentos. Esta Directiva Comunitária foi transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto Lei (DL) 554/99 [46]. Tendo em conta as situações previstas no Código da Estrada já referidas, o DL 554/99 [46] define os seguintes tipos de inspeções técnicas:

- inspeções periódicas : inspeções técnicas efectuadas com uma determinada periodicidade, que visam confirmar a manutenção das boas condições de funcionamento e de segurança dos veículos;
- inspeções extraordinárias: destinam-se a identificar ou a confirmar ocasionalmente, as condições de segurança dos veículos ou a reposição das mesmas, em consequência de alteração das suas características por acidente ou outras causas;
- inspeções para atribuição de nova matrícula: visam identificar as características dos veículos e a respectiva conformidade legal e regulamentar, bem como verificar as suas condições de funcionamento e segurança;
- inspeções facultativas: realizadas por iniciativa dos proprietários dos veículos, que têm como objectivo a verificação das características ou das condições de segurança dos veículos.

No Quadro 4 são apresentadas as categorias de veículos que, segundo o DL 554/99 [46], são sujeitas a inspeções periódicas obrigatórias, referindo-se igualmente a periodicidade das mesmas.

O artigo nº 8 do DL 554/99 [46] prevê ainda a “emissão pela entidade titular do centro de inspeção (IPO) de uma ficha de inspeção” como prova de realização das inspeções periódicas. As inspeções extraordinárias, facultativas e de atribuição de matrícula são comprovadas por emissão de um certificado que, relativamente à leitura do conta-quilómetros, é em tudo, semelhante à ficha das inspeções periódicas. Segundo o artigo nº 5 do mesmo diploma, coube à DGV a aprovação dos modelos e conteúdos da ficha e certificado de inspeção. Assim, o despacho n.º 26433-A/2000 [16] da DGV impõe a indicação do “número de quilómetros, referenciado com seis dígitos, constante do conta-quilómetros do painel de bordo do veículo” como elemento da ficha e do certificado de inspeção.

Quadro 4 | Categorias de veículos sujeitos a inspeções técnicas obrigatórias e respectiva periodicidade
(adaptado de DL 554/99 [46])

Veículos	Periodicidade		
	1ª Inspeção (anos)	Até aos 7 anos ¹	Com mais de 7 anos
Automóveis pesados de passageiros	1	1 ano	1 semestre
Automóveis pesados de mercadorias	1	1 ano	1 semestre
Reboques e semi-reboques com peso bruto superior a 3500 kg, com exceção dos reboques agrícolas	1	1 ano	1 semestre
Automóveis ligeiros licenciados para transporte público de passageiros e ambulâncias	1	1 ano	1 semestre
Automóveis ligeiros de mercadorias	2	1 ano	
Automóveis ligeiros de passageiros ¹	4	2 anos	1 ano
Automóveis utilizados no transporte escolar e automóveis ligeiros licenciados para a instrução	1	1 ano	1 semestre
Restantes automóveis ligeiros	2	1 ano	
Automóveis pesados e reboques com peso bruto superior a 3500 kg, utilizados por corporações de bombeiros e suas associações e outros que raramente utilizam a via pública, designadamente os destinados a transporte de material de circo ou de feira, reconhecidos pela DGV	1	1 ano	

Como foi referido no subcapítulo 3.2.4, estas leituras constituem uma excelente fonte de informação no que diz respeito a distâncias percorridas por determinados veículos. Contudo, importa ter em consideração, desde já, determinadas condicionantes resultantes da natureza do sistema nacional de inspeções técnicas:

- ausência de leituras de veículos motorizados de 2 rodas, nomeadamente dos motociclos que representam uma parte importante dos veículos motorizados em circulação (ver subcapítulo 5.3.1);
- não obrigatoriedade de inspeção a veículos recentes. Este aspecto ganha preponderância quando se pretende estimar as distâncias percorridas pelos automóveis ligeiros de passageiros recentes, para os quais só 4 anos após a atribuição de matrícula tem-se acesso a uma primeira leitura;

¹ Para os veículos ligeiros a periodicidade das inspeções é alterada para um ano quando atingem os oito anos de idade (e não sete).

- não obrigatoriedade de inspeções a veículos específicos. É o caso dos automóveis construídos e matriculados antes de 1 de Janeiro de 1960 [46], dos veículos destinados a fins especiais, que raramente utilizam a via pública e cuja circulação esteja dependente da autorização especial prevista nos artigos nº 57 e 58 do Código da Estrada [47], ou dos veículos das Forças Armadas e das Forças de Segurança que englobem componentes especificamente militares [17];

À data da elaboração da presente dissertação, a DGV encontrava-se num processo de reestruturação tendo sido substituída pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), nas áreas de competências das contra-ordenações e da segurança rodoviária e pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT) nas competências relativas a condutores e a veículos. Em Agosto de 2007 foi obtida, junto da DGV, informação sobre as leituras registadas em inspeções a veículos de matrícula portuguesa, realizadas nos anos de 2004, 2005 e 2006. No conjunto destes três anos foram realizadas cerca de 15 milhões de inspeções correspondentes a 5 milhões de veículos. Para além das leituras de conta-quilómetros e respectivas datas de inspeção, foram também recolhidas as seguintes variáveis relativas a cada veículo inspeccionado:

- data de matrícula;
- marca;
- modelo;
- tipo de combustível;
- peso;
- cilindrada;
- tara;
- consumos de combustível (em meio urbano, extra-urbano e combinado).

As características acima indicadas constam na base de dados do parque automóvel da DGV, a qual dispõe, para cada veículo matriculado, os registos do livrete e informação técnica complementar sobre o respectivo modelo (como por exemplo, os consumos de combustíveis ou as emissões médias de CO₂).

De forma a facilitar a compreensão do processo de tratamento de dados recolhidos e a apresentação do método de estimação, o conjunto dos veículos inspeccionados será designada doravante por *BASE VEÍCULOS*. Cada registo desta base é constituído pelo número de identificação do veículo e pelas respectivas características acima mencionadas.

Da mesma forma, o conjunto dos registos respeitantes às inspeções recolhidas para o período de 2004 a 2006, será designada por *BASE LEITURAS*. Cada registo desta base é constituído pelo número de identificação do veículo inspeccionado, pela data de realização da inspeção e pela leitura do conta-quilómetros.

Importa desde já referir que o campo relativo aos consumos de combustível disponíveis na *BASE VEÍCULOS* encontra-se preenchido apenas para determinados modelos matriculados após 2000. Esta informação é recolhida pela ACAP (Associação de Comércio Automóvel de Portugal), em colaboração com a DGV e a ADENE - Agência para a Energia, no seguimento da Directiva 1999/94/CE [11] que estipula a criação de um sistema de informação sobre economia de combustível e emissões de CO₂ dos automóveis novos de passageiros colocados à venda ou para locação financeira, ao nível de cada Estado Membro da UE.

Foi igualmente detectada falta de informação nos outros campos de alguns registos da *BASE VEÍCULOS*. Exemplo disso são os cerca de 130 mil veículos (sensivelmente 2,5% do número total de registos recolhidos) que não apresentam indicação do respectivo peso, cilindrada, combustível ou data de matrícula (ver Quadro 17). Por forma a completar todas as características em falta (excepto a data de matrícula), foi efectuada uma tentativa de correspondência entre cada veículo da mesma marca e modelo e as respectivas características. Todavia, esta tarefa revelou-se impraticável face à falta de homogeneidade verificada na terminologia associada a cada marca e modelo e ao elevado número de veículos na *BASE VEÍCULOS*.

Assim, e antes de avançar no processo de estimação de volumes de circulação, foram excluídos da *BASE VEÍCULOS* os registos com informação incompleta nos campos da data de matrícula, peso, cilindrada ou tipo de combustível. Estas quatro características são utilizadas como critérios de classificação segundo o tipo de veículo, conforme explicitado no subcapítulo 5.2. A *BASE LEITURAS* ficou também reduzida à partida, com a eliminação das inspecções correspondentes aos veículos excluídos da *BASE VEÍCULOS*.

Foram assim consideradas um total de 14 334 060 inspecções correspondentes a 4 900 550 veículos, dos quais 4 754 079 ligeiros e 146 471 pesados. No período de recolha considerado (2004 a 2006) foi registado um crescimento anual entre 2% e 2.5% no número total de inspecções, sendo de referir que relativamente aos veículos pesados se registou um decréscimo do número anual de inspecções entre 2% a 3% (ver Quadro 5).

Para os três anos considerados cada veículo ligeiro inspeccionado foi, em média, sujeito 1.3 inspecções por ano, enquanto os pesados contam com uma média de 2,1 inspecções anuais. Esta diferença é justificada pelos planos de inspecções obrigatórias previstas no quadro legal actualmente em vigor (ver Quadro 4).

Quadro 5 | Número de inspeções técnicas e veículos inspeccionados em 2004, 2005 e 2006

Ano de inspeção	Totais		Ligeiros		Pesados	
	Número de Inspeções	Veículos inspeccionados	Número de Inspeções	Veículos inspeccionados	Número de Inspeções	Veículos inspeccionados
2004	4673783	3512209	4401447	3385256	272336	126953
2005	4773404	3654827	4506545	3528544	266859	126283
2006	4886873	3792040	4627968	3668842	258905	123198

Através de uma primeira análise da *BASE VEÍCULOS* e da *BASE LEITURAS* determinadas características das inspeções técnicas e do parque automóvel inspeccionado, relevantes para a estimação de volumes de circulação, tornam-se evidentes. Na Figura 8 é apresentado o número de veículos inspeccionados em cada ano, por ano de matrícula. O número de veículos ligeiros inspeccionados, com matrícula posterior a 1997, sofre flutuações importantes consoante o ano de matrícula e o ano de inspeção considerado. Estas diferenças devem-se às diferentes periodicidades estipuladas no sistema de inspeções obrigatórias: os veículos ligeiros de passageiros matriculados em 1997 necessitam, por exemplo, de inspeção periódica obrigatória em 2005 e 2006 (2001 – 1ª inspeção, 2003 – 2ª inspeção, 2005 – 3ª inspeção, 2006 – 4ª inspeção); já os matriculados em 1998 são sujeitos a inspeção em 2004 e 2006 (2002 – 1ª inspeção, 2004 – 2ª inspeção, 2006 – 3ª inspeção, 2007 – 4ª inspeção).

Na Figura 8 é também representado o número de vendas de veículos ligeiros e pesados em cada ano. Verifica-se, para além de uma menor diferença entre as vendas registadas pela ACAP e o número de veículos inspeccionados para veículos mais recentes, uma concordância entre as várias curvas representadas: a quebra de vendas de veículos ligeiros ocorrida em 1995 registada pela ACAP, por exemplo, reflecte-se igualmente nos registos das inspeções. Importa referir que as vendas anuais de veículos pesados (ACAP) indicadas na Figura 8 dizem respeito unicamente a veículos pesados comerciais (incluindo autocarros), apresentando assim valores totais inferiores aos veículos inspeccionados. Foi ainda possível detectar veículos (4 pesados e 176 ligeiros) que apresentavam registos de inspeções anteriores à data de matrícula, e que não foram considerados para a estimação de volumes de circulação.

De acordo com o plano de inspeções obrigatórias estipulado na legislação em vigor [46], um veículo pesado é, em média, inspeccionado mais vezes do que um veículo ligeiro, num determinado ano. A Figura 9 apresenta a distribuição de veículos inspeccionados consoante o número de vezes que foram inspeccionados por ano. Apesar de a percentagem de veículos com mais de 5 inspeções por ano ser reduzida, foram detectados veículos que chegaram a ser inspeccionados 26 (ligeiros) e 49 (pesados) vezes num ano.

Figura 8 | Número anual de veículos inspeccionados e vendidos por ano de matrícula para 2004, 2005 e 2006

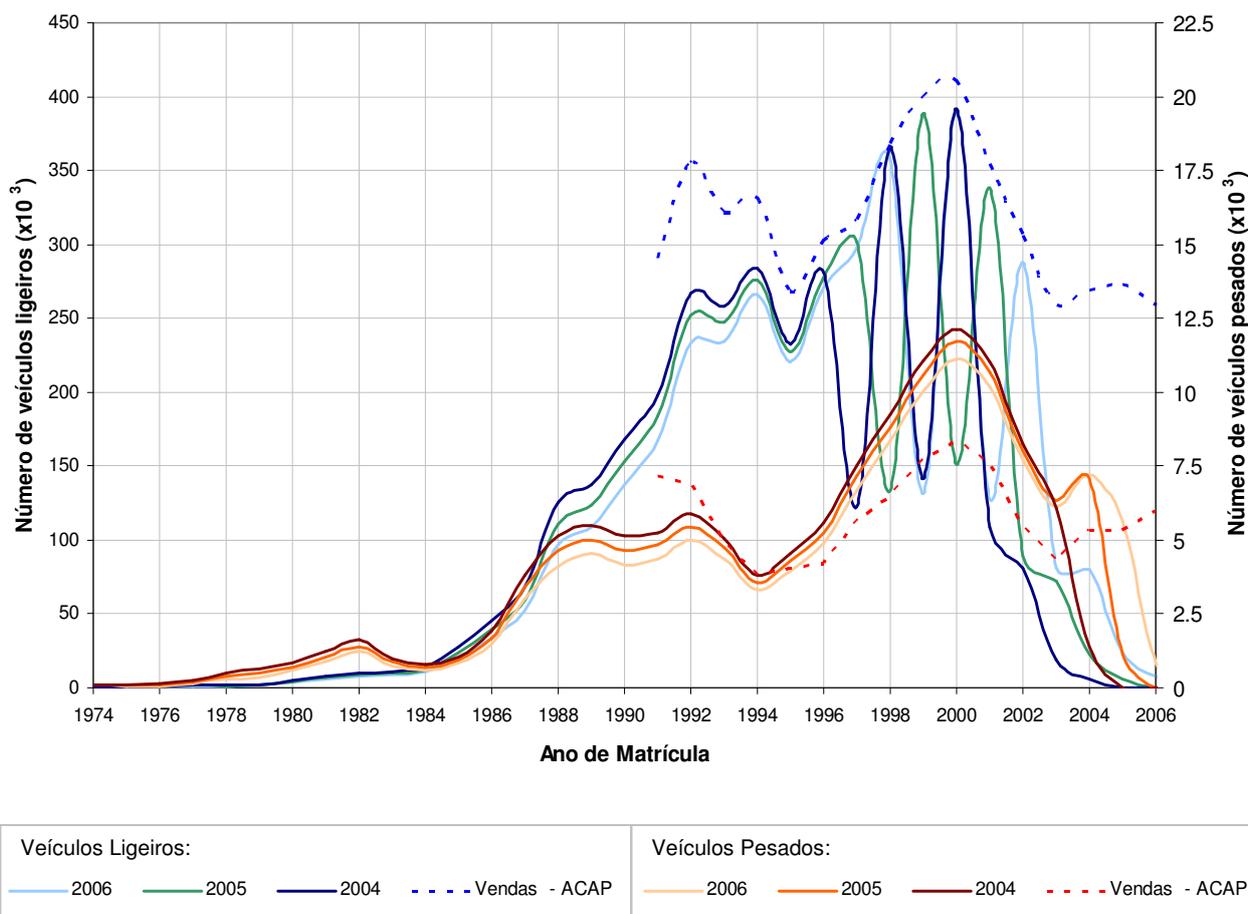
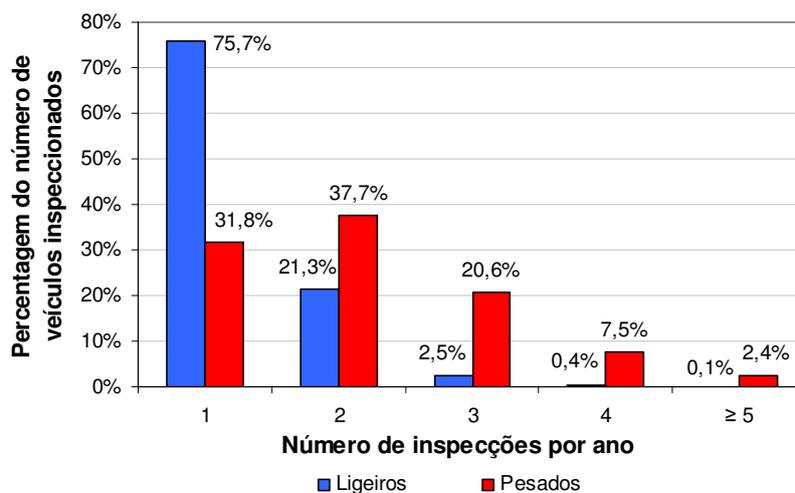


Figura 9 | Percentagem do número total de veículos inspeccionados consoante o número inspeções realizadas por ano (2004 a 2006)



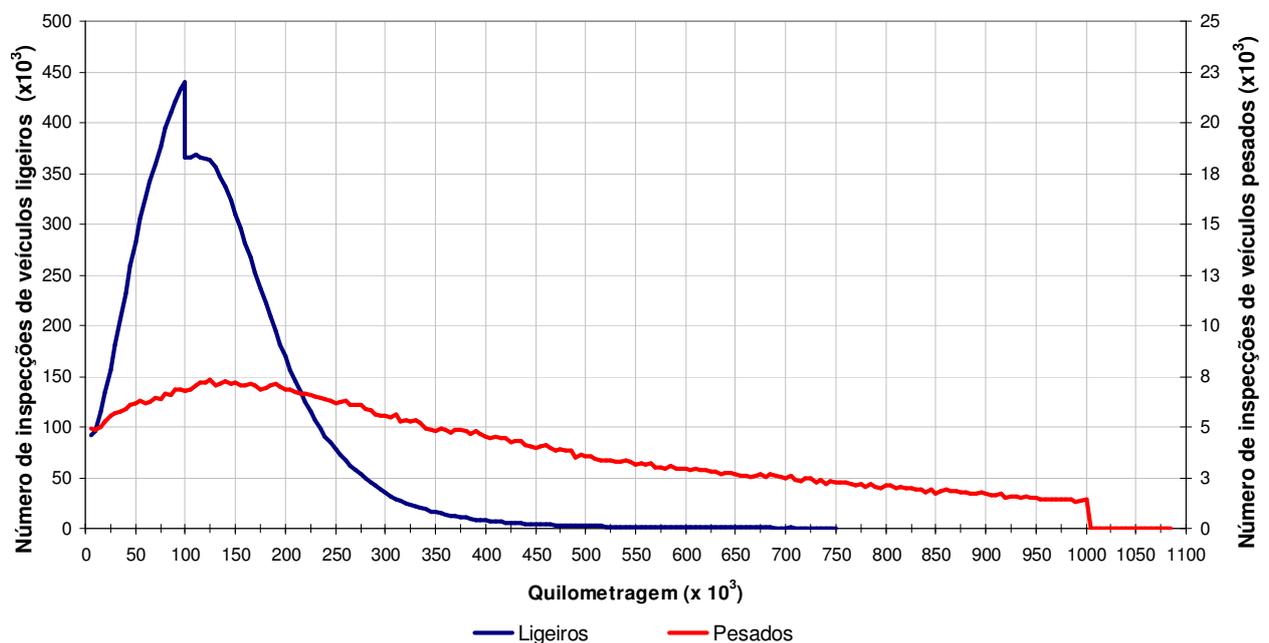
Na Figura 10 é apresentada a distribuição das leituras de conta-quilómetros recolhidas nos três anos considerados, para veículos ligeiros e pesados separadamente. Como seria de esperar, as leituras de

conta-quilómetros de veículos ligeiros apresentam distribuições e valores bastante distintos das dos veículos pesados. Nesta figura torna-se evidente a influência da limitação de mostradores de conta-quilómetros com cinco dígitos nos veículos ligeiros e de seis dígitos nos veículos pesados. Assim, e tendo em conta a falta de dígitos no mostrador, referido no subcapítulo 3.2.4, o número de inspeções de veículos ligeiros com leituras inferiores a 100 000 km encontra-se sobrestimado, enquanto que, em sentido inverso, as leituras com mais de 100 000 km foram subestimadas. O mesmo acontece com os veículos pesados quando atingem o milhão de quilómetros acumulados. A análise e correcção de erros associados à insuficiência de dígitos no mostrador de conta-quilómetros é apresentada no subcapítulo 5.2.1.

A distribuição apresentada na Figura 10 para os veículos ligeiros é semelhante à apresentada por Goh *et al.* para os dados entre 1996 e 2003 do estado do Colorado [28], verificando-se também o efeito da limitação nos mostradores de 5 dígitos (ver Figura 4).

As 14 334 060 inspeções associadas a 4 900 550 veículos foram utilizadas como principal variável no modelo de estimação de volumes de circulação proposto. No Capítulo 5 é apresentado o método de tratamento desta informação, posteriormente utilizada no cálculo das estimativas de volumes de circulação para os anos de 2004, 2005 e 2006.

Figura 10 | Distribuição da quilometragem nas leituras das inspeções de veículos ligeiros entre 2004 e 2006



4.3 Parque automóvel

Em Portugal existem actualmente três instituições com informação sobre o parque automóvel nacional: a DGV, a ACAP e o Instituto de Seguros de Portugal (ISP). No entanto, a natureza dos dados disponibilizados por cada uma destas instituições é bastante distinta, tendo em conta os respectivos objectivos e responsabilidades.

- Parque automóvel seguro

O ISP acompanha e supervisiona as empresas de seguro automóvel e verifica o cumprimento das normas legislativas e regulamentares que regem o sector. Nos dados disponibilizados publicamente relativos ao parque automóvel seguro apenas são considerados os veículos com matrícula, com código de companhia de seguros validado, com data de matrícula válida e com registo da data de início de seguro. Assim, um veículo é considerado apenas quando a respectiva apólice se encontra em vigor no ano a que os dados dizem respeito.

Até ao ano de 2003 os valores publicados pelo ISP eram reportados pelas empresas de seguros de forma global por concelho e por categoria de veículo, forma essa que se veio a verificar ineficiente e passível de erros, tais como duplicações de contagem tendo por base apólices anuladas e veículos sem matrícula. Desde 2003, com a reformulação da forma de reporte e com os desenvolvimentos nas bases de dados do ISP, os erros de contagem cometidos foram reduzidos, tendo como consequência uma quebra na série encontrada até aquele ano [34].

- Parque automóvel circulante

A ACAP é uma associação empresarial que abrange toda a actividade comercial do sector automóvel, agrupando mais de 2000 empresas do sector. Graças a uma posição privilegiada no acesso e tratamento de dados do comércio automóvel, a ACAP possui uma base de dados bastante completa, ao nível nacional, no que diz respeito à venda de veículos. Anualmente são publicados os principais valores relativos às vendas de veículos em Portugal, assim como uma estimativa do parque nacional automóvel. Esta estimativa da ACAP contempla apenas uma contagem ao nível dos veículos mais recentes (veículos vendidos nesse ano), sendo o número de veículos mais antigos determinado através de uma curva de esperança de vida que estima o número de veículos em vim de vida, por tipo de veículo e para cada categoria de idade.

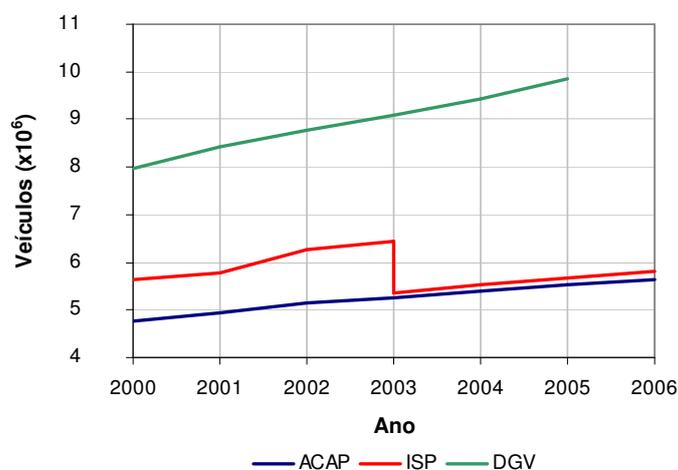
- Parque automóvel matriculado

O Instituto Nacional de Estatística divulga, na publicação anual “Estatísticas de Transportes”, dados recolhidos pela DGV sobre o número de veículos matriculados em Portugal. Porém esta informação não reflecte fielmente o cenário de parque automóvel circulante em Portugal, pois muitos veículos ainda matriculados já não contribuem para o volume de circulação nacional. Apesar da legislação mais recente [50] prever mecanismos de gestão e actualização do registo do parque matriculado, o número de cancelamentos de matrícula continua a ser bastante inferior ao número de veículos retirados da circulação (ver Figura 11). Todavia, relativamente aos veículos registados mais recentes,

cuja percentagem de veículos anulados ainda é reduzida, a informação da DGV pode ser usada como referência.

Na Figura 11 é possível observar a influência da reformulação do método de recolha de informação do ISP, em 2003. Estas estatísticas apresentadas anualmente pelo Instituto de Seguros são elaboradas tendo por base as matrículas reportadas pelas empresas de seguros à data de 31 de Dezembro de cada ano, e incluem veículos que não são considerados nas estimativas do Parque Automóvel da ACAP, nem são sujeitos a inspeções técnicas (exemplo: os reboques agrícolas e os veículos especiais).

Figura 11 | Evolução do número total de veículos no parque automóvel nacional (adaptado de [34], [1] e [33])



Os valores estimados pelo ISP e pela ACAP para o parque automóvel, apresentam igualmente algumas diferenças relativamente ao número de veículos inspeccionados, dificultando a tarefa de compatibilização de informação.

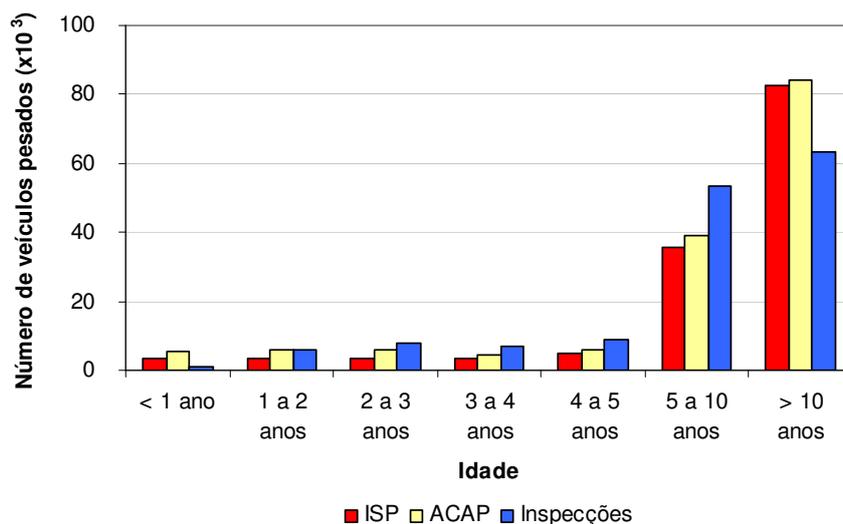
As Figura 12 e Figura 13 apresentam, respectivamente, a distribuição do número de veículos pesados e de veículos ligeiros por categorias de idade, para o parque estimado pelo ISP, pela ACAP e para os registos de inspeções recolhidas.

Ao comparar os valores das diferentes fontes no que diz respeito aos veículos pesados, verifica-se que o número de veículos inspeccionados com menos de um ano ou mais de 10 é substancialmente inferior ao número de registos do ISP e da ACAP. O número reduzido de veículos pesados mais recentes é justificado pelo intervalo de um ano entre a data de matrícula e a primeira inspeção. O menor número de veículos pesados com mais de 10 anos pode ser explicado pelo elevado número de veículos imobilizados que não são sujeitos a inspeção e, logo, que não contribuem para o volume de circulação nacional. No Inquérito ao Transporte Rodoviário de Mercadorias (ITRM) de 2005 foi estimado em cerca de 28 000 o número de veículos pesados de mercadorias imobilizados com mais de 10 anos de idade e em apenas 15 000 o de veículos com menos de 10 anos (ver subcapítulo 4.7). O facto do número de veículos com idades compreendidas entre os 2 e os 10 anos registado pelo ISP ser inferior ao número de veículos inspeccionados, aponta para uma ausência de apólice de seguro

válida nos veículos efectivamente em circulação. Contudo, esta consideração deve ser verificada em estudos futuros, tendo em conta a diferença considerável verificada entre as várias estatísticas.

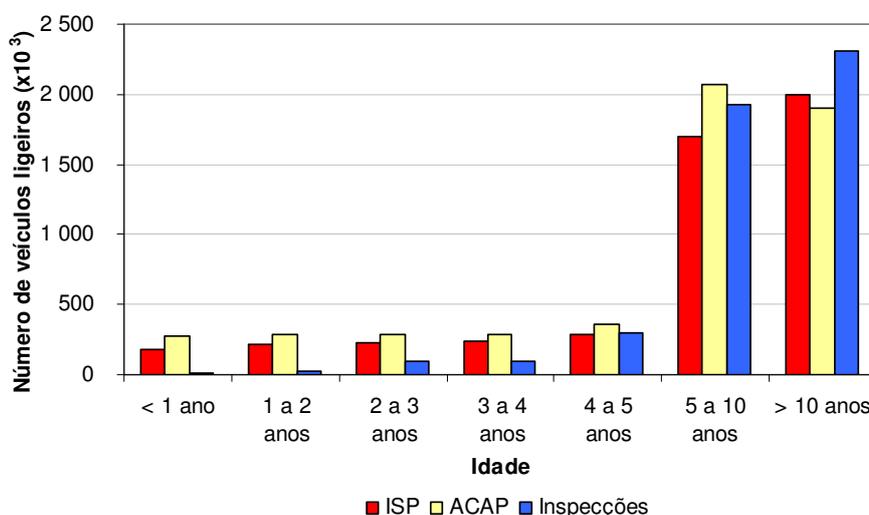
O número de veículos inspeccionados é sempre ligeiramente superior aos registados pela ACAP, excepto nos veículos com mais de 10 anos, possivelmente devido a algum desajuste das curvas de esperança de vida de veículos pesados utilizadas no modelo da ACAP.

Figura 12 | Número de veículos pesados no parque nacional consoante a idade (2006)



Já relativamente aos veículos ligeiros, a periodicidade das inspeções obrigatórias faz com que os veículos com menos de 4 anos de idade não tenham uma representação adequada no parque automóvel inspeccionado. O menor número de veículos com mais de 10 anos de idade na base de dados da ACAP pode eventualmente dever-se a um desajuste da curva de esperança de vida de veículos ligeiros utilizado no modelo de estimação do parque automóvel da ACAP.

Figura 13 | Número de veículos ligeiros no parque nacional consoante a idade (2006)



A Figura 13 ilustra ainda, para a maioria das categorias de idade consideradas, um menor número de veículos registados pelo ISP do que o número de veículos inspeccionados e o registado pela ACAP, evidenciando a existência de veículos sem seguro no parque automóvel nacional em circulação.

Com o intuito de analisar o parque automóvel, foi solicitado junto da DGV um conjunto seleccionado de características de todos os modelos do parque, por ano de matrícula. Esta informação consta na base de dados da DGV referente ao registo e emissão do livrete de cada veículo:

- tipo de combustível;
- peso;
- cilindrada do motor;
- potência do motor;
- comprimento máximo;
- distância entre eixos;
- tipo de utilização do veículo;
- número total de registos no parque automóvel.

Devido ao processo de reestruturação desta instituição, não foi possível obter todos estes dados, comprometendo assim a caracterização completa de todo o parque automóvel matriculado. A DGV forneceu unicamente os dados relativos ao parque registado a 31 de Dezembro de 2006, para veículos matriculados entre 2004 e 2006, sem indicação da potência de cada modelo. A ausência desta informação limita não só a estimação de volumes de circulação, desagregada por tipo de utilização do veículo, como dificulta, também, a definição do número de veículos matriculados antes de 2004 (ver subcapítulo 5.2). Todavia, esta informação permitiu calibrar o parque automóvel em circulação em 2006, no que diz respeito aos veículos mais recentes.

A tarefa de estimar o parque automóvel circulante revela-se bastante complexa, exigindo o cruzamento de informação de fontes diversas e a definição de critérios e hipóteses simplificativas que inevitavelmente vão influenciar consideravelmente o valor final.

O processo de definição do parque automóvel utilizado na estimação de volumes de circulação é apresentado no subcapítulo 5.2.1. Este processo foi baseado em três fontes de informação sobre registo de veículos em Portugal: registo de veículos inspeccionados em 2004, 2005 e 2006; registos do parque automóvel nacional da ACAP nos anos de 2004, 2005 e 2006; e os registos da DGV em relação aos veículos mais recentes (matriculados em 2004, 2005 e 2006).

4.4 Postos de Contagem

- **Postos da Rede Rodoviária Nacional (RRN)**

Existem registos de contagens de tráfego na RRN desde o início do século passado; no entanto, só em 1955, começaram a ser realizados recenseamentos com carácter periódico e sistemático ao nível nacional pela Junta Autónoma de Estradas. A partir de 1990, os recenseamentos quinquenais realizados até então foram abrangidos pelo sistema NORIRN (Nova Organização dos Recenseamentos Quinquenais e Contagens Permanentes nas Infra-estruturas Rodoviárias Nacionais), introduzindo contagens nos anos intermédios, alterando o respectivo método de contagem e os modelos numéricos utilizados na estimação de fluxos de tráfego [43]. Em 1997 foram introduzidas alterações no NORIRN tendo em conta, a calibração de novos modelos de estimação, o melhoramento da aplicação informática associada, o maior número de postos considerados e as alterações na RRN.

No âmbito de uma colaboração entre o Instituto das Estradas de Portugal (IEP) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o sistema de recenseamentos de tráfego foi reformulado, dando origem ao sistema actualmente em vigor. Assim, desde 2000, os dados de tráfego publicados pelo IEP e posteriormente pela EP nos Recenseamentos Gerais de Tráfego (RGT), são baseados em contagens de tráfego de postos manuais e postos permanentes ([44] e [51]).

Os períodos e métodos de contagem e os processos de estimação do Tráfego Médio Diário (TMD) variam consoante os 4 tipos de posto existentes [51]: Postos Automáticos, Postos Principais com contagem nocturna, Postos Principais sem contagem nocturna e Postos de Cobertura. Para cada posto recenseado são obtidos vários TMD, consoante o período de referência e desagregados por diferentes categorias de veículos (ver Quadro 6): TMD_{DIURNO} , $TMD_{NOCTURNO}$, $TMD_{VERÃO}$, $TMD_{INVERNO}$, $TMD_{DIA\ UTIL}$, TMD_{ANUAL} . Como foi referido no subcapítulo 3.2.1 este tipo de informação é fundamental na desagregação de volumes de circulação por determinados períodos de tempo, sobretudo face à ausência de inquéritos ao nível nacional. Todavia, a UNECE não considera no seu manual esta desagregação de volumes de circulação como fundamental nas estatísticas a publicar por cada país [89].

Como foi referido no subcapítulo 3.2.4, as leituras de conta-quilómetros, que constituem a principal fonte de informação utilizada na estimação de volumes de circulação proposta no presente trabalho, não permitem qualquer tipo de desagregação por tipo de estrada. Pretende-se assim evidenciar, através de uma análise adequada à natureza do estudo aqui apresentado, que os postos de contagens da rede nacional constituem uma fonte de informação complementar a ter em conta na execução desta tarefa.

Quadro 6 | Classificação geral de veículos segundo o IEP (adaptado de [32])

Categoria	Veículos	
A	Velocípedes (cilindrada $\leq 50 \text{ cm}^3$)	Sem motor auxiliar
B		Com motor auxiliar
C	Motociclos (cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$)	
D	Veículos ligeiros	Passageiros
E		Mercadorias
F	Veículos pesados de mercadorias	Camião sem reboque
G		Camião com reboque
H		Tractor com reboque ou semi-reboque
I	Veículos pesados de passageiros	
J + K	Tractores agrícolas, tractores sem reboque ou semi-reboque e veículos especiais	

Nos RGT realizados em 1990, 1995 e entre 2000 e 2003 foram usados um total de 736 postos de contagem. Muitos destes postos já não fazem, hoje em dia, parte da RRN, devido à evolução desta decorrente das alterações que o Plano Rodoviário Nacional (PRN) foi sofrendo ao longo dos anos.

Adicionalmente, tendo em conta que neste trabalho se pretende estimar volumes de circulação para os anos de 2004, 2005 e 2006, foram unicamente considerados os postos com contagens com informação disponível para o período entre 2000 e 2003, desprezando anos de contagem muito afastados dos anos de estimação. Foram ainda excluídos mais 15 postos para os quais não foi possível definir as características do trecho de via correspondente. Isto deveu-se ao facto da base de dados recolhida para as características da RRN estar incompleta (ver subcapítulo 4.5). Esta correspondência entre o posto e as características da via, apresentada no subcapítulo 5.2.2, é fundamental na desagregação dos volumes de circulação segundo vários tipos de estrada.

Foram, assim, utilizados dados de apenas 560 postos de RGT, correspondentes a uma amostra de 7 346 km da RRN. Esta amostra inclui 55 postos em auto-estradas (AE), 34 em Itinerários Principais (IP), 111 em Itinerários Complementares (IC), 254 em Estradas Nacionais (EN) e 106 em Estradas Regionais (ER). Importa referir que as AE constituem uma categoria do PRN associadas a IP ou IC. Neste estudo as AE constituem uma categoria totalmente independente dos restantes IP e IC tendo em conta as respectivas características geométricas particulares.

A lista dos postos de contagem utilizados encontra-se no Anexo I.

- **Postos em estradas não classificadas**

No contexto actual, a utilização de contagens em postos de estradas não classificadas na estimação de volumes de circulação não é possível. De facto, enquanto que para as estradas da RRN as contagens são realizadas no âmbito de planos de contagem sistemática, tais como os RGT, as estradas municipais ou privadas, não são, salvo raras excepções, alvo de contagens sistemáticas e organizadas. A estimação de volumes de circulação em estradas locais tem sido alvo de investigação nos últimos anos, sobretudo nos Estados Unidos onde as autoridades estaduais são responsáveis por tais estimativas [59] e [58].

Em Portugal, a cidade de Lisboa e a cidade do Porto contam com sistemas de gestão de tráfego que lidam inevitavelmente com contagens sistemáticas na rede urbana. O sistema GERTRUDE da Câmara Municipal de Lisboa é um sistema de regulação de tráfego que permite a gestão da circulação em tempo real, através de 80 postos de contagem automática na rede e da semaforização controlada. Sistemas como este, constituem uma fonte de informação de interesse para a estimação de volumes de circulação em zonas urbanas. Todavia, eles cobrem apenas algumas parcelas específicas das respectivas redes, com características muito particulares, sendo delicada a utilização das respectivas estimativas como referência em outras zonas urbanas do país. Acresce que parcela considerável dos detectores não efectuam contagens com classificação de veículos, mas mera detecção de ocupação de via.

Para além destes sistemas automáticos, existem na maioria das Câmaras Municipais do país, estudos ocasionais de tráfego, normalmente relacionados com intervenções urbanísticas de impacto significativo na utilização da infra-estrutura rodoviária. Estes estudos podem ser utilizados na estimação de volumes de circulação das estradas não classificadas; constituem, porém, uma fonte de informação pontual, de difícil integração num procedimento de estimativa sistemática.

No presente trabalho não foi utilizada informação proveniente de medições directas por postos de contagens de estradas não classificadas, sendo o volume de circulação destas estradas estimado através da diferença entre o volume total estimado a partir das inspecções técnicas recolhidas e o volume de circulação na RRN obtido através dos postos de contagem em RGT. Todavia, salienta-se desde já a importância em melhorar o nível de informação recolhida sistematicamente na rede não classificada.

4.5 Rede Rodoviária

A rede de estradas portuguesa é composta pela RRN e pelas estradas não classificadas, maioritariamente de natureza municipal ou privada. Até 1985, as políticas de ordenamento do território no que diz respeito a políticas rodoviárias estavam definidas no Plano Rodoviário Nacional (PRN) de 1945. O PRN de 1985 veio satisfazer a necessidade de alteração da estrutura rodoviária nacional, devido ao crescimento do volume de circulação automóvel, da disponibilidade económica face à entrada da UE e à alteração acelerada da ocupação do território português. Após mais de 10 anos de

aplicação do PRN de 1985, procedeu-se à sua revisão com o PRN 2000 [51], mantendo os principais objectivos, mas introduzindo inovações com o intuito de melhorar o funcionamento dos sistemas de transportes e desenvolvimento regional. Assim, a RRN do PRN 1985 com 9900 km de extensão foi alargada para cerca de 16 500 km, sendo acrescentadas as categorias de AE e ER às então existentes EN, IP e IC. O trabalho aqui apresentado segue as definições das várias categorias especificadas no PRN 2000 [51].

O PRN 2000 encontra-se ainda em vigor, estando no final de 2005, construídos, segundo as publicações do Instituto Nacional de Estatística (INE), 12 661 km no continente português (ver Quadro 7).

Quadro 7 | Extensão da RRN construída (em km)- (fonte: INE)

Ano	RRN							Estradas a municipalizar		
	Total	Rede fundamental		Rede complementar			ER	Total	Transferidas	A transferir
		IP		IC		EN				
		2 FR ²	1 FR ²	2 FR ²	1 FR ²					
2005	12 661	1 529	429	840	454	4 909	4 500	7 848	4 757	3 091
2004	12 689	1 463	522	662	632	4 910	4 500	7 987	4 625	3 362
2003	12 589	1 434	515	594	635	4 910	4 500	7 810	3 880	3 930
2002	12 399	1 309	520	543	618	4 909	4 500	7 768	3 730	4 038
2001	12 010	1 168	326	496	611	4 909	4 500	7 647	3 466	4 181

No âmbito de um protocolo de colaboração entre o LNEC, a EP e a DGV que visa “desencadear a aplicação regular do método de detecção de zonas de acumulação de acidentes” [7], foi criada uma base com as características geométricas de todos os trechos da RRN de 2005. Contabilizando um total de 1 542 trechos e 14 358 km (16 502 km quando contabilizadas as extensões por faixa de rodagem), esta base disponibiliza, para cada trecho, a seguinte informação de interesse para este trabalho: **identificação da via**, o **quilómetro inicial**, o **quilómetro final**, o **número de faixas de rodagem**, a **largura da faixa**, a **percentagens da extensão com 1, 2 e 3 vias** e uma **estimação do TMDA de 2005**, feita pela EP. De forma a facilitar a compreensão de todo o processo de tratamento de dados efectuado e a apresentação do método de estimação proposto, a informação constante nesta base será designada doravante por *BASE RRN*.

Existe, assim, uma diferença de cerca de 1 700 km entre a extensão total da *BASE RRN* com os números apresentados pelo INE para 2005. Ambos os valores são provenientes da mesma fonte, a EP, mas a provável contabilização de alguns trechos de estradas a municipalizar pode eventualmente

² FR - faixa de rodagem

justificar esta diferença. De facto, os valores da *BASE RRN*, apresentados no Quadro 8, coincidem com os apresentados no PRN de 2000 [51]. No entanto, a definição de uma única base de dados com todas as características relevantes para o efeito, verificada e confirmada pela entidade responsável, torna-se uma necessidade fundamental em estudos futuros em que se recorra aos postos de contagem como fonte de informação.

Quadro 8 | Características da RRN segundo a *BASE RRN*

Categoria	Nº de trechos	Extensão
AE-IP	168	1374.684
AE-IC	142	587.062
IP-2FR ²	22	80.873
IC-2FR ²	29	101.666
IP-1FR ²	73	818.552
IC-1FR ²	205	2163.152
EN	557	4924.859
ER	346	4307.503
TOTAL	1542	14358.351

A *BASE RRN* apresenta assim as duas principais variáveis na estimação de volumes de circulação por trecho : a **extensão** e o **TMDA**.

$$(12) \quad VC_{trecho_i} = (km_{final} - km_{inicial}) \times TMDA_{trecho_i} \times 365^3$$

Onde:

- VC_{trecho_i} – Volume de circulação anual em 2005 do trecho i ;
- km_{final} e $km_{inicial}$ – Quilómetro final e inicial do trecho i ;
- $TMDA_{trecho_i}$ – Tráfego Médio Diário Anual do trecho i , indicado na *BASE RRN*.

Assim, a informação constante na *BASE RRN* permite não só quantificar o volume de circulação na da RRN em 2005 para todos os trechos, como também, quando conjugado com a informação dos postos de contagem (ver subcapítulo 4.4), estimar o volume total na RRN associado a diferentes tipos de veículo e por categoria de estrada. De facto, a utilização de informação referente às características da rede é fundamental nos métodos de estimação baseados em postos de contagem apresentados no subcapítulo 3.3, tanto para o dimensionamento de amostras de contagens como no método de

³ Em anos bissextos o número de dias utilizado na expressão é de 366

cálculo do volume desagregado por tipo de estrada. No subcapítulo 5.2.2. é apresentado o método de estimação do volume de circulação por tipo de estrada, recorrendo entre outras variáveis à informação relativa a características da estrada constante na *BASE RRN*.

4.6 Consumos de combustíveis

Tal como foi referido no subcapítulo 3.2.3, os consumos de combustíveis são utilizados frequentemente como elemento de calibração dos modelos de estimação de volumes de circulação, sendo, nestes casos, imprescindível a definição das seguintes variáveis:

- Consumo total anual (habitualmente representado pelo volume de vendas de combustíveis);
- Consumos médios de combustíveis (usualmente em l/km), por tipo de veículo.

Em certos modelos mais pormenorizados, como o utilizado na Alemanha ([72] e [73]), os consumos médios são estimados a partir da medição directa de uma amostra de veículos. Informação desta natureza não está actualmente disponível em Portugal. Todavia, tal como foi referido no subcapítulo 3.2.3, desde 2000 existe informação referente aos consumos de combustível instantâneos, para determinados modelos de automóveis novos. Estes consumos são, no entanto, fornecidos pelos construtores, não constituindo uma medição directa dos consumos reais, os quais variam inevitavelmente com o tipo de tráfego tipo de condução, as características da rede, o estado do veículo e as condições atmosféricas.

A ausência de dados relativos ao consumo de automóveis mais antigos e aos restantes tipos de veículos (pesados, motociclos...) faz com que a utilização dos consumos instantâneos de veículos novos recolhidos pela ACAP seja bastante limitada em análises de âmbito mais alargado. A fim de ter em conta todas estas condicionantes, recorre-se frequentemente a modelos gerais de estimação de consumos de combustíveis habitualmente associados a modelos de emissões de poluentes ou a modelos de estimação de custos de utilização de redes rodoviárias.

Actualmente existem alguns modelos de âmbito internacional que cobrem a realidade portuguesa, tal como o modelo COPERT [53], ou mais recentemente o TREMOVE [12]. Alguns modelos mais pormenorizados têm sido desenvolvidos recentemente no quadro da investigação nacional, estudando sobretudo os consumos e as emissões de poluentes para determinado tipo de veículos ou de cenários de circulação, tais como o estudo de Silva, C. [60], em 2005, ou de Vasconcelos, A. em 2006 [92].

Relativamente às vendas anuais de combustíveis, a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) publica as vendas mensais e anuais ao nível nacional, em toneladas, por tipo de combustível (ver Quadro 9).

No presente trabalho a informação relativa a consumos de combustíveis não é utilizada como elemento de estimação nem de calibração na estimação de volumes de circulação. Os registos de vendas de combustíveis da DGEG são utilizados como elemento de validação das estimativas de volume de circulação obtidas através das inspecções técnicas recolhidas junto da DGV. O método

utilizado na validação dos volumes de circulação estimados, através dos consumos de combustíveis, é apresentada no subcapítulo 5.2.3. Os modelos pormenorizados de estimação de consumos instantâneos acima referidos não são alvo de análise aprofundada nesta dissertação. Contudo, salienta-se a importância de uma análise dos métodos actualmente disponíveis cuja principal fonte de informação seja o consumo de combustível, tendo em vista a estimação ou calibração de modelos de estimação de volumes de circulação nacionais.

Quadro 9 | Consumos de combustíveis em Portugal (fonte: DGEG)

(toneladas)	2004	2005	2006
Gasóleo	4,930,826	4,915,265	4,761,420
Gasolina	1,927,119	1,808,130	1,678,058
Gás Auto	20,134	21,634	20,160

4.7 Inquéritos ao transporte rodoviário de veículos pesados

A preocupação na recolha de dados estatísticos relativamente ao transporte de mercadorias ao nível europeu surgiu em 1969, através da Directiva Comunitária 69/467/EEC [8], segundo a qual os estados membros da Comissão Económica Europeia (CEE) devem recolher estatísticas anuais sobre o transporte de mercadorias ao nível regional.

A evolução das condições de mobilidade e do tipo de cargas no transporte de mercadorias fez com que a Directiva de 1969 fosse alvo de várias alterações, dando origem à Directiva Comunitária 98/1172/EC [10] actualmente em vigor. Esta Directiva obriga à recolha e comunicação de dados relativos aos veículos, aos percursos e às cargas do transporte rodoviário de mercadorias efectuado por veículos matriculados na UE, a fim de satisfazer a necessidade de estatísticas comparáveis, confiáveis, sincronizadas, regulares e completas sobre a dimensão e a evolução deste tipo de transporte. Os dados recolhidos devem permitir uma comparação com os respeitantes aos outros modos de transporte e permitir desagregar os transportes nacionais dos transportes internacionais.

Dando cumprimento à Directiva Comunitária 98/1172/EC [10] foi criado, em Portugal, o ITRM, que permite recolher um conjunto de informações estatísticas relativas ao transporte rodoviário de mercadorias, efectuado por meio de veículos matriculados em Portugal. Um dos dados recolhidos pelo ITRM é o número de “quilómetros percorridos no total, durante o período do inquérito”, juntamente com uma série de variáveis que permitem a desagregação das distâncias percorridas por tipo de veículo (idade e peso), tipo de transporte (nacional ou internacional) e ainda consoante o tipo de carga. Este inquérito, da responsabilidade do INE, é de periodicidade trimestral, com âmbito geográfico ao nível do Continente.

Os resultados do ITRM são publicados anualmente, sendo a última publicação referente ao ano de 2005, não existindo, assim, à data da realização desta dissertação, informação sobre o ano de 2006.

No Quadro 10 são apresentados os principais valores do volume de circulação estimado a partir do ITRM.

Quadro 10 | Distância percorrida por veículos pesados de mercadorias por tipo de parque e tipo de transporte (fonte: INE)

(10 ⁶ vkm)		2004	2005
Total	Total	3 832	3 987
	Transporte nacional	2 277	2 309
	Transporte internacional	1 555	1 678
Por conta de outrem	Total	2 507	2 680
	Transporte nacional	1 084	1 126
	Transporte internacional	1 423	1 555
Por conta própria	Total	1 325	1 307
	Transporte nacional	1 193	1 184
	Transporte internacional	132	123

O parque considerado nas estatísticas do ITRM de um determinado ano *n* é o parque existente a 31 de Dezembro no ano (*n*-2), estimado a partir de informação de várias fontes administrativas. Nos ITRM de 2004 e 2005 foram considerados parques com um total de 99 538 e 110 597 veículos pesados, respectivamente. No Quadro 11 são apresentadas as principais características das amostras consideradas nos ITRM de 2004 e 2005.

Quadro 11 | Amostra considerado no ITRM de 2004 e 2005 (fonte: INE)

(nº de veículos)	Amostra total	Questionários recebidos				Sem resposta
		Total	Com movimento	Veículos imobilizados	Veículos a abater	
2004	29 611	21 408	10 840	6 996	3 572	8 203
2005	29 631	20 931	10 250	6 767	3 914	8 700

A caracterização das distâncias percorridas por veículos pesados de mercadorias estimadas a partir do ITRM permite a desagregação segundo diversas categorias de peso (ver Quadro 12), elemento considerado como essencial na caracterização desagregada do volume de circulação ao nível nacional [89].

Os dados do ITRM publicados pelo INE, constituem uma fonte de informação bastante pormenorizada sobre a circulação de um segmento muito específico do parque rodoviário nacional. Estes dados

podem ser usados em modelos de estimação de volumes de circulação ao nível nacional, sempre que os veículos não cobertos pelo inquérito disponham de métodos alternativos de estimação. Nestes casos, deverá ser tida em atenção uma separação precisa dos diferentes volumes de circulação associados a cada tipo de veículos, a fim de evitar a contabilização dos mesmos veículos nas várias estimações de volumes de circulação segundo diferentes fontes de informação.

Importa referir, ainda, que na óptica de uma recolha sistemática de informação sobre a circulação de veículos pesados de passageiros, deixou-se de realizar em 2002, o Inquérito ao Transporte Rodoviário de Passageiros (ITRP). Tratou-se de um inquérito anual, com período de inquirição de cada veículo de uma semana, de âmbito nacional (excluindo os veículos de transporte urbano de passageiros das cidades de Lisboa e Porto) abrangendo apenas os veículos por conta de outrem. A definição do parque de veículos a considerar no inquérito seguiu um procedimento semelhante ao do ITRM, tendo sido estimados 11 351 veículos pesados de passageiros, para o ano de 2002. Para este conjunto de veículos foi estimado um volume de circulação total de 3.275×10^8 vkm.

Quadro 12 | Categorias de peso na desagregação de veículos pesados de mercadorias no ITRM (fonte: INE)

Tipo de veículo	Escalão de peso bruto
Camiões	3501 a 10000 kg
	10001 a 16000 kg
	16001 a 19000 kg
	19001 a 22000 kg
	22001 a 26000 kg
	Mais de 26000 kg
Tractores	3501 a 5000 kg
	5001 a 7000 kg
	Mais de 7000 kg
Comboios Rodoviários	3501 a 26000 kg
	26001 a 37000 kg
	37001 a 40000 kg
	Mais de 40000 kg
Veículos Articulados	3501 a 26000 kg
	26001 a 29000 kg
	29001 a 38000 kg
	38001 a 40000 kg
	Mais de 40000 kg

No método proposto no subcapítulo 5.2 desta dissertação, as distâncias percorridas por veículos pesados para o caso português são estimadas a partir das leituras de conta-quilómetros realizadas em centros IPO, recolhidas junto da DGV. Contudo, a ordem de grandeza dos valores dos volumes de circulação estimados a partir do ITRM e ITRP é comparada com as estimativas obtidas pelas leituras de conta-quilómetros, no subcapítulo 5.5.

5.1 Preâmbulo

A inexistência de estimativas sistemáticas de volumes de circulação para o caso português constitui uma lacuna importante na informação necessária em estudos nacionais e internacionais no sector dos transportes. Tal como foi referido no primeiro Capítulo desta dissertação, o volume de circulação constitui uma variável essencial na análise dos impactes do uso do automóvel, tendo suscitado o interesse de vários agentes nacionais e internacionais.

A conjugação da análise dos vários métodos de estimação de volumes de circulação em uso, apresentada no Capítulo 3, com a descrição pormenorizada da informação actualmente disponível em Portugal, apresentada no Capítulo 4, constitui um primeiro passo para o desenvolvimento de um método sistemático de estimação de volumes de circulação ao nível nacional.

Este Capítulo, apresenta os diversos trabalhos realizados no desenvolvimento de um método de estimação de volumes de circulação em Portugal, baseado nas leituras realizadas em inspecções técnicas de veículos. Tal como outros modelos internacionais que recorrem aos registos das leituras em inspecções técnicas como principal fonte de informação, o método proposto nesta dissertação recorre também a informação relativa às características dos veículos, ao parque automóvel nacional, a postos de contagem na RRN e, ainda, aos consumos nacionais de combustíveis como variável de validação. O método proposto foi utilizado, em regime piloto, na estimação dos volumes de circulação para os anos de 2004, 2005 e 2006.

Assim, no subcapítulo 5.2 é feita a descrição do método de estimação de volumes de circulação utilizado para o cálculo de estimativas nacionais, para os anos de 2004, 2005 e 2006, recorrendo à informação analisada no Capítulo 4.

No subcapítulo 5.3 referem-se as principais condicionantes e limitações do método apresentado, propondo algumas das medidas necessárias para a sua minimização.

No subcapítulo 5.4 são apresentados os principais resultados obtidos na estimação de volumes de circulação em Portugal, para os anos três anos em análise.

Por último, no subcapítulo 5.5 é feita a validação dos resultados através da comparação com as estimativas de modelos existentes e da avaliação dos consumos de combustíveis associados ao volume de circulação estimado.

5.2 Método Proposto

A análise dos vários tipos de métodos e a identificação e caracterização da informação actualmente disponível, apresentadas respectivamente no Capítulo 3 e 4, permitiu estabelecer algumas considerações sobre a estimação de volumes de circulação em Portugal.

As cerca de cinco milhões de inspecções realizadas anualmente cobrem entre 65% (em 2004) e 67% (em 2006) do parque automóvel estimado pela ACAP, constituindo uma fonte de informação com elevado potencial na estimação sistemática de volumes de circulação e permitindo a desagregação dos resultados por tipo de veículo. Todavia, tal como foi referido na análise de métodos de estimação de volumes de circulação por leitura de conta-quilómetros apresentada no subcapítulo 3.2.4, o tratamento da informação recolhida em centros IPO, requer, habitualmente, um tratamento delicado e específico para cada veículo. Adicionalmente, estão associadas algumas condicionantes à utilização deste tipo de método, no que diz respeito à estimação de volumes de circulação de veículos que não foram sujeitos a inspecções no ano em análise.

A informação complementar existente em Portugal, nomeadamente as características da RRN e a respectiva informação de tráfego recolhida por postos de contagem, permitem ultrapassar algumas condicionantes associadas à estimação de volumes de circulação através das leituras de conta-quilómetros. De facto, os postos de contagem permitem recolher informação sobre o tráfego de todo o tipo de veículos nas estradas da RRN e possibilitam, quando conjugados com informação sobre a rede viária onde estão situados, a desagregação do volume de circulação por tipo de estrada.

No subcapítulo 5.2.1 referem-se os passos realizados na estimação dos volumes de circulação nacionais, para os anos de 2004, 2005 e 2006, com recurso às leituras de inspecções técnicas como principal fonte de informação.

No subcapítulo 5.2.2 são apresentados os procedimentos utilizados no tratamento da informação recolhida em postos de contagem e na desagregação dos volumes de circulação por tipo de estrada.

Qualquer método de estimação torna-se bastante mais confiável quando validado por estimativas efectuadas com métodos alternativos existentes. Tal como foi referido anteriormente, recorre-se frequentemente ao consumo de combustível como elemento de validação das estimativas dos volumes de circulação, comparando os respectivos consumos totais associados com as vendas nacionais de combustíveis registadas num determinado ano. Assim, no sub capítulo 5.2.3 é apresentado o modelo de estimação de consumos de combustíveis utilizado na validação dos volumes de circulação calculados para 2004, 2005 e 2006.

O elevado número de categorias de veículos consideradas no subcapítulo 5.2.1, dificulta a análise pormenorizada das distâncias médias diárias percorridas e dos volumes de circulação estimados. Efectivamente os 71 grupos de veículos pesados e 260 de ligeiros transformam a leitura e a interpretação de resultados em processos exigentes e delicados.

Assim, é ainda apresentado o modelo simplificado de estimação de distâncias médias diárias percorridas, criado com o intuito de facilitar a análise das distâncias estimadas a partir das leituras de conta-quilómetros recolhidas percorridas.

5.2.1 Estimação dos volumes de circulação por tipo de veículo

As leituras de conta-quilómetros realizadas nas inspecções técnicas a veículos constituem a principal fonte de informação no método proposto para estimação dos volumes de circulação em Portugal, para os anos de 2004, 2005 e 2006. Os dados recolhidos junto da DGV referentes às inspecções realizadas nos três anos em análise e aos respectivos veículos associados, deram origem à *BASE VEÍCULOS* e à *BASE LEITURAS*, já descritas no subcapítulo 4.2. O tratamento destas duas bases para a obtenção de estimativas de volumes de circulação ao nível nacional, por tipo de veículo seguiu os seguintes passos:

- **Passo 1:** Detecção de veículos com distâncias percorridas negativas e correcção dos casos associados à limitação do número de dígitos do conta-quilómetros;
- **Passo 2:** Cálculo da distâncias diárias médias percorridas por cada veículo inspeccionado, do número de inspecções realizadas e dos dias decorridos entre inspecções, para os anos de 2004, 2005 e 2006;
- **Passo 3:** Definição das categorias de veículos a considerar;
- **Passo 4:** Definição e eliminação de *outliers* por categoria de veículos;
- **Passo 5:** Determinação das distâncias médias percorridas para cada categoria de veículos considerada, relativamente ao anos em análise (2004, 2005 e 2006);
- **Passo 6:** Estimação dos volumes de circulação nacionais em 2004, 2005 e 2006 para cada categoria de veículos considerada.

Passo 1

A detecção de veículos com distâncias percorridas negativas e a correcção de erros associados à limitação do número de dígitos no mostrador de conta-quilómetros foi efectuada de forma automática, recorrendo a programação em *Visual Basic*. Na tentativa de distinguir os erros associados ao limite de dígitos do conta-quilómetros dos outros erros, foram estabelecidos critérios relativos ao número de dígitos e ao valor das leituras erróneas a corrigir (ver Figura 14).

Apenas foram corrigidos os registos que apresentassem, em simultâneo:

- Leituras sucessivas correspondendo a distâncias percorridas negativas;
- A maior leitura registada para um determinado veículo com pelo menos cinco dígitos;
- Leitura anterior à leitura errónea superior a um valor mínimo estipulado - 49 999 km e 699 999 km, para mostradores com cinco e seis dígitos respectivamente.

A definição de um valor mínimo para a leitura anterior à leitura errónea, prende-se com a limitação de distância percorrida entre duas inspeções, tendo em atenção as distâncias normalmente percorridas por veículos ligeiros e pesados. Os veículos com leituras sucessivas associadas a distâncias percorridas negativas que não verificam as restantes condições de correcção foram eliminados da *BASE VEÍCULOS*. Importa referir desde já que alguns dos valores corrigidos foram posteriormente excluídos, devido aos critérios estabelecidos no Passo 2.

A correcção dos registos com distâncias percorridas negativas ficaria melhorada com a análise individual de cada registo, detectando mais facilmente os erros específicos, associados ao limite de dígitos de conta-quilómetros, erros de repetição ou esquecimento de dígitos no registo das leituras ou outros erros eventuais. As múltiplas formas que todos estes erros podem apresentar dificultam a automatização de processos correctivos, excluindo-se, com o método adoptado, alguns veículos inspeccionados que potencialmente poderiam contribuir para a estimação de distâncias percorridas.

Foram, ainda, excluídos os veículos que apresentaram registo de inspeções com data anterior à data de matrícula.

Com este método detectaram-se 256 798 veículos (5,2%) com distância percorrida negativa entre duas inspeções consecutivas, dos quais foram corrigidos 113 863 (44%) e excluídos 142 935 (56%).

Passo 2

As distâncias percorridas foram calculadas através de um método semelhante ao apresentado na Figura 7 do subcapítulo 3.2.4. O cálculo de distâncias anualmente percorridas é baseado na determinação de distâncias médias diárias percorridas (DMDP) consideradas como sendo constantes, entre duas inspeções consecutivas. O valor DMDP entre duas inspeções n e $n+1$, ($D_{med}^{n,n+1}$), é obtido através do quociente entre a diferença das leituras registadas e o número de dias entre as duas inspeções consecutivas. O recurso a estas DMDP é fundamental para a determinação da contribuição de cada par de inspeções para as distâncias anuais médias de cada veículo num dado ano (ver exemplo da Figura 15). Quando existem contribuições de vários pares de inspeções para a DMDP anual de um determinado veículo, é feita uma média ponderada de cada DMDP em função dos respectivos dias do ano cobertos:

$$(13) \quad D_{med}^{n,n+1} = \frac{Leitura^{n+1} - Leitura^n}{dias^{n,n+1}}$$

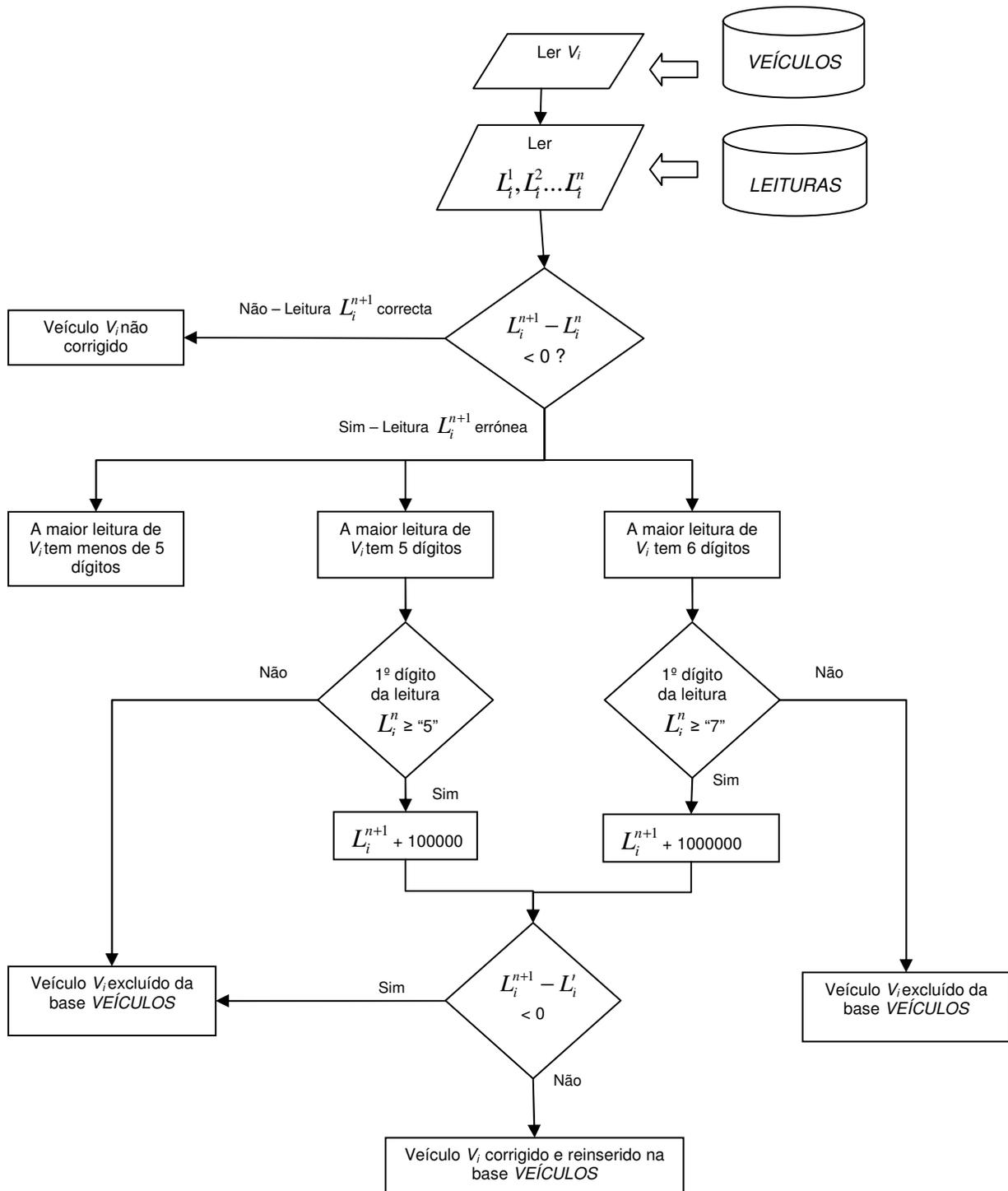
$$(14) \quad D_{med}^i = \frac{\sum_N (D_{med}^{n,n+1} \times dias_{ano_i}^{n,n+1})}{\sum_N dias_{ano_i}^{n,n+1}}$$

Onde,

- D_{med}^i – DMDP no ano i (km/dia);

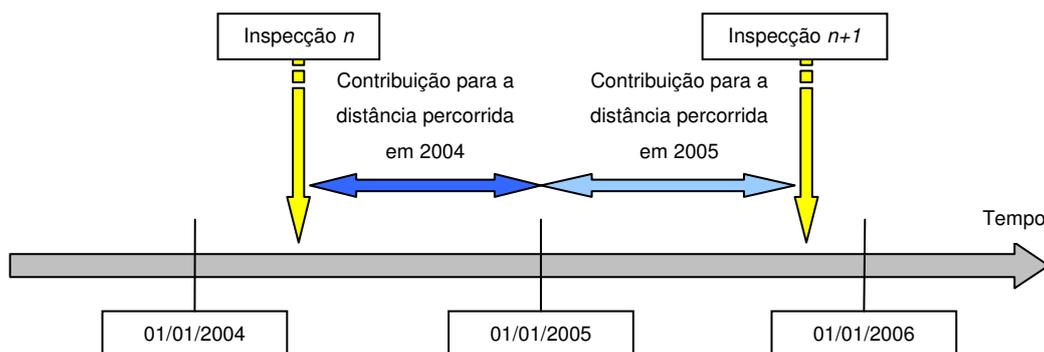
- $D_{med}^{n,n+1}$ – DMDP entre duas inspeções consecutivas com contribuição no ano i (km/dia);
- $dias^{n,n+1}$ – Número de dias entre duas inspeções consecutivas com contribuição;
- $dias_{ano_i}^{n,n+1}$ – Número de dias entre duas inspeções consecutivas com contribuição no ano i ;
- N – número de pares de inspeções com contribuição no ano i ;

Figura 14 | Tratamento de veículos com distâncias percorridas negativas entre duas leituras consecutivas



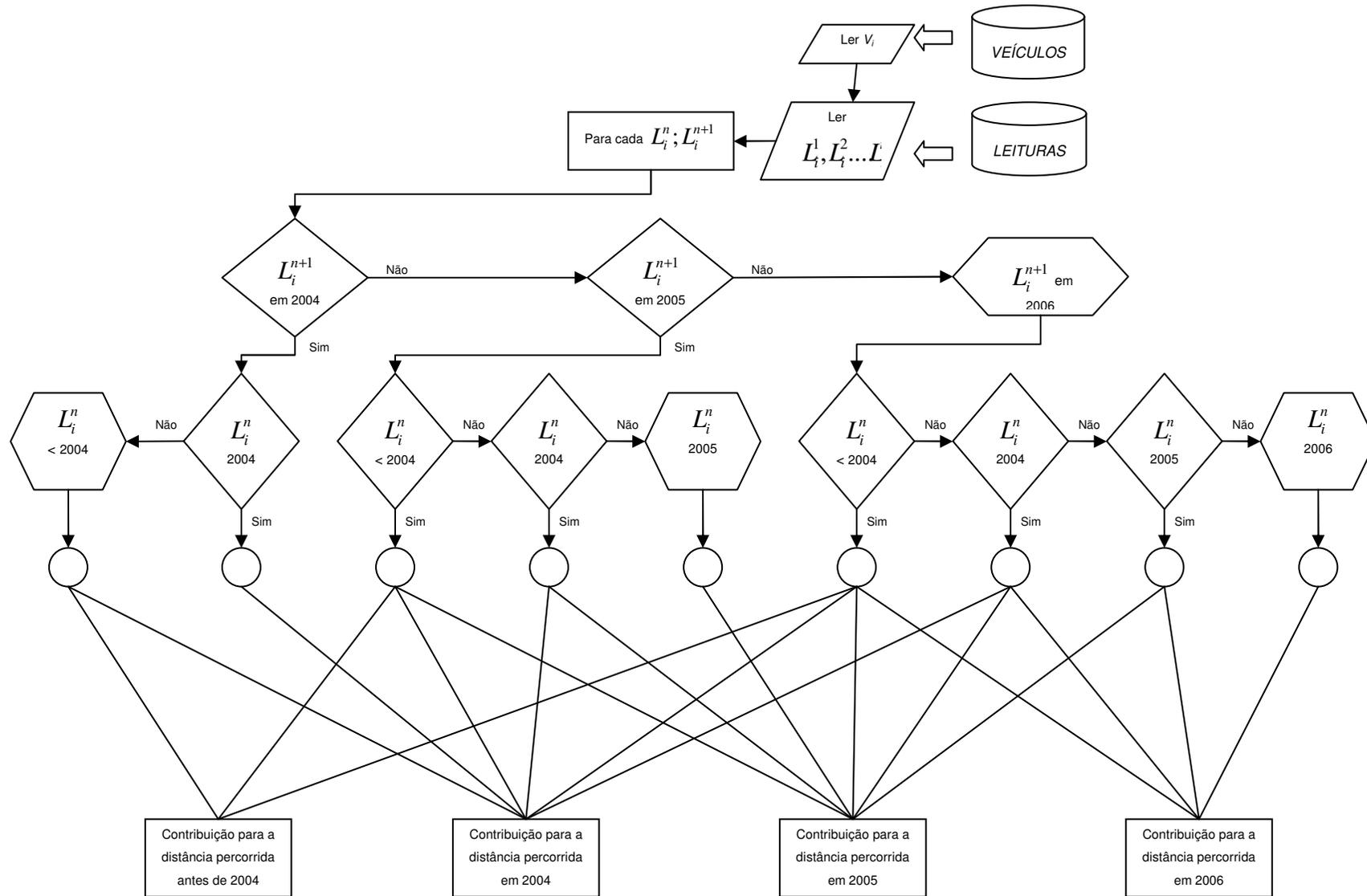
Para além das DMDP para 2004, 2005 e 2006, foram calculados, para cada veículo, o número de inspeções em cada ano e os dias do ano cobertos por inspeções. Esta última variável é essencial na análise das distâncias para 2006, tendo em conta que ainda não foram recolhidas as inspeções de 2007, as quais permitirão uma melhor cobertura do ano de 2006. Foi ainda considerada uma quilometragem nula para a data de matrícula de cada veículo.

Figura 15 | Exemplo da contribuição de inspeções consecutivas no cálculo das DMDP anuais



Existem várias combinações possíveis a ter em conta neste passo, podendo duas leituras consecutivas contribuir para distâncias percorridas de vários anos. Na Figura 16 é esquematizado o processo de determinação das contribuições de cada par de leituras para o cálculo das distâncias anuais de um determinado veículo V_i . O cálculo das distâncias percorridas foi bastante demorado, mesmo recorrendo a algoritmos computacionais em *Visual Basic*, devido ao elevado número de veículos que foram processados (4 757 545 veículos); no total foram necessárias cerca de 6600 computadores x hora.

Figura 16 | Tratamento das leituras para cálculo de distâncias diárias percorridas por cada veículo



Passo 3

A definição de categorias a considerar na desagregação das estimativas dos volumes de circulação apresenta, na sua essência, vários graus de liberdade. A DGV dispõe, na sua base de dados, de diversa informação acerca de cada automóvel matriculado, sendo possível uma desagregação bastante flexível, segundo um determinado lote de variáveis desta base de dados. Esta base contém essencialmente os dados de livrete de cada veículo, tendo sido alvo de várias actualizações ao longo dos últimos anos, que permitem disponibilizar outro tipo de informação, como por exemplo, os consumos instantâneos de combustível de veículos recentes. Foi solicitada à DGV a disponibilização de um conjunto de variáveis a fim de caracterizar todo o parque automóvel (ver subcapítulo 4.3). Dos dados solicitados, obteve-se unicamente informação sobre os veículos matriculados entre 2004 e 2006, impossibilitando a associação dos restantes veículos ao tipo de utilização. A ausência de uma variável relacionada com a utilização do veículo constitui uma lacuna importante na caracterização de volumes de circulação por tipo de veículo. Efectivamente seria fundamental acrescentar este parâmetro para obter uma estimação mais próxima da realidade e valores desagregados em acordo com as tabelas propostas pela UNECE (ver Anexo II).

Tendo em conta a informação recolhida junto da DGV sobre os veículos inspeccionados (ver subcapítulo 4.2) e a dificuldade em utilizar os dados relativos à marca e modelo de cada veículo, as variáveis utilizadas na definição de categorias foram as seguintes: **tipo de veículo, ano de matrícula, peso, cilindrada e tipo de combustível**. Os veículos ligeiros e pesados (tipo de veículo) foram separados à partida, tendo em conta a natureza distinta dos respectivos volumes de circulação. Assim, foram estipuladas categorias relativamente às outras variáveis, *outliers*, e métodos de estimação dos volumes de circulação diferentes para estes dois tipos de veículos. Nos Quadros 13 e 14 são indicadas as categorias de cada variável considerada, para veículos pesados e ligeiros, respectivamente.

Quadro 13 | Categorias de veículos pesados consideradas

Combustível	Peso	Cilindrada	Ano de matrícula
Gasolina	]3500 kg ; 7500 kg[	Todas	≤ 1991
Gasóleo	]7500 kg ; 16000 kg[		1992 – 1996
Gás	]16000 kg ; 32000 kg[		1997 – 2000
Outros	]32000 kg ; 40000 kg[		2001
	≥ 40000 kg		2002
			2003
			2004
			2005
			2006

Quadro 14 | Categorias de veículos ligeiros consideradas

Combustível	Peso	Cilindrada	Ano de matrícula
Gasolina	< 1300 kg	< 1.4 l	≤ 1971
Gasóleo	[1300 kg ; 3000 kg[	1.4 l – 2.0 l	1972 – 1977
Gasolina + Gás	[3000 kg ; 3500 kg]	≥ 2.0 l	1978 – 1980
Outros			1981 – 1985
			1986 – 1991
			1992 – 1996
			1997 – 2000
			2001
			2002
			2003
			2004
			2005
			2006

Estas categorias foram definidas com base na classificação de veículos proposta pela UNECE e pelo modelo COPERT III [53], o qual foi utilizado na validação das estimativas calculadas (ver subcapítulo 5.2.3). A utilização da variável “ano de matrícula” poderia ser substituída pela idade do veículo, o que apesar de indirectamente descrever o mesmo parâmetro, apresenta uma leitura mais adequada das variações associadas à utilização dos veículos. Todavia, a necessidade de referenciar as categorias de veículos aos anos de classes de emissões estipuladas no COPERT III, fez com que se optasse pela utilização da variável “ano de matrícula”.

Passo 4

As leituras de conta-quilómetros são usualmente consideradas como uma tarefa secundária dentro das várias tarefas que constituem uma inspecção técnica [89]. Tal como qualquer outro processo de medição, o registo de leituras em inspecções é susceptível a vários erros: arredondamentos, acrescento ou esquecimento de um dígito ou, ainda, erros de inserção no sistema informático. Adicionalmente, existem situações como a manipulação ilegal de conta-quilómetros ou a alteração da utilização do veículo, que dão origem a registos e estimativas irregulares. Existem, ainda, os valores corrigidos automaticamente no passo anterior que podem ainda apresentar valores irregulares. Todas estas irregularidades podem, no entanto, não apresentar valores atípicos, dificultando a detecção dos erros associados.

A juntar a estas observações irregulares, surgem outros valores atípicos, associados a veículos que, por uma situação particular, apresentam distâncias percorridas muito diferentes da categoria de veículos em que se inserem (é o exemplo dos veículos de coleção que apresentam distâncias anuais percorridas normalmente muito reduzidas relativamente aos restantes veículos).

Todas as observações que se encontrem numericamente afastada de uma determinada distribuição são designadas estatisticamente como *outliers* [52].

Alguns países que utilizam as leituras de conta-quilómetros na estimação de volumes de circulação estabeleceram, na deteção de *outliers*, valores limite para as distâncias percorridas por tipo de veículo. Goh *et al.* [28], por exemplo, excluíram do seu modelo os veículos ligeiros de passageiros com distâncias médias percorridas superiores a 50 000 milhas/ano (220 km/dia) enquanto que o modelo nacional dinamarquês [87] estipula para a mesma categoria o limite de 100 000 km/ano (274 km/dia). Ambos os métodos excluíram igualmente os registos associados a distâncias percorridas negativas, não tendo, todavia, estipulado qualquer valor mínimo para as distâncias percorridas das várias categorias de veículos consideradas.

Quadro 15 | Valores máximos da distância anual percorrida considerados na Dinamarca ([87])

Tipo	Combustível	Peso	Distância Max. (km/ano)
Ligeiro	Todos	Todos	100 000
Táxi	Todos	Todos	200 000
Pesado de Passageiros	Todos	Todos	200 000
Ligeiro de Mercadorias	Gasolina	Todos	100 000
Ligeiro de Mercadorias	Gasóleo	Todos	150 000
Pesado de Mercadorias	Todos	3 500 kg – 6 000 kg	200 000
Pesado de Mercadorias	Todos	> 6 000 kg	250 000
Tractores	Todos	Todos	500 000

Para além destes valores internacionais de referência, existem vários métodos estatísticos de identificação de *outliers*, sendo o mais comum a limitação da distância à mediana:

$$(15) \quad outlier \Rightarrow \begin{cases} Y(x) < Q_1 - 1.5 \times IQR \\ Y(x) > Q_3 + 1.5 \times IQR \end{cases}$$

Sendo:

- $Y(x)$ – valor observado (km/dia);
- Q_1 – O quartil inferior (correspondente ao 25º percentil);

- Q_3 – O quartil superior (correspondente ao 75º percentil);
- IQR – A amplitude inter-quartil ($Q_3 - Q_1$).

Nos Anexos X e XI são apresentados os quartis calculados para cada grupo de veículos resultantes das categorias dos

Quadro 13 e Quadro 14, por ano de estimação (2004, 2005 e 2006). A comparação destes valores com as referências internacionais permitiu estipular os critérios para detecção de *outliers* usados no presente trabalho, apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 | Valores máximos da distância diária percorrida na detecção de *outliers*

Tipo	Idade do veículo	Combustível	Peso	Distância Max. (km/dia)
Ligeiro	≥ 4 anos	Todos	Todos	550
Ligeiro	< 4 anos	Gasóleo	Todos	550
Ligeiro	< 4 anos	Gasolina	Todos	400
Pesado	Todos	Gasóleo	[3 500 kg ; 16 000 kg[	400
Pesado	Todos	Gasóleo	≥ 16 000 kg	900
Pesado	Todos	Gasolina	Todos	400
Pesado	Todos	Outros	Todos	400

Uma definição mais coerente dos valores limite a considerar para as distâncias percorridas passa necessariamente pela associação destes valores à utilização dos respectivos veículos. Com os dados recolhidos neste trabalho seria possível, para determinados anos de matrícula, desagregar alguns veículos consoante a sua utilização, recorrendo às categorias especificadas no plano de inspeções obrigatórias estipulado no DL 554/99 [30]: no caso dos veículos ligeiros, por exemplo, a maioria dos veículos que apresentam uma inspeção técnica um ano após a data de matrícula podem ser considerados como “automóveis utilizados no transporte escolar”, “automóveis ligeiros licenciados para a instrução”, “automóveis ligeiros licenciados para transporte público de passageiros” ou ainda “ambulâncias”. Assim, para as distâncias percorridas em 2005, os veículos matriculados em 2004 que constam na *BASE VEÍCULOS*, inserir-se-iam eventualmente numa destas categorias, tendo em conta que os veículos ligeiros particulares matriculados nesse ano só farão a primeira inspeção em 2008 (4 anos após a data de matrícula). Esta desagregação só é possível para alguns anos e com a agravante de que, no conjunto das inspeções técnicas registadas existem várias que não são inspeções obrigatórias e logo que não obedecem ao plano de periodicidade actualmente em vigor, tendo o autor optado por não realizar esta análise. Em actualizações futuras o acesso a informação complementar sobre a utilização de cada veículo matriculado permitirá prescindir deste tipo de aproximações.

No que diz respeito aos veículos mais recentes (matriculados após 2002), a maioria os veículos ligeiros particulares de passageiros não está sujeita à realização de qualquer inspeção técnica entre 2004 e 2006. Os veículos ligeiros com inspeções realizadas nestes anos constituem veículos com distâncias percorridas elevadas como os táxis, as ambulâncias, automóveis de instrução e veículos ligeiros de mercadoria. Efectivamente, ao comparar os limites obtidos através da distância à mediana (Equação 15), foram observadas diferenças consideráveis entre os veículos ligeiros mais recentes e os mais antigos (ver Anexos X e XI). Assim, a idade foi considerada como parâmetro a ter em conta na definição dos *outliers*, diferenciando os limites máximos para as distâncias percorridas por veículos recentes das distâncias de veículos antigos (ver Quadro 16). Considerou-se o valor limite de 550 km/dia para veículos com mais de quatro anos de idade, tendo em conta a dificuldade em diferenciar os veículos ligeiros particulares de passageiros dos restantes veículos ligeiros. No entanto, refere-se que os limites calculados através das distâncias à mediana apontam para valores consideravelmente inferiores (cerca de 250km/dia).

As DMDP anuais calculadas para cada veículo que ultrapassam estes valores foram excluídas da amostra utilizada na estimação de volumes de circulação. Extraídos estes valores atípicos das DMDP e os respectivos veículos associados em cada ano de estimação, a *BASE VEÍCULOS* é constituída então por 4 607 461 veículos ligeiros e 134 897 pesados (ver Quadro 17). Esta é a base final utilizada na estimação de volumes de circulação nacionais, relativa aos anos de 2004, 2005 e 2006

Quadro 17 | Tratamento da base *VEÍCULOS*

	Nº total de veículos	Nº de veículos ligeiros	Nº de veículos pesados
Base inicial (DGV)	5 030 034 ⁴	4 754 079	196 585
Veículos com os campos <i>data de matrícula</i> , <i>peso</i> , <i>cilindrada</i> e <i>combustível</i> preenchidos	4 900 550	4 754 079	146 471
Veículos para os quais foram calculadas as distâncias percorridas (Passo 2)	4 757 545	4 620 666	136 879
Veículos utilizados na estimação de volumes de circulação (Passo 5)	4 742 358	4 607 461	134 897

Passo 5

Tendo em conta os critérios de identificação de veículos enunciados no Passo 3 do presente subcapítulo, foram obtidos 71 grupos de veículos pesados e 260 de veículos ligeiros com pelo menos um registo na *BASE VEÍCULOS*. Alguns grupos contêm um número bastante reduzido de veículos. Estes grupos de representação pouco expressiva no parque automóvel inspeccionado foram mantidos

⁴ 79 370 veículos não apresentam indicação do respectivo peso, inviabilizando a sua classificação como veículo ligeiro ou pesado

até à estimação final dos volumes de circulação, visto que constituem grupos que constam no parque automóvel nacional em circulação. Todavia, é conveniente que, em modelos futuros, eles possam ser agregados a categorias mais importantes, tendo em conta que não contribuem de forma significativa para o volume total de circulação nacional.

Assim, para cada grupo de veículos foram calculados os seguintes parâmetros:

- número total de veículos inspeccionados utilizados na estimação, para os três anos considerados (2004, 2005 e 2006);
- média e desvio padrão das DMDP de 2004, 2005 e 2006;
- média e desvio padrão do número de inspeções por veículo, para os três anos considerados. Importa referir que este valor não define o número médio de inspeções por veículo num determinado ano, mas sim o número médio de inspeções por veículo utilizado na estimativa desse ano. Assim, um veículo que tenha sido inspeccionado apenas em 2004 e em 2006 contribui, à partida, para a estimativa das DMDP de 2005;
- média e desvio padrão do número de dias do ano cobertos. Esta variável é relevante para avaliar a confiabilidade das estimativas de DMDP para cada um dos grupos considerados. O facto de apenas terem sido recolhidos dados das inspeções de 2004, 2005 e 2006, faz com que o ano de 2006 nunca tenha cobertura total em qualquer categoria de veículos. Para tal, será necessário recolher as inspeções realizadas em anos futuros.

Tendo em conta o elevado número de grupos utilizados na desagregação da *BASE VEÍCULOS*, optou-se por apresentar os resultados obtidos apenas no volume de Anexos, separados por ano de estimação e para veículos ligeiros e pesados (ver Anexos IV a IX). As DMDP anuais por grupo de veículos apresentadas nestes Anexos foram utilizadas na estimação de volumes de circulação nacionais para o período entre 2004 e 2006, apresentada no **Passo 6**.

Em complemento, apresenta-se, no subcapítulo 5.2.4 desta dissertação, um modelo simplificado de estimação de DMDP, obtido através de uma análise de variância (ANOVA) dos registos da *BASE VEÍCULOS* e da *BASE LEITURAS*. Este modelo foi desenvolvido com o intuito de permitir não só, uma análise facilitada das distâncias percorridas por tipo de veículo, como também de facultar estimativas simplificadas e mais acessíveis destas distâncias.

Passo 6

Estimadas as DMDP anuais para cada categoria de veículos, foram estimados os respectivos volumes de circulação anuais, para os três anos considerados, tendo como base o número total de veículos por categoria.

Assim, este passo é constituído por três tarefas distintas:

- **definição do parque automóvel a considerar;**

- **correção das DMDP anuais devido a erros de amostragem associados ao sistema de inspeções obrigatórias;**
- **estimação final dos volumes de circulação por grupo de veículos.**

Estas três tarefas foram realizadas separadamente para veículos pesados e ligeiros, tendo em conta as diferenças das características de circulação associadas.

No Quadro 18 são indicados, para cada ano de matrícula, os veículos que realizaram inspeções em 2004, 2005 e 2006, por categoria de veículo. Segundo o DL 554/99 [46] só algumas categorias de veículos matriculados após 1997 foram sujeitos a inspeções periódicas nos 3 anos em análise, existindo grupos de veículos matriculados a partir de 2002 que não foram sequer sujeitos a nenhuma inspeção periódica obrigatória entre 2004 e 2006.

Quadro 18 | Veículos inspeccionados em 2004, 2005 e 2006, por ano de matrícula segundo o DL 554/99 [46]

Ano de Matrícula	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997
Automóveis pesados de passageiros		●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Automóveis pesados de mercadorias		●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Reboques e semi-reboques com peso bruto superior a 3500 kg, com excepção dos reboques agrícolas		●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Automóveis ligeiros licenciados para transporte público de passageiros e ambulâncias		●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Automóveis ligeiros de mercadorias			●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Automóveis ligeiros de passageiros					●	●	●●	●	●●	●●
Automóveis utilizados no transporte escolar e automóveis ligeiros licenciados para a instrução		●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Restantes automóveis ligeiros			●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Automóveis pesados e reboques com peso bruto superior a 3500 kg, utilizados por corporações de bombeiros e suas associações e outros que raramente utilizam a via pública, designadamente os destinados a transporte de material de circo ou de feira, reconhecidos pela DGV		●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●

Nota: ● – Veículos inspeccionados em 2006; ● – Veículos inspeccionados em 2005; ● – Veículos inspeccionados em 2004;

Através do Quadro 18, é possível verificar, desde logo, que o tratamento do parque automóvel de veículos ligeiros deve ser distinto do aplicado ao de veículos pesados.

As páginas que se seguem visam descrever pormenorizadamente as três tarefas que constituem o processo de estimação de volumes de circulação, separadamente para veículos pesados e ligeiros.

Veículos Pesados

Relativamente ao processo de estimação do parque circulante, os veículos pesados diferem dos veículos ligeiros pelo facto de apresentarem uma maior frequência de inspecções técnicas, permitindo uma maior cobertura do respectivo parque em circulação. De facto, segundo o plano de inspecções obrigatórias do DL 554/99 [46], os veículos pesados são inspeccionados pelo menos uma vez por ano, após o primeiro ano de matrícula. Assim, foi considerado que qualquer veículo pesado em circulação, com matrícula anterior a 2006, foi inspeccionado pelo menos uma vez entre 2004 e 2006.

Na definição do parque, com matrícula anterior a 2006, foi admitido um número de veículos pesados em circulação em 2004 igual ao número de veículos inspeccionados entre 2004 e 2006 (Simplificação 1). Foi também admitido que a variação anual do parque de veículos pesados entre 2004 e 2005 e entre 2005 e 2006 é igual à variação do número de veículos utilizados na estimação de DMDP (*BASE VEÍCULOS*), por ano de matrícula (Simplificação 2). Finalmente, relativamente aos veículos matriculados em 2006, admitiu-se que o número de veículos pesados em circulação é igual ao número indicado pela ACAP (Simplificação 3).

A definição do parque de veículos pesados em circulação para estimação de volumes de circulação seguiu, assim, os seguintes sete etapas:

1. Cálculo do número de veículos pesados, inspeccionados entre 2004 e 2006 e com matrícula anterior a 2006, por ano de matrícula (as categorias (*i*) utilizadas para o ano de matrícula foram as especificadas no Quadro 13) - $N_{ano_matricula_i < 2006}^{inspeccionados_TOT}$;

2. Aplicação da Simplificação 1:

$$(16) \quad N_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2004} = N_{ano_matricula_i < 2006}^{inspeccionados_TOT}$$

3. Cálculo da variação anual do número de veículos utilizados na estimação das DMDP, por ano de matrícula ($\Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2004/2005}$; $\Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2005/2006}$):

$$(17) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2004/2005} = \frac{N_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2005}}{N_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2004}} \\ \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2005/2006} = \frac{N_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2006}}{N_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2005}} \end{array} \right.$$

4. Aplicação da Simplificação 2:

$$(18) \quad \begin{cases} \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2004/2005} = \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2004/2005} \\ \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2005/2006} = \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{estimados_2005/2006} \end{cases}$$

5. Estimação do número provisório (n) de veículos em circulação em 2005 e 2006, por ano de matrícula:

$$(19) \quad \begin{cases} n_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2005} = \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2004/2005} \times N_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2004} \\ n_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2006} = \Delta_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação/2005_2006} \times N_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2005} \end{cases}$$

6. Estimação do número de veículos em circulação em 2005 e 2006, por ano de matrícula:

$$(20) \quad \begin{cases} N_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2005} = \max(N_{ano_matricula_i < 2006}^{inspeccionados_2005}; n_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2005}) \\ N_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2006} = \max(N_{ano_matricula_i < 2006}^{inspeccionados_2006}; n_{ano_matricula_i < 2006}^{circulação_2006}) \end{cases}$$

7. Aplicação da Simplificação 3:

$$(21) \quad N_{ano_matricula_i=2006}^{circulação_2006} = N_{ano_matricula_i=2006}^{ACAP_2006}$$

O parque final de veículos pesados foi comparado com o parque estimado pela ACAP (ver Quadro 19). As categorias utilizadas pela ACAP na definição de veículos por ano de matrícula diferem das utilizadas no método proposto (ver Quadro 13). Por exemplo, a ACAP agrega os veículos com matrícula anterior a 1991 com os veículos matriculados entre 1991 e 1996. Os valores desagregados, correspondentes às categorias definidas neste método, foram obtidos através da relação entre o número de veículos inspeccionados, para cada categoria considerada:

$$(22) \quad N_{ano_matricula_i \leq 1991}^{ACAP_2006} = N_{ano_matricula_i \leq 1996}^{ACAP_2006} \times \frac{N_{ano_matricula_i \leq 1991}^{inspec_2006}}{N_{ano_matricula_i \leq 1996}^{inspec_2006}}$$

Tendo em conta que o parque de veículos pesados apresenta algumas diferenças relativamente ao indicado pela ACAP, sobretudo no que diz respeito aos veículos mais antigos, foram calculadas duas estimativas de volumes de circulação para os dois parques apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 | Parque automóvel de veículos pesados em circulação

Ano de matrícula	Parque Estimado			Parque ACAP		
	2006	2005	2004	2006	2005	2004
≤ 1991	27847	32330	37395	47449	53236	58528
1992 - 1996	21509	23668	25874	36650	39243	41079
1997 - 2000	36132	39242	41818	30573	30490	31444
2001	10189	11023	11462	8621	8491	8679
2002	7776	8434	8682	6076	5865	5817
2003	6205	6626	6820	4698	4557	4534
2004	7200	7558	7780	5711	5639	5619
2005	5647	5633	-	5786	5748	-
2006	5416	-	-	5416	-	-
TOTAL	127921	134514	139831	150981	153270	155700

Calculados os números totais de veículos pesados por ano de matrícula, o número associado a cada um dos 71 grupos obtidos pela classificação de veículos consoante o combustível (c), o peso (k) e o ano de matrícula (i) num determinado ano de estimação (j) foi determinado a partir da relação entre o número de veículos utilizados na estimação de DMDP (registos na *BASE VEÍCULOS*) de cada grupo relativamente ao total por ano de matrícula:

$$(23) \quad N_{grupo_c,k,i}^{circulação_ano_j} = \frac{N_{grupo_c,k,i}^{estimados_ano_j}}{N_{ano_matricula_i}^{estimados_ano_j}} \times N_{ano_matricula_i}^{circulação_ano_j}$$

$$N_{ano_matricula_i}^{estimados_ano_j} = \sum_c \sum_k N_{grupo_c,k,i}^{estimados_ano_j}$$

A equação (23) é aplicável para todos os veículos pesados matriculados antes de 2006. Mais uma vez, o facto de não existir um numero aceitável de veículos inspeccionados matriculados em 2006, faz com que esta estimação apresente erros consideráveis para 2006. Assim, recorreu-se aos dados recolhidos junto da DGV para o parque automóvel matriculado entre 2004 e 2006, e registado a 31 de Dezembro de 2006 (ver Capítulo 4.3), permitindo estimar a parcela de cada grupo de veículos matriculados em 2006.

$$(24) \quad N_{grupo_c,k,i}^{circulação_ano_2006} = \frac{N_{grupo_c,k,i}^{DGV_ano_2006}}{N_{ano_matricula_i}^{DGV_ano_2006}}$$

Definido o número de veículos pesados para cada um dos 71 grupos considerados, verifica-se que a amostra de veículos, matriculados antes de 2006, utilizadas na estimação de DMDP representa sempre mais de 90% dos respectivos grupos no parque total em circulação estimado. Esta excelente cobertura faz com os valores estimados das DMDP para as várias categorias sejam muito próximos dos valores reais médios para o parque circulante. Já relativamente aos veículos matriculados em 2006, a percentagem de veículos estimados relativamente ao parque circulante é só ligeiramente superior a 3%, fragilizando as estimativas das DMDP associadas.

Em alternativa ao valor obtido pelo tratamento dos veículos da *BASE LEITURAS* matriculados em 2006, estimou-se uma DMDP com base na relação entre distâncias percorridas por veículos de anos de matrícula sucessivos. Assim, determinou-se a média das variações das DMDP por veículos de matrículas sucessivas entre 2001 e 2005, para cada grupo de veículos pesados considerados.

$$(25) \quad DMDP_{2006}^{grupo} = DMDP_{2005}^{grupo} \times \text{média} \left(\frac{DMDP_{2005}^{grupo}}{DMDP_{2004}^{grupo}}; \frac{DMDP_{2004}^{grupo}}{DMDP_{2003}^{grupo}}; \frac{DMDP_{2003}^{grupo}}{DMDP_{2002}^{grupo}}; \frac{DMDP_{2002}^{grupo}}{DMDP_{2001}^{grupo}} \right)$$

Na Figura 17 estão representadas as variações das DMDP $\left(\frac{DMDP_{ano_n+1}^{grupo}}{DMDP_{ano_n}^{grupo}} \right)$ de veículos de anos de matrícula sucessivos, por ano de matrícula e para os cinco principais grupos de veículos pesados ⁵.

Os veículos pesados a gasolina matriculados em 2006, são apenas representados por 1 registo na *BASSE VEÍCULOS*, tendo sido mantida a estimativa calculada directamente a partir do tratamento da *BASSE VEÍCULOS*. O grupo dos veículos pesados a gás e outros combustíveis não contém nenhum veículo matriculado em 2006.

A análise da Figura 17 permite concluir que não existe um valor constante para a relação entre DMDP de anos de matrícula sucessivos, para cada grupo de veículos. Apesar das variações verificadas não provocarem grandes diferenças nas relações entre DMDP de anos de matrícula sucessivos, e do recurso à média entre 2001 e 2005 minimizar parte destas variações, o método utilizado apresenta algumas fragilidades. Salienta-se, assim, a importância de desenvolvimento de estudos nesta matéria, com vista à obtenção de estimativas mais confiáveis, em modelos futuros, das distâncias percorridas por veículos recentes.

A Figura 17 permite, ainda, verificar que as curvas de cada ano de estimação apresentam o mesmo andamento. De facto, as relações entre DMDP de veículos pesados matriculados em anos sucessivos mantêm-se, de forma geral, constante para os três anos de circulação considerados (2004, 2005 e 2006).

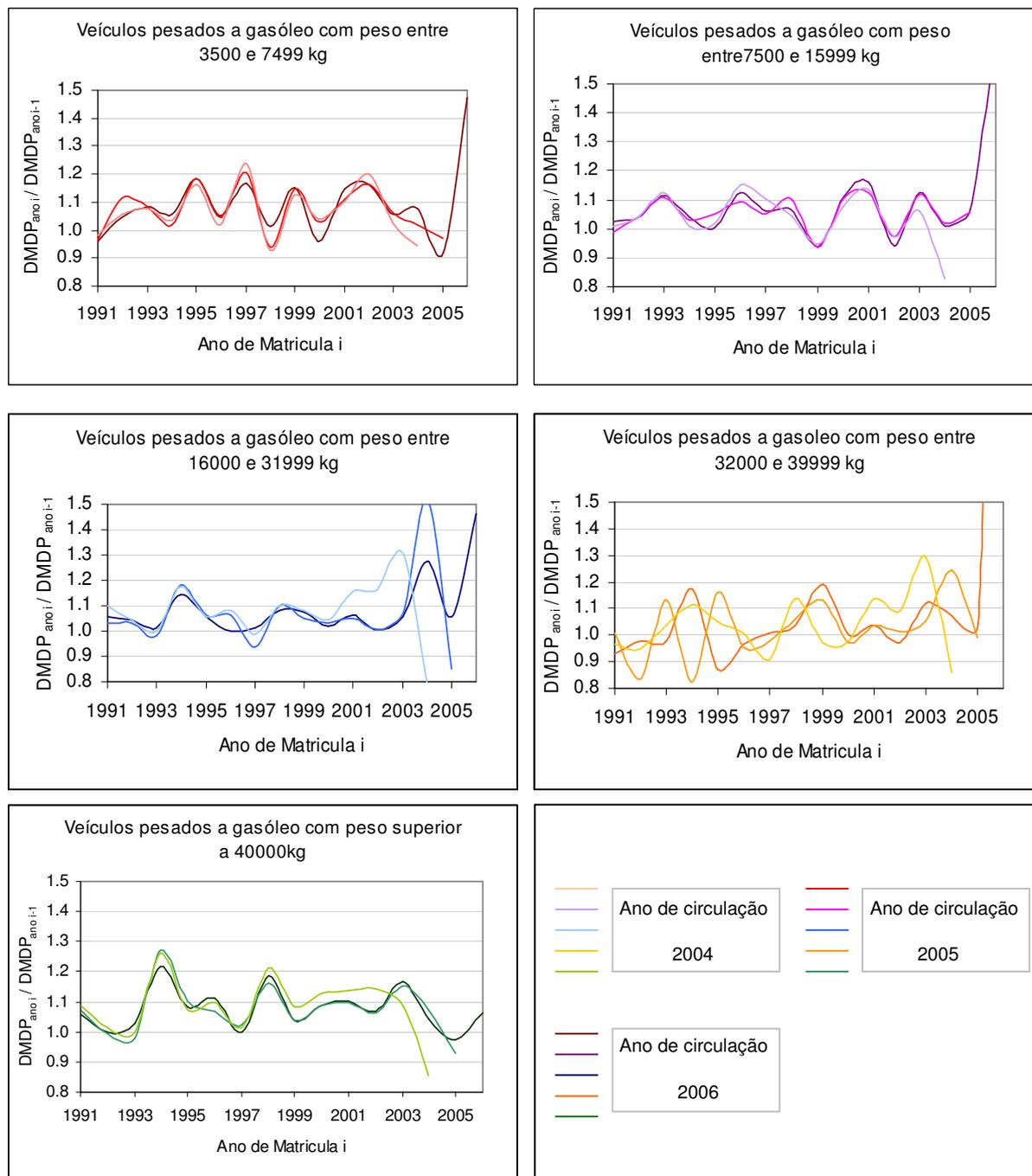
Determinadas as DMDP corrigidas e o número de veículos a considerar, estimou-se o volume de circulação final para os 71 grupos de veículos pesados e para cada um dos anos de estimação considerados, através da expressão ⁶:

⁵ Estes cinco grupos principais representam 99.8% do parque de veículos estimados para o ano de 2004

$$(26) \quad VC_{grupo}^{ano-j} = DMDP_{grupo}^{ano-j} \times N^{\circ} \text{veiculos}_{grupo}^{ano-j} \times 365$$

Esta expressão é uma adaptação da equação (5), apresentada no subcapítulo 3.2.4, ao método proposto nesta dissertação.

Figura 17 | Variações das DMDP por ano de matrícula para vários grupos de veículos pesados⁷



⁶ Sendo 2004 um ano bissexto, foram considerados 366 dias na estimação desse ano.

⁷ Na Figura 17, as curvas mais escuras correspondem ao ano de 2006 e as mais claras ao ano de 2004.

No Quadro 30 do subcapítulo 5.4 são apresentados os principais valores obtidos para volumes de circulação de veículos pesados. Nos Anexos XII e XIII são apresentadas tabelas com os valores das várias variáveis calculadas na estimação de volumes de circulação de veículos pesados. Os valores relativos à parcela de cada grupo no número total de veículos matriculados em 2006, recalculadas segundo a equação (24), e as DMDP reestimadas segundo a expressão (25) são indicados a laranja.

Veículos Ligeiros

O processo de estimação do parque automóvel torna-se bastante mais delicado para o caso dos veículos ligeiros, tendo em conta as periodicidades definidas pelo DL 554/99 [46].

Os veículos ligeiros de passageiros, categoria mais numerosa do parque automóvel nacional, são submetidos a uma primeira inspeção obrigatória apenas ao fim de quatro anos, posteriormente, são inspeccionados de dois em dois anos, até aos oito anos de idade. Estes períodos alargados sem qualquer recolha de informação e a diversidade de periodicidades para os restantes tipos de veículos ligeiros (ver Quadro 4), fazem com que o processo de estimação do parque e das DMDP de veículos ligeiros seja mais complexo do que relativamente a veículos pesados.

Como já foi referido, existem categorias de veículos ligeiros matriculados após 1997 que não foram inspeccionados em alguns dos anos de estimação recolhidos (ver Quadro 18). Relativamente aos veículos matriculados após 2002, os automóveis ligeiros de passageiros não realizaram nenhuma inspeção periódica entre 2004 e 2006, não existindo assim os respectivos dados para o período de estimação considerado. De facto, as amostras dos grupos de veículos ligeiros considerados com ano de matrícula entre 2003 e 2005, utilizadas na estimação de DMDP, contêm apenas inspeções periódicas de veículos ligeiros licenciados para transporte público de passageiros (táxis, veículos de passageiros para aluguer de turismo...), veículos ligeiros de mercadorias, automóveis ligeiros licenciados para a instrução e ambulâncias (ver Quadro 18). Estes veículos apresentam normalmente distâncias percorridas substancialmente superiores às dos veículos ligeiros de passageiros, fazendo com que as DMDP estimadas para os veículos matriculados entre 2003 e 2005, através das inspeções disponíveis, não sejam representativas das DMDP por todos os veículos ligeiros.

Tal como para os veículos pesados, qualquer veículo ligeiro matriculado em 2006, está dispensado de inspeções periódicas em 2006, estando todos os registos de 2006 da base *LEITURAS* associados a inspeções extraordinárias ou facultativas.

Foram ainda verificadas situações de incumprimento do plano de inspeções previstas pelo DL 554/99 [46], onde veículos que deveriam ser inspeccionados nos 3 anos recolhidos, não o foram, dificultando uma associação directa entre o número de veículos inspeccionados com o número de veículos em circulação em cada ano (ver Quadro 20).

Todas estas condicionantes dificultaram o processo de caracterização do parque nacional de veículos ligeiros, obrigando a definição de cinco simplificações que possibilitaram a estimação dos volumes de circulação a partir dos registos recolhidos nas inspeções:

Quadro 20 | Número de veículos ligeiros inspeccionados entre 2004 e 2006

Ano de matrícula	2006	2005	2004	2004-2006
< 1971	836	834	834	1205
1972 - 1977	3177	3499	3967	4861
1978 - 1980	6829	7578	8547	10004
1981 - 1985	54648	61738	70905	80349
1986 - 1991	595307	669961	743070	806124
1992 - 1996	1225182	1280973	1321791	1406483
1997 - 2000	1176912	976003	1021113	1557168
2001	127350	338045	108724	367965
2002	287336	89005	81559	301645
2003	80667	72057	18868	93109
2004	79752	22619	5878	90755
2005	23320	6232	-	26835
2006	7526	-	-	7576
TOTAL	3668838	3528539	3385249	4754079

- Todos os veículos ligeiros em circulação em 2004 cuja matrícula é anterior a 1997, foram inspeccionados pelo menos uma vez entre 2004 e 2006. Considerou-se um número de veículos ligeiros com matrícula anterior a 1997 e em circulação em 2004, igual ao respectivo número total de veículos inspeccionados entre 2004 e 2006 (Simplificação 1).
- Todos os veículos ligeiros com matrícula entre 1997 e 2001, em circulação em 2005 foram inspeccionados pelo menos uma vez entre 2004 e 2006. Considerou-se um número de veículos ligeiros em circulação em 2005, com matrícula anterior entre 1997 e 2001, igual ao respectivo número de veículos inspeccionados entre 2004 e 2006. Admite-se assim que, para estes anos de matrícula, todos os veículos inspeccionados em 2004 estavam em circulação em 2005 (Simplificação 2).
- Todos os veículos ligeiros matriculados em 2002, em circulação em 2006, foram inspeccionados pelo menos uma vez entre 2004 e 2006. Considerou-se, um número de veículos ligeiros em circulação em 2006 e matriculados em 2002, igual ao respectivo número de veículos inspeccionados entre 2004 e 2006 (Simplificação 3).
- O número de veículos ligeiros em circulação, matriculados após o ano de 2002, por ano de matrícula, é igual ao número indicado pela ACAP (Simplificação 4).

- As simplificações anteriores permitem estimar o número de veículos ligeiros, por ano de matrícula, para pelo menos um ano de estimação (ver Quadro 21). Para a determinação dos números de veículos ligeiros em falta, recorreu-se, tal como para os veículos pesados, à variação anual de veículos estimados. Admitiu-se que a variação anual do parque em circulação entre 2004 e 2005 e entre 2005 e 2006, para veículos ligeiros com ano de matrícula igual ou anterior a 2002, é igual à variação do número de veículos utilizados na estimação de DMDP, por ano de matrícula (Simplificação 5).

Quadro 21 | Definição do número de veículos ligeiros em circulação através das simplificações consideradas, para os três anos de estimação considerados

Ano de matrícula	2006	2005	2004
< 1977	Simplificação 5	Simplificação 5	Simplificação 1
1977 - 2001	Simplificação 5	Simplificação 2	Simplificação 5
2002	Simplificação 3	Simplificação 5	Simplificação 5
2003 - 2006	Simplificação 4	Simplificação 4	Simplificação 4

Identificadas as simplificações necessárias, apresentam-se de seguida as onze etapas do processo de estimação do parque nacional de veículos ligeiros a utilizar na estimação de volumes de circulação:

1. Cálculo do número de veículos ligeiros inspeccionados entre 2004 e 2006, com matrícula anterior a 1997, por ano de matrícula (as categorias utilizadas para o ano de matrícula foram as especificadas no Quadro 14) - $N_{ano_matricula_i < 1997}^{inspeccionados_TOT}$;

2. Aplicação da Simplificação 1:

$$(27) \quad n_{ano_matricula_i < 1997}^{circulação_2004} = N_{ano_matricula_i < 1997}^{inspeccionados_TOT}$$

3. Cálculo do número de veículos ligeiros inspeccionados nos três anos recolhidos, matriculados entre 1997 e 2002, por ano de matrícula - $N_{1997 \leq ano_matricula_i < 2002}^{inspeccionados_TOT}$;

4. Aplicação da Simplificação 2:

$$(28) \quad n_{1997 \leq ano_matricula_i < 2002}^{circulação_2005} = N_{1997 \leq ano_matricula_i < 2002}^{inspeccionados_TOT}$$

5. Cálculo do número de veículos ligeiros inspeccionados entre 2004 e 2006 e matriculados em 2002, por ano de matrícula - $N_{ano_matricula_i=2002}^{inspeccionados_TOT}$;

6. Aplicação da Simplificação 3:

$$(29) \quad n_{ano_matricula_i=2002}^{circulação_2006} = N_{ano_matricula_i=2002}^{inspeccionados_TOT}$$

7. Aplicação da Simplificação 4:

$$(30) \quad N_{ano_matricula_i>2002}^{circulação_ano_j} = N_{ano_matricula_i>2002}^{ACAP_ano_j}$$

8. Cálculo da variação anual do número de veículos utilizados na estimação de DMDP, por ano de matrícula - $(\Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2004/2005}; \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2005/2006})$;

$$(31) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2004/2005} = \frac{N_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2005}}{N_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2004}} \\ \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2005/2006} = \frac{N_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2006}}{N_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2005}} \end{array} \right.$$

9. Aplicação da Simplificação 5:

$$(32) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{circulação_2004/2005} = \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2004/2005} \\ \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{circulação_2005/2006} = \Delta_{ano_matricula_i\leq 2002}^{estimados_2005/2006} \end{array} \right. ;$$

10. Estimação do número provisório (n) de veículos em circulação em 2005 e 2006, por ano de matrícula através da variação anual de veículos estimados:

$$(33) \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{ano_matricula_i\leq 2002}^{circulação_2005} = \Delta_{ano_i\leq 2002}^{circulação_2004/2005} \times n_{ano_matricula_i\leq 2002}^{circulação_2004} \\ n_{ano_matricula_i\leq 2006}^{circulação_2006} = \Delta_{ano_i\leq 2002}^{circulação/2005_2006} \times n_{ano_matricula_i\leq 2002}^{circulação_2005} \end{array} \right.$$

11. Estimação do número definitivo (N) de veículos em circulação em 2005 e 2006, por ano de matrícula:

$$(34) \left\{ \begin{array}{l} N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{circulação_2004} = \max(N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{inspeccionados_2004}; n_{ano_matricula_i \leq 2002}^{circulação_2004}; N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{estimados_2004}) \\ N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{circulação_2005} = \max(N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{inspeccionados_2005}; n_{ano_matricula_i \leq 2002}^{circulação_2005}; N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{estimados_2005}) \\ N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{circulação_2006} = \max(N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{inspeccionados_2006}; n_{ano_matricula_i \leq 2002}^{circulação_2006}; N_{ano_matricula_i \leq 2002}^{estimados_2006}) \end{array} \right.$$

O parque final de veículos ligeiros obtido foi comparado com o parque estimado pela ACAP (ver Quadro 22). Tal como para os veículos pesados, foram utilizadas as percentagens de veículos inspeccionados na correspondência das categorias de idade da ACAP com os grupos de anos de matrícula considerados neste trabalho (ver exemplo da equação 22).

Quadro 22 | Parque automóvel de veículos ligeiros em circulação

Ano de matrícula	Parque Estimado			Parque ACAP		
	2006	2005	2004	2006	2005	2004
< 1971	836	1060	1205	845	920	920
1972 - 1977	3177	4022	4860	3211	3858	4374
1978 - 1980	6829	8425	10003	6902	8355	9419
1981 - 1985	54648	67121	80344	55234	68061	78176
1986 - 1991	595307	709395	806119	601695	738659	819374
1992 - 1996	1225182	1345110	1406463	1238329	1412344	1457519
1997 - 2000	1521685	1572261	1623662	1678409	1657251	1619130
2001	365907	367935	369427	402835	396129	385065
2002	304382	318304	320288	363006	350545	337243
2003	294630	286095	274763	294630	286095	274763
2004	290303	288467	280946	290303	288467	280946
2005	290814	292458	-	290814	292458	-
2006	270147	-	-	270147	-	-
TOTAL	5223847	5260654	5178079	5496361	5503142	5266930

Também foram calculadas, tal como para os veículos pesados, duas estimações de volumes de circulação, correspondentes aos dois parques apresentados no Quadro 22, tendo em conta as diferenças verificadas entre o *Parque Estimado* e o *Parque da ACAP*.

Caracterizado o parque nacional de veículos ligeiros para os três anos de estimação, por categoria de ano de matrícula, determinou-se o número associado a cada um dos 260 grupos considerados através da relação entre o número de veículos utilizados na estimação de DMDP de cada grupo relativamente ao total por ano de matrícula (ver equação 23). Todavia, tendo em conta as condicionantes amostrais acima mencionadas, a estimação da percentagem de cada grupo no parque nacional de veículos ligeiros, por ano de matrícula, segundo a expressão (23), apresenta erros consideráveis para veículos matriculados após 2002. Recorreu-se, assim, ao registos da DGV do parque automóvel a 31 de Dezembro de 2006 (ver Capítulo 4.3) na calibração das parcelas de cada grupo de veículos matriculados após 2002, relativamente ao número total de veículos no parque de veículos ligeiros, por ano de matrícula (ver equação 24).

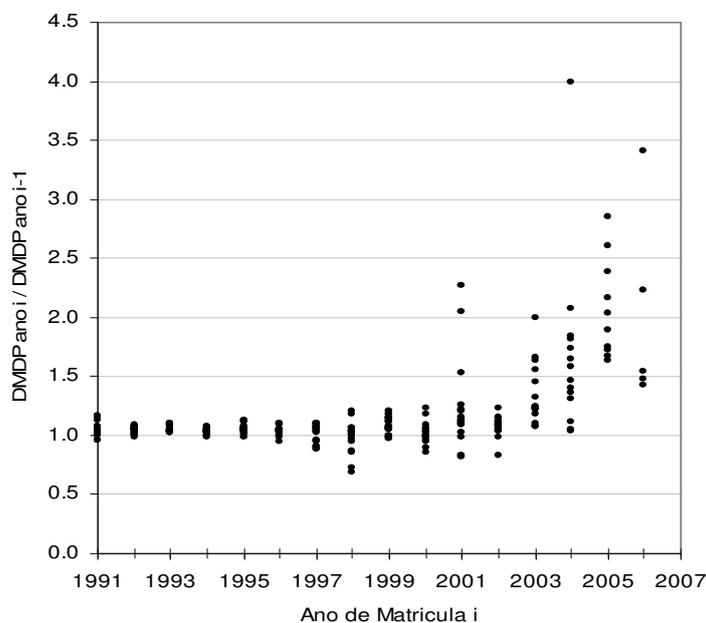
Na Figura 18 são apresentadas as relações entre DMDP de veículos ligeiros com anos de matrícula sucessivos $\left(\frac{DMDP_{ano_n}^{grupo}}{DMDP_{ano_n-1}^{grupo}} \right)$, de várias categorias de veículos ligeiros, e para os três anos de estimação considerados (2004, 2005 e 2006).

Verifica-se que para veículos matriculados a partir de 2003, as relações entre DMDP são substancialmente maiores relativamente aos veículos mais antigos. Os erros de amostragem identificados na definição do parque de veículos ligeiros estão associados a este valor demasiado elevado das DMDP de veículos matriculados após 2002. As distâncias percorridas por veículos ligeiros com inspeções periódicas entre 2003 e 2006, (veículos tipicamente com maiores distâncias percorridas, tais como veículos de mercadorias, táxis, automóveis de aluguer, veículos de instrução e ambulâncias) têm uma contribuição muito maior nesta estimação de DMDP de veículos ligeiros matriculados após 2002. De facto, enquanto que para veículos ligeiros matriculados até 2002 se verificou uma relação de 75% a 99% entre o número de veículos utilizados na estimação de DMDP e o de veículos do parque nacional em circulação, relativamente aos veículos matriculados a partir de 2003, essa relação apresenta, para alguns dos grupos considerados, valores bastante mais reduzidos. Por exemplo, para os veículos a gasolina matriculados após 2002, com peso inferior a 1300 kg e cilindrada menor que 1,4 l, esta relação fixa-se entre 0,5% e 10%, consoante o ano de matrícula relevante e o ano de estimação considerado. Já para veículos ligeiros a gasóleo, com maior peso (entre 3 e 3,5 toneladas) e cilindrada (superior a 2,0 l), esta relação mantém-se nos 80% para todos os veículos matriculados até 2005. Estes valores mais elevados são devidos a uma maior contribuição de veículos sujeitos a inspeções periódicas após 2002.

Na Figura 18 verifica-se, ainda, que alguns registos associados a veículos matriculados em 2001 apresentam valores bastante mais elevados que os restantes. Estes registos estão associados a relações entre DMDP em 2006 de veículos ligeiros com anos de matrícula sucessivos. De facto, ao analisar o Quadro 18, verifica-se que os veículos ligeiros de passageiros matriculados em 2001 realizaram a última inspeção obrigatória em 2005. As DMDP em 2006 de veículos ligeiros matriculados em 2001, foram assim estimadas sem a contribuição de inspeções periódicas de

veículos de passageiros e contabilizando uma importante percentagem de veículos associados a elevadas DMDP (veículos de mercadorias, táxis...).

Figura 18 | Variações das DMDP por ano de matrícula, para várias categorias de veículos ligeiros e para os três anos de estimação considerados (2004, 2005 e 2006)



Tal como para os veículos pesados matriculados em 2006, estimou-se uma DMDP alternativa, a fim de mitigar os erros identificados nas DMDP de veículos ligeiros mais recentes, com base na relação entre distâncias percorridas por veículos de anos de matrícula sucessivos. Contrariamente ao recurso à média do crescimento das DMDP dos últimos cinco anos de matrícula, utilizada na estimação de DMDP de veículos pesados (ver equação 25), para os veículos ligeiros foi utilizada apenas a variação do último par de anos de matrícula ($n;n-1$) desse grupo, em que o número de veículos utilizados na estimação representasse pelo menos 50% do respectivo grupo no parque automóvel total:

$$(35) \quad DMDP_{ano_matricula_i}^{grupo} = DMDP_{ano_matricula_i-1}^{grupo} \times \frac{DMDP_{ano_matricula_n}^{grupo}}{DMDP_{ano_matricula_n-1}^{grupo}}$$

O método utilizado para os veículos pesados não é aplicável aos ligeiros, porque, para estes, as DMDP com erros de estimação surgem logo em veículos matriculados em 2003. Adicionalmente, a classificação utilizada, apresentada no Quadro 14, permite o cálculo de valores desagregados das DMDP anteriores a 2003, apenas para os anos de 2002 e 2001. Os veículos matriculados antes de 2001 surgem todos em categorias conjuntas, (exemplo: matriculados entre 1997 e 2000), não permitindo a determinação de variações entre anos sucessivos de matrícula.

Tal como para os veículos pesados, salienta-se a necessidade do desenvolvimento de estudos nesta matéria, com vista à obtenção de estimativas mais confiáveis das DMDP de veículos recentes.

Corrigidas as DMDP e determinado o número de veículos a considerar, estimou-se o volume de circulação final para os 260 grupos de veículos ligeiros e para cada um dos anos de estimação considerados, novamente através da expressão (26)⁸:

$$(26) \quad VC_{grupo}^{ano-j} = DMDP_{grupo}^{ano-j} \times N^{\circ} \text{veículos}_{grupo}^{ano-j} \times 365$$

No Quadro 30 do subcapítulo 5.4 são apresentados os principais valores obtidos na estimação dos volumes de circulação de veículos ligeiros em 2004, 2005 e 2006. Nos Anexos XIV e XV são apresentadas tabelas com os valores das variáveis utilizadas na estimação dos volumes de circulação de veículos ligeiros. Os valores relativos à parcela de cada grupo no número total de veículos recalculados segundo a expressão (24) e as DMDP reestimadas segundo a equação (25) estão marcadas a laranja.

5.2.2 Estimação dos volumes de circulação por tipo de estrada da RRN

Como foi referido no subcapítulo 4.4, neste estudo é utilizada uma amostra de 560 postos de contagem na estimação de volumes de circulação por tipo de estrada. Este subcapítulo apresenta o método utilizado nessa estimação, o qual é constituído por quatro passos fundamentais:

- **Passo 1:** Associação da amostra de postos de contagem aos respectivos trechos da *BASE RRN*;
- **Passo 2:** Desagregação da *BASE RRN*, por tipo de estrada, segundo quatro critérios: **classe da estrada, número de faixas de rodagem, números de vias por sentido** e finalmente por **categoria de TMDA**;
- **Passo 3:** Estimação da contribuição de cada tipo de veículo no volume de circulação, em cada tipo de estrada da RRN, recorrendo aos dados dos postos de contagem;
- **Passo 4:** Estimação dos volumes de circulação da RRN, para cada uma das categorias de estrada definidas no Passo 2.

Passo 1

Recorrendo à quilometragem de início e fim dos trechos que constam na *BASE RRN*, cada posto foi associado ao respectivo trecho e às respectivas características geométricas, através da identificação da estrada e do quilómetro da secção de contagem.

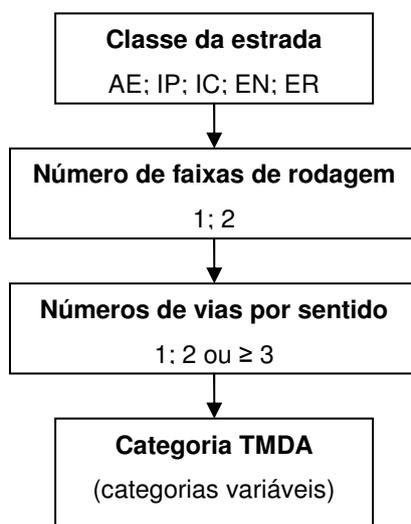
⁸ Sendo 2004 um ano bissexto, foram considerados 366 dias na estimação desse ano.

Passo 2

A definição das diferentes categorias de estrada varia substancialmente consoante os critérios utilizados por cada país e a natureza da informação disponível. No entanto, a maioria das classificações recolhidas na bibliografia ([21], [38] e [41]) recorrem, pelo menos, aos seguintes critérios: **classe da estrada, número de faixas de rodagem, números de vias por sentido e categoria de TMDA**.

Enquanto que a utilização da classe da estrada e da geometria da estrada na desagregação é intuitiva, o facto de utilizar o TMDA como critério de desagregação prende-se com a tentativa de agrupar estradas com características de tráfego semelhantes, melhorando assim o modelo de estimação de volumes de circulação [21]. As categorias de TMDA utilizadas na desagregação diferem substancialmente entre os vários modelos recolhidos na bibliografia, dificultando a definição de um critério harmonizado. Neste trabalho, optou-se por utilizar limites de TMDA distintos consoante a categoria da estrada considerada, tal como sugerido por Fricker *et al.* [24], obtendo-se um total de 21 tipos de estrada. Na Figura 19 são apresentadas as variáveis consideradas na desagregação da *BASE RRN* e no Quadro 23 indicam-se o número de trechos e a extensão total de cada tipo de estrada considerado, para o conjunto dos trechos com postos de contagem (*amostra*) e para a *BASE RRN*.

Figura 19 | Esquema de desagregação por tipo de estrada



A desagregação por categorias de TMDA foi realizada recorrendo aos valores indicados para 2005 na *BASE RRN*. Excepcionalmente, 168 trechos de AE não apresentavam o campo do TMDA de 2005 preenchido, a maioria por pertencerem a lanços de auto-estradas SCUT (sem custo para o utilizador), não sendo, assim, da responsabilidade directa da EP. Para 77 destes casos o TMDA foi estimado a partir de registos entre 2000 e 2003 recolhidos no site da EP (www.estradasdeportugal.pt).

Nestes cálculos auxiliares foi considerada, para cada posto de contagem, uma taxa de crescimento anual constante, calculada a partir dos anos com registo de contagens. Dos restantes 91 trechos, 21

fazem parte de grupos de tipo de estrada que não dependem do TMDA (tipo de estrada um, seis e sete) enquanto que os restantes 70 foram inseridos num grupo separado (tipo de estrada cinco).

Quadro 23 | Desagregação da RRN e da amostra formada pelos postos de contagem por tipo de estrada

Nº tipo de estrada	Classe de estrada	Nº de Faixas de Rodagem	Nº de Vias p/ faixa de rodagem	Categoria do TMDA	Nº de trechos (amostra)	Extensão km (amostra)	Nº de trechos (BASE RRN)	Extensão km (BASE RRN)
1	AE	2	≥ 3	-	8	22,827	69	262.318
2	AE	2	2	0 – 10 000	12	38,084	20	89.212
3	AE	2	2	10 000 – 25 000	16	101,685	61	462.855
4	AE	2	2	≥ 25 000	19	138,567	89	818.696
5	AE	2	2	?	-	-	70	328.665
6	IP / IC	2	≥ 3	-	7	24,436	14	37.558
7	IP / IC	2	2	-	8	61,301	37	144.981
8	IP / IC	1	3 (2+1) ⁹	-	32	384,840	36	384.052
9	IP / IC	1	2	≥ 10 000	21	212,418	78	624.538
10	IP / IC	1	2	5 000 – 10 000	34	505,767	72	782.667
11	IP / IC	1	2	0 – 5 000	43	735,902	92	1190.447
12	EN / ER	2	2	-	13	60,266	41	122.996
13	EN / ER	1	3 (2+1) ⁹	-	10	94,170	24	150.439
14	EN	1	2	≥ 20 000	18	127,943	27	145.071
15	EN	1	2	10 000 – 20 000	43	426,689	86	583.393
16	EN	1	2	5 000 – 10 000	50	595,363	108	863.117
17	EN	1	2	2 500 – 5 000	50	739,855	127	1204.584
18	EN	1	2	0 – 2 500	71	1214,234	144	1855.259
19	ER	1	2	≥ 5 000	39	488,204	68	602.005
20	ER	1	2	2 000 – 5 000	25	458,094	67	786.221
21	ER	1	2	0 – 2 000	41	914,894	211	2919.277
TOTAL	-	-	-	-	560	7345.579	1542	14358.351

⁹ Nesta categoria foram consideradas estradas com três vias (uma via num sentido e dois no outro) e estradas com uma via por sentido e uma via de lentos adicional.

A *BASE RRN* não apresenta, também, o campo correspondente ao número de vias preenchido para todos os trechos. A fim de completar os dados em falta, recorreu-se à indicação da largura média da faixa de rodagem e às percentagens de extensão do trecho com uma, duas e três vias, indicadas na *BASE RRN*. Na definição do número de vias foi considerada uma largura máxima para uma faixa de rodagem com duas vias, de 8,00 m e 7,50 m respectivamente para as AE e para as outras categorias.

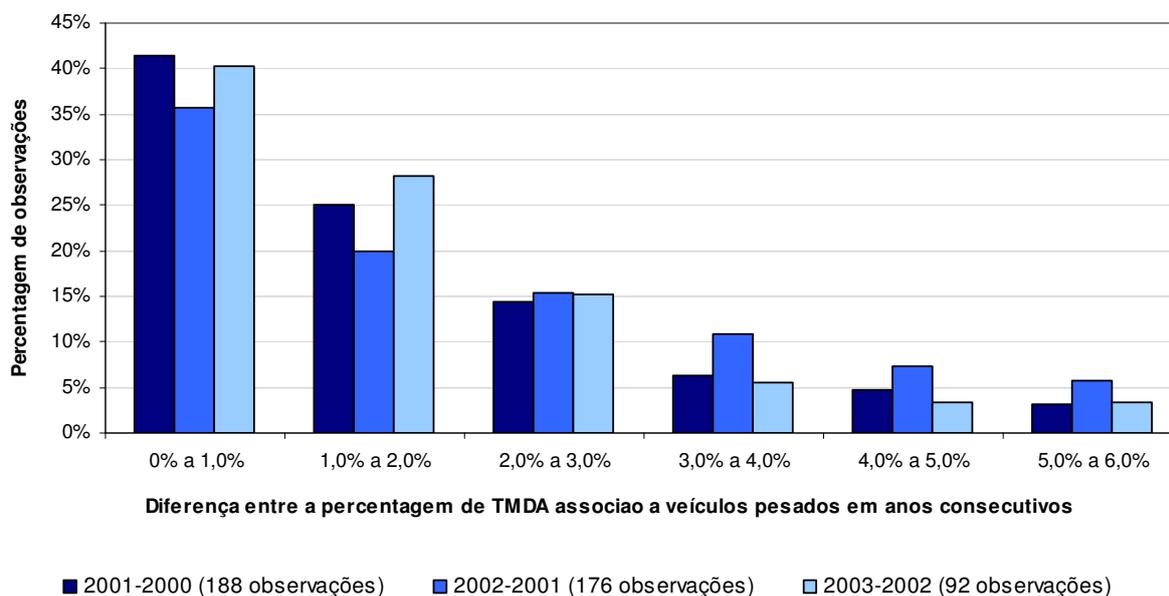
Foram ainda registados 31 trechos de estradas com duas faixas de rodagem que apresentam números de vias diferentes para cada sentido. Estes casos, maioritariamente caracterizados por trechos com 2x3 vias, foram inseridas nos grupos correspondentes ao menor número de vias.

Passo 3

Definidos os tipos de estrada a considerar e feita a respectiva correspondência com os trechos de toda a RRN, este passo visa estimar as percentagens dos volumes de circulação de cada categoria, por tipo de veículo.

A fim de facilitar o tratamento dos dados foi admitida a hipótese de que as percentagens do TMDA relativas a cada tipo de veículo por tipo de estrada, se mantêm constantes ao longo dos anos de contagem considerados (2000 a 2003). Efectivamente, existem várias situações onde esta hipótese não é válida, por exemplo, quando a rede ou a ocupação do solo são substancialmente alteradas. No entanto, a análise dos dados de 456 casos de postos de contagem em anos sucessivos permite verificar que a hipótese é aceitável. Na Figura 20 são ilustradas, por intervalos, as diferenças registadas nestes 456 postos, entre as percentagens do TMDA associadas a veículos pesados, em anos consecutivos. Verifica-se que cerca de 80% dos postos de contagens apresentaram variações inferiores a 3% entre as percentagens de pesados em anos consecutivos, e sensivelmente 93% dos postos variações inferiores a 5%.

Figura 20 | Análise da variação da percentagem de tráfego de veículos pesados em anos consecutivos



Assim para cada posto considerado, foram calculadas as médias das percentagens do tráfego associadas a cada tipo de veículo considerado pela EP (ver Quadro 6). Posteriormente, foram calculadas para cada um dos 21 tipos de estrada considerados, as médias das percentagens do tráfego associadas a cada tipo de veículo, ponderadas segundo a extensão do trecho de contagem:

$$(36) \quad perc_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n perc_{ijk}}{n}$$

$$(37) \quad perc_{Xk} = \frac{\sum_{i=0}^N (perc_{ik} \times comp_i)}{\sum_{i=0}^N comp_i}$$

Sendo:

- $perc_{ijk}$ – Percentagem de TMDS do posto i , no ano j , associada ao tipo de veículo k (%);
- $perc_{ik}$ – Percentagem média de TMDS do posto i , associada ao tipo de veículo k (%);
- $perc_{Xk}$ – Percentagem média de TMDS, no tipo de estrada X e associada ao tipo de veículo k (%);
- $comp_i$ – Comprimento do trecho associado ao posto i (km);
- n – Número de anos com contagens para o posto i ;
- N – Número de postos com contagens entre 2000 e 2003 do tipo de estrada X .

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 24 da página 99.

A classificação de veículos efectuada pelos aparelhos de contagem (ver Quadro 6 do subcapítulo 4.4) e utilizadas no tratamento da informação dos postos para determinar as percentagens apresentadas no Quadro 24, difere da classificação adoptada no tratamento dos dados de inspecções técnicas definida no subcapítulo 5.2.1. De facto a ausência de informação sobre a utilização de cada veículo inspeccionado impossibilita a tarefa de compatibilização de critérios de definição de tipo de veículos.

Passo 4

A estimação do volume anual de circulação na RRN é bastante fácil quando se dispõe dos dados completos de extensão e TMDS de cada trecho da rede. Recorrendo à equação (12), foi calculado o volume de circulação anual em 2005 para cada trecho da *BASE RRN*. Sem qualquer estimação directa ficaram os trechos do tipo de estrada nº 5 que, como já foi referido anteriormente, não apresentavam qualquer indicação do TMDS entre 2000 e 2005.

$$VC_{trecho_i} = (km_{final} - km_{inicial}) \times TMDS_{2005, trecho_i} \times 365$$

Os trechos de estradas e respectivos volumes de circulação foram associados aos correspondentes tipos de estrada, obtendo-se, assim, volumes de circulação totais para 20 dos 21 tipos de estrada considerados:

$$(38) \quad VC_{grupo_k} = \sum_i VC_{trecho_i}$$

Em que:

- VC_{grupo_k} – Volume de circulação anual do tipo de estrada k ;
- VC_{trecho_i} – Volume de circulação anual do trecho i do tipo de estrada k .

Relativamente ao tipo de estrada cinco, considerou-se um volume de circulação por quilómetro de estrada igual à média dos valores calculados para AE com duas vias por sentido (tipo de estrada dois, três e quatro).

Os volumes de circulação estimados para cada um dos 21 tipos de estrada considerados, podem ser desagregados consoante o tipo de veículo, permitindo a estimação do volume de circulação associado, apenas, aos veículos sujeitos a inspeções. Através das percentagens associadas a cada tipo de veículo estimadas no Passo 3, facilmente se obtém o volume de circulação de uma determinada categoria de veículos (j) no tipo de estradas (k):

$$(39) \quad VC_{grupo_k}^{veículo_j} = Percent_{grupo_k}^{veículo_j} \times VC_{grupo_k}$$

Onde:

- VC_{grupo_k} – Volume de circulação anual do tipo de estrada k ;
- $Percent_{grupo_k}^{veículo_j}$ – Percentagem do volume de circulação no tipo de estrada k , associado ao tipo de veículo j (ver Quadro 21);
- $VC_{grupo_k}^{veículo_j}$ – Volume anual de circulação associado ao tipo de veículo j no tipo de estrada k ;

Os resultados obtidos para o ano de 2005 e respectiva análise são apresentados no subcapítulo 5.4.

Relativamente à estimação dos volumes de circulação na RRN, para os anos de 2004 e 2006, é imprescindível a recolha de informação adicional. A *BASE RRN* dispõe unicamente de uma estimação do TMDA 2005, realizada pela EP, não apresentando qualquer indicação em relação aos TMDA de outros anos. Assim, para a estimação dos volumes de circulação para outros anos importa:

- recolher junto da EP os TMDA estimados para o ano em análise, para toda a RRN;
- estimar a variação anual do TMDA por tipo de estrada, através de contagens em amostras de cada grupo considerado [24].

Este processo de estimação deve ter em conta a possibilidade de alguns trechos sofrerem alterações geométricas, variações consideráveis de TMDA, alterando-se, assim, o tipo de estrada em que se inserem.

Quadro 24 | Percentagem do volume de circulação atribuído a cada tipo de veículo por tipo de estrada

Tipo de estrada	Tipo de veículo									
	ABC	D	E	F	G	H	I	J+K	Veículos Ligeiros (D+E)	Veículos Pesados (F+G+H+I)
1	2.8%	76.4%	11.7%	4.7%	0.3%	3.2%	0.7%	0.2%	88.1%	8.9%
2	0.6%	83.1%	7.1%	3.8%	1.1%	4.1%	0.3%	0.0%	90.2%	9.2%
3	0.6%	79.3%	10.3%	4.2%	0.9%	4.2%	0.5%	0.0%	89.5%	9.8%
4	1.2%	79.5%	7.1%	3.4%	1.0%	6.9%	0.8%	0.1%	86.6%	12.1%
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1.9%	88.2%	5.7%	2.2%	0.4%	0.8%	0.7%	0.1%	93.9%	4.0%
7	0.8%	82.1%	6.8%	3.7%	0.7%	5.2%	0.7%	0.1%	88.9%	10.3%
8	1.4%	79.0%	7.8%	4.6%	0.9%	5.2%	1.0%	0.1%	86.8%	11.7%
9	1.7%	79.0%	6.7%	5.0%	1.2%	5.6%	0.7%	0.1%	85.7%	12.5%
10	1.7%	77.9%	8.3%	5.0%	1.1%	5.1%	0.7%	0.2%	86.2%	11.9%
11	1.8%	77.5%	9.9%	5.3%	1.0%	3.3%	0.8%	0.5%	87.4%	10.4%
12	1.7%	84.9%	7.8%	2.5%	0.4%	1.7%	0.9%	0.1%	92.7%	5.5%
13	3.1%	82.2%	6.5%	3.8%	0.7%	2.8%	0.6%	0.3%	88.7%	7.9%
14	1.1%	80.8%	8.0%	5.2%	0.9%	3.2%	0.7%	0.1%	88.8%	10.0%
15	1.8%	80.7%	7.5%	4.4%	0.8%	3.9%	0.8%	0.2%	88.2%	9.8%
16	2.0%	80.7%	7.4%	4.3%	0.9%	3.9%	0.6%	0.2%	88.1%	9.8%
17	2.7%	77.5%	8.0%	4.9%	1.1%	4.5%	0.9%	0.4%	85.5%	11.4%
18	3.0%	75.7%	9.1%	5.7%	1.3%	3.6%	0.9%	0.8%	84.8%	11.4%
19	3.2%	82.5%	7.7%	3.3%	0.7%	1.5%	0.9%	0.2%	90.3%	6.3%
20	3.2%	79.5%	8.5%	5.1%	0.6%	2.2%	0.7%	0.4%	88.0%	8.4%
21	3.8%	75.2%	10.8%	5.5%	0.8%	2.2%	0.8%	0.9%	86.0%	9.3%

5.2.3 Estimação dos consumos de combustíveis

Como referido no subcapítulo 3.2.3, os consumos de combustíveis podem ser utilizados na validação das estimativas dos volumes de circulação efectuadas com base nos dados das inspecções técnicas e dos postos de contagem recolhidos. Esta verificação passa por uma comparação entre os volumes nacionais de vendas de combustíveis e o consumo total de combustíveis associado à circulação rodoviária anual estimada.

Tal como foi referido no subcapítulo 4.2, a DGV possui, desde 2000, valores dos consumos médios instantâneos de combustível em meio urbano, extra-urbano e combinado. O facto de só existirem valores destes consumos para veículos ligeiros de passageiros recentes, faz com que seja difícil a sua utilização em estimações de volumes de circulação associados a todo o parque circulante. Assim, como foi referido no subcapítulo 4.6, a comparação entre o volume de vendas indicados pela DGEG (ver Quadro 9) e o consumo de combustíveis associados ao volume de circulação estimado passa necessariamente pelo recurso a modelos de estimação de consumos ao nível nacional.

Existem actualmente vários métodos de estimação de consumos, normalmente inseridos em métodos gerais de estimação de emissões de poluentes, sendo a escolha do método a utilizar dependente dos objectivos, da informação disponível e dos objectivos pretendidos. Na maioria dos casos, o cálculo dos consumos é baseado essencialmente nas velocidades médias na utilização dos veículos, contemplando as várias situações de condução na rede rodoviária. No entanto, existem variações nos consumos de combustível associadas a alterações da dinâmica de condução que podem ser alvo de estudo pormenorizado e tipificação própria. Nestes casos, o recurso a modelos de consumos instantâneos pormenorizados torna-se bastante mais adequado [29].

O modelo COPERT III [53] é o modelo de estudo de impactes energéticos e ambientais de veículos rodoviários numa região ou num país, recomendado pela Agência Europeia do Ambiente - EEA, no âmbito do projecto de criação do inventário de emissões poluentes de cada Estado Membro - o programa CORINAIR.

No presente trabalho não se pretende analisar em pormenor o modelo COPERT III nem as respectivas condicionantes. O programa é apenas utilizado como um instrumento de verificação dos valores de estimação dos volumes de circulação. Apresentam-se, contudo, nos parágrafos que se seguem, os princípios gerais que regem o funcionamento do COPERT III, remetendo para a bibliografia existente ([29], [53] e [61]) qualquer análise detalhada da sua utilização e funcionamento.

O modelo assenta no princípio básico de que a principal origem das emissões do tráfego rodoviário provém dos gases de escape e dos hidrocarbonetos produzidos na combustão e evaporação de combustíveis [53]:

$$(40) \quad E = E_{hot} + E_{start} + E_{evaporative}$$

Em que:

- E – Emissões totais;

- E_{hot} – Emissões produzidas com o motor quente;
- E_{start} – Emissões produzidas com o motor frio;
- $E_{evaporative}$ – Emissões por evaporação.

Cada uma destas três parcelas depende de um factor de emissão (e_x) e dos parâmetros que caracterizam a respectiva actividade (a), definida de forma geral pelo volume de circulação associado:

$$(41) \quad E_x = e_x \times a$$

Sendo:

- E – Emissões da parcela x ;
- e_x – Factor de emissão da parcela x ;
- a – Actividade associada à parcela x .

Para as emissões produzidas pelos veículos com o motor quente (E_{hot}) o factor associado, e_{hot} , é função da velocidade média de circulação. O modelo COPERT III permite a alteração deste factor consoante outros parâmetros que também influenciam os consumos de combustíveis, tais como, a carga do veículo ou o declive da estrada. Para estas emissões, a actividade a é definida pelo volume de circulação de cada tipo de veículo, segundo três condições de circulação distintas: em vias urbanas, vias rurais e vias rápidas.

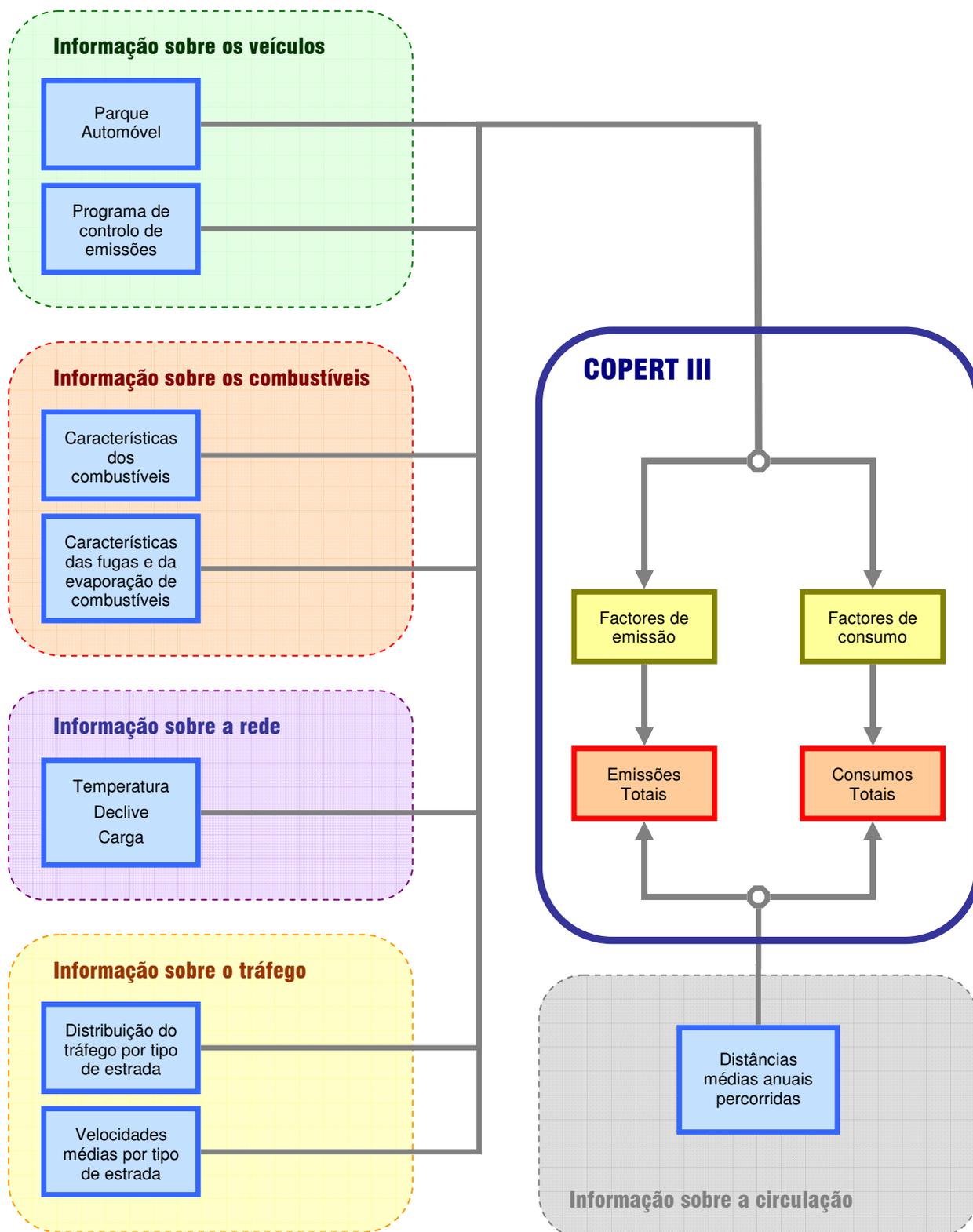
Já as emissões em arranque (com o motor frio) são consideradas como uma determinada quantidade produzida numa parte do percurso efectuado em cada viagem. O factor e_{start} é função da velocidade média, da temperatura inicial do motor e da percentagem da distância total em que o motor está com temperatura inferior à temperatura óptima de funcionamento. A actividade a associada é então estimada através do número total de viagens, para cada categoria de veículos.

As emissões por evaporação podem ocorrer de várias formas: abastecimento dos depósitos de combustível, variações acentuadas da temperatura exterior ou possibilidade de evaporação quando o motor é desligado a quente [29]. Assim, existem vários factores $e_{evaporative}$, relacionados sobretudo com a temperatura exterior e a volatilidade do combustível. De forma idêntica, existem igualmente várias actividades a consoante as emissões por evaporação consideradas.

Os princípios gerais do programa COPERT III aqui apresentados são aplicáveis, salvo raras excepções, a todos os tipos de veículos, sendo que cada tipo terá os seus factores de emissão e a respectiva actividade. Assim, neste método consideram-se vários tipos de veículos (ver Anexo III) a fim de caracterizar os vários padrões de consumos e de emissões do parque automóvel. A classificação de veículos utilizada na estimação de volumes de circulação teve em conta a classificação proposta no COPERT III, a fim de facilitar a estimação do respectivo consumo total de combustível.

Na Figura 21 ilustra-se o funcionamento geral do COPERT III, sendo referido as principais variáveis de entrada do programa.

Figura 21 | Esquema geral de funcionamento do modelo COPERT III



Assim, no cálculo dos consumos de combustíveis pelo COPERT III devem ser definidos os seguintes parâmetros principais:

1. Número de veículos no parque e respectivas distâncias médias anuais percorridas;
2. Composição e pressões de vaporização dos vários combustíveis utilizados;
3. Temperaturas ambiente máximas e mínimas;
4. Velocidades médias praticadas por tipo de estrada;
5. Percentagens do volume de circulação associadas aos três tipos de estradas;
6. Percentagem média das viagens associadas a arranque a frio;
7. Distância média percorrida por viagem;
8. Taxa de evaporação por tipo de estrada;
9. Taxas de fugas de combustíveis.

Após a consulta de [61] e o esclarecimento junto do respectivo autor, Silva C., foi possível obter dados de entrada simplificados para as variáveis **2.**, **3.**, **8.** e **9.**. Tendo em conta a falta de informação actualmente disponível em Portugal, relativamente à distância média percorrida por viagem (**7.**), foi utilizado o valor predefinido do COPERT III (12 km). Os valores da percentagem média das viagens associada ao arranque a frio (**6.**), pode ser calculado automaticamente pelo COPERT III. Já a caracterização do parque automóvel (**1.**) ao nível do número de veículos e a respectiva distância anual percorrida foi realizada recorrendo às estimativas obtidas através das inspecções técnicas a veículos a gasolina, gasóleo e gás, recolhidas para os anos de 2004, 2005 e 2006 (ver subcapítulos 5.2.1 e 5.4.1). Relativamente às velocidades praticadas em cada tipo de estrada (**4.**), foram consultados os valores apresentados no relatório intitulado “*Velocidades praticadas pelos condutores nas estradas portuguesas – Ano de 2004*”. Foram, assim, adoptadas as seguintes velocidades:

Quadro 25 | Velocidades médias consideradas na estimação de consumos de combustíveis

(km/h)	Via urbana	Via rural	Via rápida
Ligeiros	35	75	120
Pesados	25	55	110

Finalmente, relativamente às percentagens do volume de circulação para os três tipos de estradas considerados pelo COPERT III (**5.**) recorreu-se às estimativas de volume de circulação por tipo de estrada, estimadas a partir dos postos de contagem (ver subcapítulos 5.2.2 e 5.4.2). Relativamente ao volume de circulação associado às estradas que não pertencem à RRN, foi considerada uma percentagem associada a via urbanas de 70% e 50%, respectivamente para veículos ligeiros e pesados, sendo o restante volume associado a vias rurais.

Quadro 26 | Percentagens do volume de circulação para os tipos de estradas consideradas na estimação de consumos de combustíveis

(%)	Via urbana	Via rural	Via rápida
Ligeiros	35.4	41.0	23.6
Pesados	17.3	52.5	30.2

Os valores apresentados nos Quadro 25 e Quadro 26, apresentam algumas fragilidades tendo em conta a definição pouco criteriosa dos três tipos de estradas consideradas pelo COPERT III, a variabilidades destes valores em situações correntes e a inexistência de registos que permitam a respectiva definição pormenorizada. De facto, ao comparar os valores apresentados no relatório do MEET [29] para os vários países da UE, registam-se grandes diferenças, tanto para as velocidades médias praticadas como para a distribuição do volume de circulação por tipo de estrada. Assim, estes valores devem ser devidamente calibrados em futuras aplicações do COPERT III sobretudo se for pretendida uma quantificação pormenorizada das emissões dos vários poluentes associados ao volume de circulação rodoviária nacional. Sugere-se ainda a realização de uma análise de sensibilidade em futuras aplicações do COPERT III, com o intuito de avaliar a influência de eventuais desvios da estimativa destes parâmetros sobre o valor do consumo total de combustíveis.

Os dados utilizados e a modelação efectuada no COPERT III são apresentados pormenorizadamente no Anexo XVI. Os resultados da estimação de consumos de combustíveis e a validação dos volumes de circulação associados é apresentada no subcapítulo 5.5.

Para além destas variáveis principais, o programa COPERT III permite a manipulação de alguns parâmetros ditos “avançados”, tais como a percentagem de redução de emissões por tipo de estrada, a degradação do veículo com a quilometragem ou a variabilidade de carga dos veículos e do declive das estradas. No âmbito deste trabalho, não foram introduzidas alterações nos valores de referência estabelecidos no COPERT III para os parâmetros “avançados”, pois a manipulação destes destinam-se sobretudo a situações de redes de dimensão mais reduzida, onde os dados de entrada podem ser definidos pormenorizadamente.

5.2.4 Modelo simplificado de estimação de DMDP

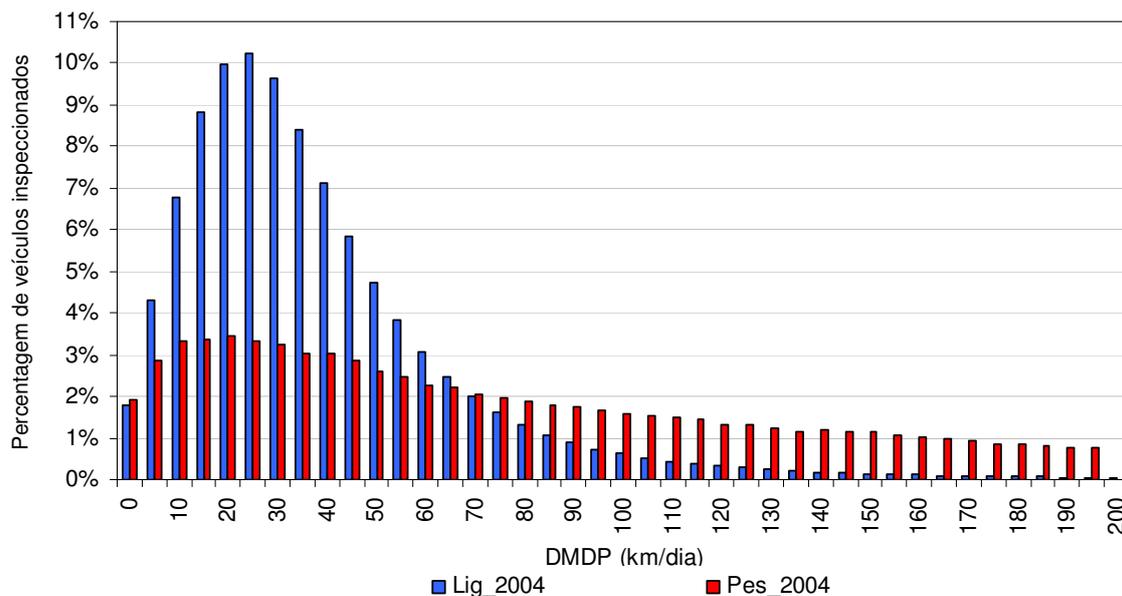
O elevado número de categorias de veículos identificadas no Passo 5 do subcapítulo 5.2.1, dificulta a análise pormenorizada das DMDP estimadas. Efectivamente os 71 grupos de veículos pesados e 260 de ligeiros transformam a leitura e a interpretação de resultados num processo exigente e difícil.

O Passo 4 do mesmo subcapítulo permitiu a obtenção de uma pesada base de dados que posteriormente deu origem às extensas tabelas apresentadas dos Anexos IV a IX, utilizadas na estimação de volumes de circulação nacionais. Com o intuito de facilitar a análise das variáveis de

interesse para as distâncias percorridas e de facultar também, um acesso simplificado à estimação dessas distâncias, foi criado um modelo simplificado de estimação de DMDP.

A distribuição das DMDP calculadas para cada registo da *BASE VEÍCULOS* e o seu carácter assimétrico, apontam para o recurso à transformada logarítmica das distâncias percorridas como variável de resposta do modelo simplificado pretendido. A Figura 22 ilustra a distribuição dessas distâncias para o ano de 2004, representando separadamente os veículos ligeiros e pesados.

Figura 22 | Distribuição das DMDP de veículos ligeiros e pesados (2004)



Tal como no modelo desenvolvido por Kalinowska *et al.* [36], onde foram utilizados dados de inquéritos recolhidos pelo DIW (ver subcapítulo 3.3.1), foi efectuada uma análise de variância (ANOVA) da transformada logarítmica das distâncias percorridas recorrendo às aplicações estatísticas *R* e *GLIM*¹⁰. No estudo apresentado por Kalinowska *et al.* [36] comparou-se a transformada logarítmica com outras transformadas (transformada $\ln[DMDP - k]$, sendo k uma constante e a transformada *Box-Cox*) não obtendo vantagens na utilização destas. Analisando os veículos ligeiros e pesados separadamente, a formulação geral do modelo pode ser representada por:

$$(42) \quad \ln(DMDP) = \beta_0 + \sum_i (\beta_i \times x_i) + \varepsilon$$

Onde,

- *DMDP* – Distância Média Diária Percorrida de uma observação (veículo) (km/dia);

¹⁰ Para mais informações sobre estas duas aplicações consultar www.r-project.org ou www.nag.co.uk

- x_i – Variável explicativa, representando, neste caso, um dos parâmetros que definem cada tipo de veículo (veículos pesados – combustível, peso e ano de matrícula; veículos ligeiros – combustível, peso, cilindrada e ano de matrícula);
- β_i – Parâmetro do modelo associado à variável explicativa x_i , a estimar;
- β_0 – Factor constante, a estimar;
- ε – Erro associado a cada observação.

A equação (42) pode ser, assim, ser representada de outra forma:

$$(43) \quad DMDP = e^{\beta_0} \times \prod_i e^{\beta_i \times x_i} \times e^{\varepsilon}$$

Todas as variáveis explicativas consideradas nos modelos, tanto no caso dos veículos ligeiros como no dos pesados, são categorizadas. O facto das aplicações computacionais de análise estatística utilizadas recorrerem a métodos vectoriais e matriciais na calibração dos parâmetros do modelo (β), faz com que o modelo seja representado por factores constantes associados a cada uma das categorias de cada variável explicativa. No caso dos veículos pesados por exemplo, a variável peso apresenta cinco categorias distintas (ver Quadro 13) estando, pois, associada a cinco factores distintos.

A utilização da transformada logarítmica em variáveis categorizadas permite não só transformar a parcela $\beta_i \cdot x_i$ em factores multiplicativos c_{ij} ($= e^{\beta_i \times x_i}$), como também tornar a variável de resposta mais próxima da distribuição normal no processo de modelação, admitindo-se ainda o mesmo tipo de comportamento na distribuição dos erros obtidos [36]. Assim, a formulação genérica da equação (43) é representada, para o caso de estudo, pela equação seguinte:

$$(44) \quad DMDP = c_0 \times c_{ij} \times c_\varepsilon$$

Em que:

- $DMDP$ – Distância Média Diária Percorrida de uma observação (veículo) (km/dia);
- x_i – Variável explicativa;
- j – Categoria da variável explicativa i ;
- c_0 – Factor constante (associado à classe de referência);
- c_{ij} – Factor da categoria j associado à variável i ;
- c_ε – factor associado ao erro;

O recurso a estes factores multiplicativos torna mais fácil a interpretação do modelo de estimação, onde cada factor c_{ij} pode ser considerado como uma variação relativamente a uma classe de referência c_0 . Este factor c_0 está associado ao factor constante β_0 da ANOVA e foi obtido através da matriz de contrastes no cálculo computacional [36]. O critério de selecção da classe de referência

considerado foi o maior número de observações verificadas em cada variável explicativa, separadamente no modelo de veículos pesados e no de veículos ligeiros. O valor de c_0 representa, pois, a DMDP para um veículo caracterizado pelas classes de referência. As classes de referência consideradas são:

- **veículo pesado:** gasóleo, peso bruto entre 16 e 32 toneladas e matriculado entre 1997 e 2000;
- **veículo ligeiro:** gasolina, peso bruto entre 1300 e 3000 kg, cilindrada inferior a 1.4 l e matriculado entre 1992 e 1996.

Nos Quadro 27 e no Quadro 28 apresentam-se os resultados obtidos. Os factores indicados são já os factores multiplicativos transformados (c_{ij}). Por exemplo, um veículo ligeiro, a gasóleo com peso entre 3000 e 3500 kg, uma cilindrada superior a 2.0l e matriculado em 2001 tem um valor estimado para a DMDP em 2005 de 43.5 km/dia (= 20.72 km/dia x 1.54 x 0.94 x 0.9 x 1.61).

Importa desde já referir que os factores associados aos anos de matrícula mais recentes encontram-se sobrestimados, pelas razões já identificadas ao longo deste Capítulo, relacionadas com o plano de inspecções. No modelo referente às DMDP em 2005 e 2006, este aspecto juntamente com o menor número de observações (N), constituem os principais responsáveis pelo menor valor do coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2) relativamente ao de 2004. Não obstante, o valor de R_{aj}^2 , parâmetro estatístico que traduz a proporção da variação total da DMDP explicada pelo modelo, é bastante elevado para os modelos dos três anos considerados.

O número de observações utilizado em cada modelo não representa o número de inspecções em cada ano, mas sim o número de veículos inspeccionados, utilizados na estimação desse ano (por exemplo, um veículo ligeiro matriculado em 2001 e inspeccionado pela primeira vez em 2005 contribui para a calibração do modelo de 2004).

Tal como verificado por Kalinowska *et al.*, ao comparar os modelos de estimação de 2004, 2005 e 2006, verifica-se que o termo constante do modelo é menor quanto mais recente for o ano de estimação [36]. Como seria de esperar, relativamente à idade dos veículos, tanto para os veículos ligeiros como para os pesados, quanto maior a idade do veículo, menor a DMDP. Esta variável é sem dúvida o principal factor de variabilidade das distâncias percorridas nos veículos ligeiros, criando variações de sensivelmente $\pm 90\%$ relativamente à classe de referência (ano de matrícula entre 1992 e 1996). Já nos veículos pesados, o peso também constitui uma variável preponderante na variação das distâncias percorridas. A categoria de peso igual ou superior a 40 toneladas, que inclui os tractores rodoviários, apresenta DMDP substancialmente maiores do que as restantes categorias de peso. No entanto, não deve ser estipulada uma relação causal directa entre o peso dos veículos e as respectivas distâncias percorridas pois, neste caso, é o tipo de serviços realizados pelos veículos que influencia a DMDP. Efectivamente, no caso de veículos pesados, a natureza dos serviços realizados está intimamente ligada ao tipo, e sobretudo ao peso, do veículo utilizado.

Quadro 27 | Modelos simplificados de estimação de DMDP de veículos pesados

	Modelo de 2004				Modelo de 2005				Modelo de 2006			
	Factor	s	t	n	Factor	s	t	n	Factor	s	t	n
c_o (km/dia)	112.00	0.0060	787.1	***	76.32	0.0076	570.2	***	69.39	0.0082	514.7	***
Combustível												
Gasóleo	1.00				1.00				1.00			
Gás	1.26	0.0651	3.5	***	2.02	0.0814	8.6	***	2.24	0.0849	9.5	***
Gasolina	0.13	0.1296	-15.6	***	0.13	0.1916	-10.7	***	0.15	0.2122	-8.8	***
Outro	0.55	0.1541	-3.9	***	0.95	0.1566	-0.3		1.18	0.1662	1.0	
Peso												
3.5 - 7.5 ton	0.47	0.0078	-97.4	***	0.52	0.0100	-66.4	***	0.54	0.0109	-57.0	***
7.5 - 16 ton	0.56	0.0072	-81.6	***	0.60	0.0091	-57.1	***	0.61	0.0098	-50.7	***
16 - 32 ton	1.00				1.00				1.00			
32 - 40 ton	0.96	0.0144	-2.9	**	1.05	0.0178	2.6	*	1.04	0.0193	1.8	.
≥ 40 ton	2.00	0.0068	101.6	***	2.46	0.0086	105.3	***	2.50	0.0093	98.3	***
Ano de Matrícula												
≤ 1991	0.45	0.0071	-111.5	***	0.47	0.0092	-82.7	***	0.46	0.0103	-76.1	***
1992 - 1996	0.70	0.0075	-47.9	***	0.71	0.0098	-34.6	***	0.71	0.0107	-31.9	***
1997 - 2000	1.00				1.00				1.00			
2001	1.28	0.0098	25.5	***	1.23	0.0124	16.6	***	1.24	0.0135	16.1	***
2002	1.40	0.0110	30.9	***	1.26	0.0139	16.9	***	1.28	0.0151	16.5	***
2003	1.57	0.0128	35.2	***	1.49	0.0154	25.8	***	1.51	0.0166	24.8	***
2004	1.28	0.0131	18.9	***	1.76	0.0147	38.3	***	1.67	0.0154	33.4	***
2005					1.65	0.0180	27.8	***	1.69	0.0175	30.0	***
2006									2.12	0.0883	8.5	***
		N =	124 860			N =	121 781			N =	110 959	
		$R_{aj}^2 =$	0.9621			$R_{aj}^2 =$	0.9374			$R_{aj}^2 =$	0.9308	

Nota: s - desvio padrão; t - T-value; n -Nível de significância: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, . $p < 0.1$

Relativamente à contribuição do tipo de combustível na variabilidade de DMDP de veículos ligeiros, verifica-se uma diferença de cerca de 50% entre as distâncias percorridas pelos veículos a gasóleo relativamente à gasolina. Este valor, verificado também por Kalinowska *et al.* reflecte não só a maior mobilidade de condutores que optaram por veículos de passageiros (privados e de serviço) a gasóleo, mas sobretudo a importante contribuição dos veículos ligeiros de mercadorias, táxis e outros veículos com maiores DMDP, normalmente a gasóleo [36]. Outro aspecto observado também por Kalinowska *et al.* é o facto de os veículos ligeiros a gasóleo percorrerem distâncias cada vez maiores relativamente aos veículos a gasolina [36]. De facto, o modelo estima em 46%, 54% e 61% a diferença entre as distâncias médias por estes dois tipos de veículos, respectivamente para 2004, 2005 e 2006.

Na contribuição do tipo de combustível no modelo de veículos pesados destacam-se as elevadas DMDP dos veículos a gás, correspondentes principalmente às carreiras urbanas de transporte de passageiros e as menores distâncias percorridas por veículos pesados a gasolina, normalmente mais antigos e, logo, menos utilizados.

Kalinowska *et al.* observou que a cilindrada, variável que representa uma das parcelas utilizadas no cálculo de imposto de circulação automóvel nacional, não constitui um factor preponderante na variação das DMDP de veículos ligeiros, sobretudo nos veículos a gasóleo [36]. Efectivamente, as variações máximas de $\pm 15\%$ obtidas nos modelos nacionais de veículos ligeiros reforçam esse aspecto (ver Quadro 28).

Como já foi referido anteriormente, um parâmetro de caracterização da utilização do veículo é essencial numa estimação mais pormenorizada e ajustada às distâncias reais percorridas. A introdução desta variável torna este tipo de modelos de estimação bastante mais confiável, tendo em conta uma desagregação segundo várias categorias de utilização, e logo de distâncias percorridas completamente diferentes. Kalinowska *et al.* chegou mesmo a considerar modelos distintos consoante o tipo de utilização (veículo particular / veículo de serviço) a fim de melhor interpretar a influência dos restantes parâmetros associados às características do veículo.

A consideração de efeitos de interacção pode eventualmente melhorar os resultados aqui apresentados, sobretudo tendo em vista um modelo único com a introdução de uma variável associada ao ano de estimação [36]. No entanto, a complexidade introduzida na utilização prática dos modelos resultantes dificulta-a de forma muito significativa.

Finalmente, salienta-se a importância de uma eventual consideração de variáveis que caracterizem o condutor, em modelos semelhantes futuros. No estudo apresentado por Kalinowska *et al.*, foi recolhida informação sobre o condutor, através de inquéritos ao agregado familiar. A consideração de variáveis como a idade ou o sexo do condutor revelaram-se fundamentais para a compreensão de determinados valores estimados das distâncias percorridas, melhorando substancialmente o ajuste e os resultados do modelo [36].

5.2.5 Integração dos modelos de estimação em bases de dados estruturadas

A desagregação dos volumes de circulação depende, tal como foi referido no Capítulo 1, das necessidades dos vários agentes interessados, sendo a flexibilidade na pormenorização dos resultados obtidos por modelos sistemáticos de estimação de volumes de circulação ao nível nacional considerada uma mais valia evidente. Esta pormenorização de volumes de circulação é facilitada pela integração dos respectivos processos de cálculo em bases de dados estruturadas que contemplem um acesso flexível à informação recolhida e aos resultados obtidos.

Em sistemas caracterizados por diversas fontes de informação e elevado número de dados, como o caso do método de estimação de volumes de circulação por leitura de conta-quilómetros em inspecções técnicas apresentado, recorre-se frequentemente a aplicações que permitem uma selecção e pormenorização dos resultados pretendidos.

Na estimação dos volumes de circulação por tipo de veículo (ver subcapítulo 5.2.1) foi considerada a seguinte informação:

- número de veículos inspeccionados;
- número de veículos no parque circulante (estimado);
- tipo de combustível de cada veículo;
- peso de cada veículo;
- cilindrada de cada veículo;
- ano de matrícula de cada veículo;
- ano de estimação de cada veículo;
- leituras de conta-quilómetros de cada veículo, nos vários anos recolhidos;

Como foi referido no subcapítulo 4.2, a associação de cada veículo à respectiva marca e modelo permite um melhor aproveitamento dos dados relativos ao parque automóvel inspeccionado. Adicionalmente, nos subcapítulos 4.2, 4.3 e 5.2.1 foi salientada a importância da consideração de informação relativa ao tipo de utilização de cada veículo na estimação de volumes de circulação.

Assim, à informação considerada no método de estimação apresentado, deverá ser adicionada, em estimacões sistemáticas futuras, informação de cada veículo inspeccionado relativa a:

- marca;
- modelo;
- potência do motor;
- tipo de utilização.

Tendo em conta este vasto leque de variáveis de interesse, a utilização de aplicações que permitem uma selecção flexível dos resultados pretendidos facilita a satisfação das diversas necessidades de pormenorização dos volumes anuais de circulação ao nível nacional.

No âmbito desta dissertação, foi concebida uma aplicação exemplificativa do tipo de plataforma a utilizar na pormenorização de informação sobre volumes de circulação por tipo de veículo.

Figura 23 | Exemplo de plataforma de acesso à informação sobre volumes de circulação

The screenshot shows a web application window titled "select_categorias : Form". The main heading is "INSPEÇÕES PERIÓDICAS OBRIGATÓRIAS - LEITURA DE CONTA QUILOMETROS". Below the heading, there is a section for "Tipo de Selecção" with two radio buttons: "Selecção por marca/modelo" (which is selected) and "Selecção por categoria".

The interface is divided into several sections:

- Marcas:** A dropdown menu with options: BLUNHARDT, BLURUHARDT, BMC, BMW, BMW RECONSTRUIDO.
- Modelos:** A dropdown menu with options: F 276 DHT, F 535-48 DKZ, F530 DKZ, KFS 12, M 3335 S.
- Ano de matrícula:** A dropdown menu with options: 1991, 1992, 1993, 1994.
- Ano de inspecção:** A dropdown menu with options: 2004, 2005, 2006.
- Right-side filters:** A vertical stack of input fields for "Peso min", "Peso max", "Cilindrada min", "Cilindrada max", "Tara min", and "Tara max".
- Combustiveis:** A dropdown menu with options: ALCOOL, ELEC/GASOLIN, ELECTRICO.
- Tipo:** A dropdown menu with options: Passageiros, Misto, Mercadorias.

At the bottom of the form, there is a field "TOTAL de veículos: #Name?", three buttons: "Clear", "Aceitar", and "Cálculo", and a record navigation bar showing "Record: 1 of 1".

A ausência da informação relativa ao tipo de utilização do veículo, bem como a falta de homogeneidade da terminologia da variável marca e modelo na *BASE VEÍCULOS* impossibilitou a utilização efectiva desta plataforma no cálculo de volumes de circulação pormenorizados.

No entanto, com este exemplo pretende-se ilustrar o tipo de aplicações a implementar em métodos de estimação sistemática e flexível de volumes de circulação ao nível nacional. De facto, o recurso a uma base de dados actualizada anualmente e a aplicações semelhantes à ilustrada na Figura 23 no acesso à informação recolhida, constitui um elemento essencial na utilização do método apresentado para estimação sistemática de volumes de circulação anuais, face ao elevado volume de informação a processar.

5.3 Condicionantes e hipóteses do modelo

Ao longo deste Capítulo foram referidas algumas limitações do processo de estimação de volumes de circulação ao nível nacional proposto. Algumas destas limitações foram ultrapassadas graças à definição de simplificações, como foi o caso da definição do parque total de veículos em circulação.

No seguimento referem-se as limitações associadas ao método de estimação proposto mais relevantes, identificando possíveis medidas minimizadoras a ter em conta em modelos de estimação futuros.

5.3.1 Motociclos e outros veículos não inspeccionados

O sistema nacional de inspeções, estipulado pelo DL 554/99 [46] limita a realização de inspeções periódicas às categorias de veículos apresentadas no Quadro 4, não permitindo uma leitura sistemática dos conta-quilómetros dos restantes veículos em circulação. Neste contexto, os volumes de circulação associados aos veículos não inspeccionados, nomeadamente aos motociclos, não são contemplados pelo modelo de estimação apresentado. O manual da UNECE [89] considera os veículos de duas rodas como sendo uma categoria de veículos a apresentar nas várias estatísticas de volumes de circulação nacionais (ver Anexo II), em parte devido aos elevados valores dos índices de sinistralidade normalmente associados a este tipo de veículos.

Segundo as estatísticas da ACAP, os motociclos representam cerca de 3% do parque automóvel nacional, sendo pois uma categoria que deve ser tida em conta em estimações futuras mais pormenorizadas (ver Quadro 29), através da recolha de informação adicional.

Em contrapartida, a estimação de volumes de circulação dos restantes veículos não inspeccionados em modelos alargados de estimação de volumes de circulação nacionais, revela-se dispensável (no caso de veículos matriculados antes de 1960 e de veículos especiais) e de difícil exequibilidade face ao estatuto de alguns veículos em causa (veículos das Forças Armadas e das Forças de Segurança).

Quadro 29 | Número de motociclos e respectiva percentagem no parque automóvel nacional

Entidade	Ano	Número de unidades	Percentagem no Parque Nacional
ISP	2006	164 763	3.20%
ACAP	2006	157 720	2.73%
	2005	165 000	2.90%
	2004	159 000	2.86%

A estimação do volume de circulação através dos postos de contagem, apresentada no subcapítulo 5.2.2, permite quantificar os volumes de circulação deste tipo de veículos, na RRN. Foram estimados

em 7.951×10^8 e 8.055×10^7 vkm, os volumes de circulação em 2005 associados, respectivamente, a veículos de duas rodas e aos restantes veículos não inspeccionados, tais como tractores agrícolas e veículos especiais. Estes volumes representam 1.77% (veículos de duas rodas) e 0.18% (outros veículos não inspeccionados) do total do volume de circulação estimado para a RRN em 2005.

Assim, torna-se necessária a recolha sistemática, actualmente inexistente, de informação adicional relativamente às distâncias dos veículos não inspeccionados percorridas em estradas fora da RRN, nomeadamente dos motociclos. Segundo a UNECE [89], muitos dos países com métodos de estimação pormenorizada dos respectivos volumes de circulação nacionais recorrem a inquéritos periódicos para recolha de informação relativa às distâncias percorridas por motociclos.

5.3.2 Tráfego Transfronteiriço

O método de estimação de volumes de circulação através de leituras de conta-quilómetros, apresentado no subcapítulo 5.2.1, contabiliza as distâncias percorridas no estrangeiro por veículos nacionais sujeitos a inspecções periódicas. De facto, as inspecções não permitem qualquer associação das distâncias percorridas às respectivas redes rodoviárias, sendo necessário recorrer a outro tipo de fonte de informação na desagregação do volume de circulação por tipo de estrada. Adicionalmente, no método proposto não são consideradas as distâncias percorridas por veículos internacionais na rede de estradas portuguesas.

Já o método apresentado no subcapítulo 5.2.2, utilizado na estimação do volume de circulação de 2005 na RRN, por tipo de estrada, contabiliza as distâncias percorridas apenas em território nacional, tanto por veículos portugueses como estrangeiros.

No subcapítulo 5.4.2, são apresentadas estimativas dos volumes de circulação de 2005 por veículos sujeitos a inspecção no conjunto das estradas que não pertencem à RRN. Estes valores foram determinados através da diferença entre o volume total estimado a partir das inspecções e volume de circulação na RRN estimado a partir dos postos de contagem. Admitiu-se, assim, que o volume total de circulação de veículos nacionais no estrangeiro é igual ao volume de veículos internacionais em território português. Esta hipótese é a habitualmente seguida pelos países que não dispõem de informação relativa aos volumes de circulação internacionais [89]. No manual proposto pela UNECE [89] considera-se a estimação de volumes de circulação fronteiriços, como uma das principais variáveis a recolher na caracterização de volumes de circulação nacionais, salientando-se, todavia, a dificuldade habitual na sua definição. Este manual indica também os métodos utilizados por alguns países na recolha de informação sobre volumes de circulação internacionais: estatísticas relacionadas com o turismo, portagens, contagens nas fronteiras, inquéritos...

Com a abertura das fronteiras na UE, a aplicação de alguns métodos tornou-se difícil, tendo grande parte dos países optado pela realização de inquéritos. Na Roménia, por exemplo, eram recolhidas as leituras de conta-quilómetros de todos os veículos estrangeiros à entrada e saída do país, nos vários postos fronteiriços, estando actualmente em análise um novo sistema de recolha de informação [89].

Em Portugal, a informação sobre tráfego transfronteiriço é limitada e bastante recente, resumindo-se às estatísticas do Observatório Transfronteiriço Espanha/Portugal (OTEP) e à informação sobre veículos pesados de mercadorias, recolhida através do ITRM.

Criado em Janeiro de 2001 no âmbito da Cimeira Luso-Espanhola, o OTEP visa a implementação de um sistema de supervisão do tráfego transfronteiriço entre Portugal e Espanha, através da realização de inquéritos anuais. A quarta e última edição do relatório integral do OTEP foi publicada em Março de 2006, com valores referentes ao período 1995 a 2004 [27].

No relatório do OTEP são identificados, para o ano de 2004, um total de sessenta locais de passagem por estradas asfaltadas de competência municipal, provincial, regional ou estatal. Nestas passagens foi estimado um TMDA total de 87 000 veículos diários em 2004 (76 000 veículos ligeiros e 11 000 pesados), registando-se um aumento de 17.5% relativamente a 2003.

As estatísticas da OTEP correspondem, sobretudo, a estimativas do número de veículos, passageiros ou toneladas de mercadorias que atravessam a fronteira entre Portugal e Espanha, não sendo referido, todavia, o número de quilómetros percorridos por esses veículos em território nacional ou estrangeiro. Assim, apesar de do OTEP apresentar indicadores de referência nos transportes transfronteiriços em Portugal, necessitaria de algumas adaptações para a aplicação directa em modelos de estimação de volumes de circulação nacionais. Refere-se, contudo, a importância da análise aprofundada dos indicadores apresentados na OTEP, tendo em vista a respectiva utilização em modelos futuros.

De forma idêntica, o ITRM recolhe informação que não permite uma utilização directa em modelos de estimação de volumes de circulação nacionais. São publicadas anualmente, pelo INE, estimativas dos volumes de circulação associados a transporte nacional e internacional, recorrendo ao ITRM (ver Quadro 10). No entanto, para cada um destes volumes, desconhece-se a parcela percorrida em território português, sendo necessária a recolha de informação adicional para a especificação da rede à qual os volumes de cada tipo de transporte associados.

5.3.3 A rede

A *BASE RRN* utilizada como fonte de informação das características geométricas e de tráfego, apresenta uma boa pormenorização de todos os trechos da RRN. A utilização desta base em estimações sistemáticas implica obrigatoriamente uma actualização anual dos respectivos registos. De facto, para além da alteração das características dos trechos existentes e da abertura de novos lanços, importa, também, registar as alterações verificadas ao longo do ano ao nível do tráfego.

A *BASE RRN* representa apenas uma parte da rede rodoviária em território português, não havendo actualmente informação sistemática sobre as características das restantes estradas. Na maioria dos métodos internacionais de estimação de volumes de circulação com recurso a postos de contagem, as redes locais não são contempladas pelo processo de recolha de informação, sendo pois necessário o recurso a outras fontes. Já para os métodos de estimação através de leituras de conta-quilómetros, os volumes de circulação da rede local são contabilizados, mas não desagregados dos

valores totais estimados. De forma a superar esta falta de informação relativamente aos volumes de circulação em redes locais, os países recorrem habitualmente a métodos de contagem em amostras da rede ou a inquéritos que permitem estimar em que redes são percorridas as distâncias de cada veículo.

O estudo de Fricker *et al.* [24], realizado em 2002, sintetiza os vários métodos de estimação de volumes de circulação da rede local nos vários estados americanos, constituindo, assim, uma boa referência neste contexto.

O método de estimação apresentado neste Capítulo, recorrendo às leituras de conta-quilómetros e aos postos de contagem da RRN, permitiu a estimação de 4.272×10^{10} vkm em 2005 associado a estradas não classificadas no PRN 2000. Este volume de circulação representa 49% do volume total nacional estimado a partir das leituras em inspecções técnicas, merecendo, pois, uma análise futura mais pormenorizada.

5.3.4 Parque automóvel em circulação

A definição do parque automóvel em circulação constituiu uma tarefa bastante delicada no método de estimação apresentado. Os vários registos do parque automóvel nacional (ISP, DGV e ACAP) apresentam todos eles diferenças e simplificações no processo de estimação utilizado, que dificultam um consenso sobre os números exactos do parque nacional circulante (ver subcapítulo 4.3).

O método apresentado recorreu, na definição do parque total, aos registos de veículos inspeccionados, recolhidos junto da DGV, e de veículos recentes indicados pela ACAP, para os três anos em análise (2004, 2005 e 2006). Neste processo foram consideradas várias simplificações, a fim de permitir a estimação do parque segundo as várias variáveis consideradas (ver subcapítulo 5.2.1). Todos estes procedimentos tornam os resultados mais frágeis relativamente ao parque real em circulação, mas permitem obter uma estimativa satisfatória do mesmo, tendo em conta o âmbito alargado a que se propõe o método apresentado.

Os registos de veículos recentes da ACAP utilizados apresentam, todavia, algumas incoerências que devem ser esclarecidas em modelos futuros. para veículos pesados e ligeiros, respectivamente. Ao analisar os valores dos Quadro 19 e Quadro 22, onde são apresentados os valores do parque automóvel indicados pela ACAP, verifica-se a existência de um crescimento do número de veículos em algumas categorias de ano de matrícula, para os três anos considerados. Este crescimento deve-se ao facto de apenas o número de veículos matriculados no ano de estimação do parque serem alvo de medição por parte da ACAP, sendo os restantes valores obtidos através de modelos de estimação próprios. Estes modelos dão origem também a uma diferença considerável ao nível dos veículos mais antigos, entre os registos da ACAP e os veículos inspeccionados (ver Quadro 19 e Quadro 22).

5.3.5 Veículos Recentes

Uma das principais dificuldades do método proposto é a estimação das distâncias percorridas por veículos recentes. De facto, as inspecções periódicas não obrigam à realização de inspecções durante um determinado período de tempo após a data de matrícula. Este período apresenta valores mais elevados (quatro anos) para veículos ligeiros de passageiros, justamente a categoria mais representada no parque automóvel nacional.

As DMDP de veículos ligeiros mais recentes estimadas numa primeira fase, não contemplam as inspecções periódicas de veículos ligeiros de passageiros particulares, tendo sido estimadas apenas com os valores associados as restantes tipos de veículos ligeiros e a eventuais inspecções extraordinárias. Posteriormente, estes valores foram recalculados através de métodos simplificados (ver subcapítulo 5.2.1) a fim de obter estimativas mais próximas da realidade.

Contudo, os métodos de reestimação utilizados tanto para os veículos ligeiros como para os pesados, necessitam de confirmação possível, apenas, através da recolha de informação adicional, nomeadamente das distâncias percorridas por uma amostra significativa de veículos recentes.

5.3.6 Processo de correcção de leituras de conta-quilómetros

Na estimação dos volumes de circulação foi utilizado um processo de correcção das leituras de conta-quilómetros automático (Figura 14). A maioria dos métodos internacionais de estimação de volumes de circulação, dispõe de informação relativa à utilização de cada veículo, permitindo uma correcção adequada às distâncias praticáveis por cada tipo de utilização [28].

Independentemente do nível de pormenorização da informação utilizada em cada modelo de estimação, as correcções manuais, individualizadas para cada veículo, permitem um melhor aproveitamento dos dados recolhidos e uma estimativa do volume de circulação final mais próxima dos valores reais.

Em muitos modelos internacionais a correcção é feita anualmente de forma manual ou com algoritmos específicos para cada tipo de utilização do veículos [28], reduzindo assim a quantidade de dados a processar. No entanto, as leituras de cada ano (corrigidas) são agregadas às leituras anteriores (corrigidas em estimativas anteriores), permitindo não só a estimação do volume do último ano, como uma actualização das estimativas de anos anteriores [87].

No método utilizado na estimação dos anos de 2004, 2005 e 2006, foram utilizados um total de cerca de 15 milhões de leituras, sendo pois, inconcebível um processamento manual de todos os registos na realização deste trabalho. Contudo, salienta-se a importância da realização de correcção manual de leituras erróneas, a obtenção de melhoras estimativas.

5.4 Resultados obtidos na estimação de volumes de circulação nacionais

5.4.1 Volumes de circulação por tipo de veículo

O método apresentado no subcapítulo 5.2.1 permitiu a estimação dos volumes de circulação do parque de veículos sujeitos a inspeções técnicas, para os anos de 2004, 2005 e 2006. Tal como foi referido anteriormente, estes volumes foram calculados para o parque estimado através dos registos de veículos inspeccionados (*Parque Estimado*) e para o parque indicado pela ACAP (*Parque ACAP*). Estes dois parques dão origem a diferentes estimativas do volume de circulação nacional, sobretudo devido à parcela das distâncias percorridas pelos veículos mais antigos. No Quadro 30 são apresentados os valores totais do volume anual de circulação em Portugal para ambos os parques automóveis considerados.

Relativamente a 2004 as estimativas do *Parque Estimado* e do *Parque ACAP* são bastante próximas, apresentando uma diferença de 0.8%. Todavia, para os anos de 2005 e 2006 essa diferença passa para 3.7% e 5.0% respectivamente. Esta diferença pode ser justificada pelo facto das inspeções periódicas recolhidas apresentarem melhor cobertura e, logo, melhores estimativas das distâncias percorridas em 2004 do que nos outros dois anos considerados (ver subcapítulo 5.2.1).

Quadro 30 | Volumes de circulação estimados, por tipo de veículo

(vkm)		2006	2005	2004
Veículos Pesados	Parque Estimado	6.319E+09	6.772E+09	7.691E+09
	Parque ACAP	6.413E+09	6.526E+09	7.104E+09
Veículos Ligeiros	Parque Estimado	8.170E+10	7.992E+10	8.012E+10
	Parque ACAP	8.939E+10	8.669E+10	8.644E+10
TOTAIS	Parque Estimado	8.644E+10	8.669E+10	8.939E+10
	Parque ACAP	9.072E+10	8.991E+10	9.015E+10

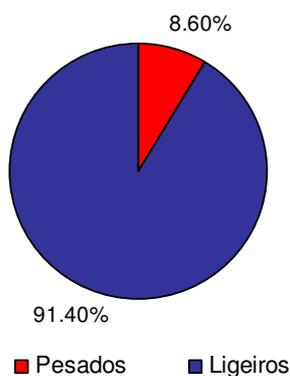
Ambos os parques estão associados a uma diminuição do volume de circulação de 2004 relativamente a 2005. As estimativas do volume de circulação do *Parque Estimado* indicam, ainda, um ligeiro decréscimo de 2005 para 2006, enquanto que esta tendência não é registada nas estimativas dos volumes de circulação do *Parque ACAP*.

Tendo em conta que, segundo o plano de inspeções periódicas estipulado pela legislação em vigor, as inspeções cobrem a totalidade dos veículos antigos do parque nacional em circulação, é de esperar que os valores para este tipo de veículos do parque estimado neste trabalho apresente valores mais próximos da realidade do que as estatísticas da ACAP. De facto, a ACAP recorre a uma curva de esperança de vida do veículo para estimar o número de veículos em fim de vida e, logo, o

número restante de veículos em circulação, não apresentando, assim, qualquer medição directa do número de veículos antigos existente no parque automóvel. Face a estas fragilidades, optou-se por apresentar neste Capítulo unicamente a análise pormenorizada dos resultados obtidos para os volumes de circulação nacionais do *Parque Estimado*. A análise é também centrada nos valores obtidos para o ano com melhor estimação, o ano de 2004, sendo salientadas oportunamente as diferenças relevantes observadas em relação a 2005 e 2006.

Como seria de esperar, a contribuição dos veículos ligeiros para o volume de circulação total (91.4%) é substancialmente maior do que a dos veículos pesados. O facto de cerca de 97.4% do parque automóvel (*Parque Estimado* para 2004) ser classificado como ligeiro, contribui bastante para esta diferença. A percentagem do volume de circulação nacional associado a veículos ligeiros, registada para o ano de 2004 é a menor nos três anos de estimação considerados, sendo de 92.2% para 2005 e 92.7% para 2006.

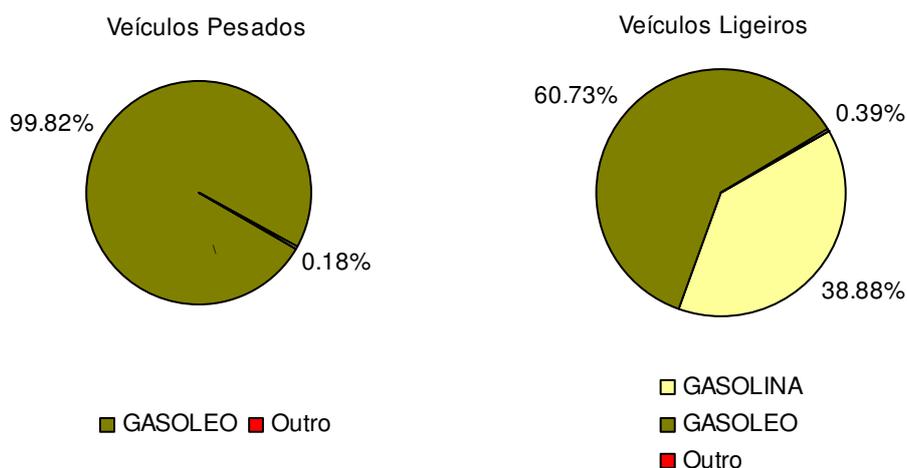
Figura 24 | Distribuição dos volumes de circulação nacionais por tipo de veículo (2004)



Relativamente à contribuição de diferentes tipos de veículos segundo o tipo combustível utilizado, os veículos pesados apresentam contribuições totalmente distintas dos veículos ligeiros. Na Figura 25 são apresentadas as percentagens de volumes de circulação por tipo de combustível, para o ano de 2004.

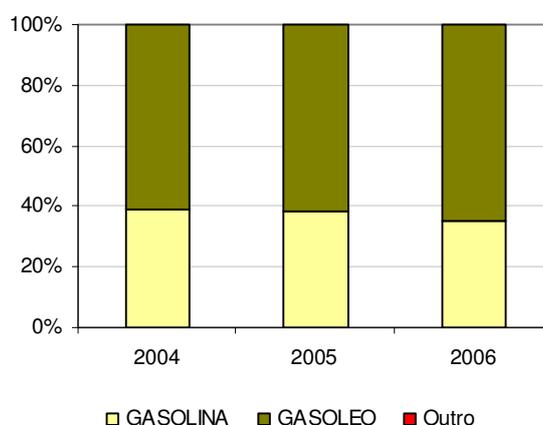
O volume de circulação de veículos pesados está, quase exclusivamente, associado a distâncias percorridas por veículos a gasóleo. De facto, o valor de cerca de 99.8% não surpreende, tendo em conta o peso das longas distâncias percorridas por veículos pesados, sobretudo de mercadorias, que utilizam combustíveis mais baratos e eficientes, como o gasóleo. Interessante é o facto de em 0.18% do volume de circulação associados a outros combustíveis, 0.17% estarem associados a veículos a gás. Esta contribuição substancialmente maior do que a gasolina, é sobretudo devida às distâncias percorridas por veículos pesados de transporte público urbano. O desvio padrão bastante pequeno calculado para as DMDP de veículos pesados a gás (inferior a 20% da DMDP em 2004 – ver Anexo IV) está associado ao carácter regular das deslocações deste tipo de veículos, característica frequente dos transportes públicos urbanos.

Figura 25 | Distribuição dos volumes de circulação por tipo de combustível (2004)



O gasóleo constitui também o principal combustível do volume de circulação nacional de veículos ligeiros, apesar do número de veículos ligeiros a gasolina representar cerca de 54.5% do parque automóvel ligeiro em 2004. Os veículos ligeiros de mercadorias e outros tipos de veículos com DMDP acima da média associada a veículos ligeiros são tipicamente veículos a gasóleo, fazendo com que o volume de circulação associado a este combustível seja superior ao da gasolina. Registou-se, ainda, um aumento da percentagem de volume de circulação nacional de veículos ligeiros a gasóleo que passou de 60.7% para 61.3% entre 2004 e 2005 e de 61.3% para 64.8% entre 2005 e 2006. Apesar destes valores poderem vir a ser actualizados com a utilização das leituras de inspecções realizadas entre 2007 e 2010, o crescimento da percentagem de volume de circulação associado a veículos ligeiros a gasóleo é indubitável tendo em conta a percentagem cada vez maior de veículos a gasóleo no parque nacional de veículos ligeiros (45.3% em 2004, 47.4% em 2005 e 50.6% em 2006 - Figura 26).

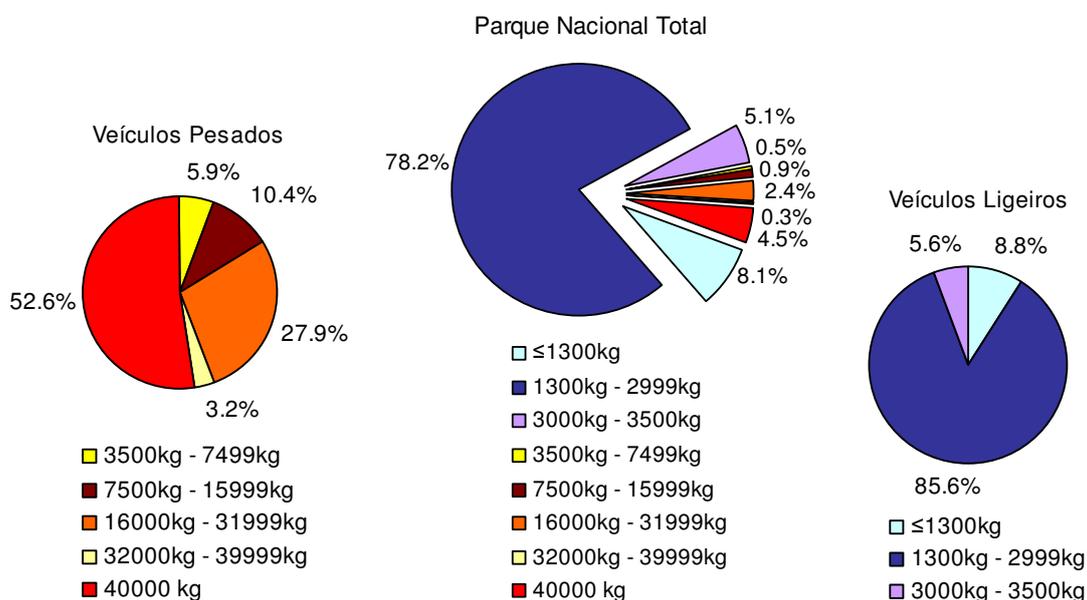
Figura 26 | Evolução da distribuição dos volumes de circulação por tipo de combustível de veículos ligeiros



Na Figura 27 são apresentadas as percentagens de cada categoria de peso considerada relativamente ao valor do volume de circulação nacional estimado para 2004, distinguindo-se, desde

logo, a forte contribuição dos veículos com peso entre 1300 e 3000 kg. É nesta categoria que se inclui a maioria dos veículos ligeiros de passageiros, que, como já foi referido anteriormente, mais contribuem para o volume de circulação nacional.

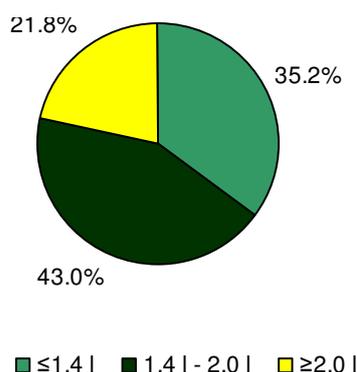
Figura 27 | Distribuição dos volumes de circulação nacionais por categoria de peso (2004)



Logo a seguir, surgem as restantes categorias de veículos ligeiros consideradas: veículos com peso igual ou inferior a 1300 kg, caracterizados maioritariamente por veículos mistos ou de passageiros a gasolina; veículos com peso entre 3000 e 3500 kg, categoria composta principalmente por veículos ligeiros de mercadorias. Só após estas três categorias de veículos ligeiros é que surge uma categoria de veículos pesados: veículos com peso igual ou superior a 40 toneladas. Esta categoria é constituída por menos de 37000 veículos (valor estimado para 2004), representando cerca de 27.6% do parque nacional de veículos pesados. O facto desta categoria apresentar as maiores DMDP de todas as categorias consideradas, faz com que ela represente mais de metade do volume de circulação de veículos pesados e cerca de 4% do volume de circulação total nacional. Importa referir que para esta categoria de veículos pesados com peso igual ou superior a 40 toneladas, uma diferenciação entre as distâncias percorridas em território nacional e em países estrangeiros é essencial, face às frequentes características internacionais das viagens praticadas por este tipo de veículos.

Na Figura 28 apresentam-se as percentagens do volume de circulação nacional de veículos ligeiros em 2004, por categorias de cilindrada. Os veículos ligeiros com cilindrada entre 1.4 l. e 2.0 l. são os que mais contribuem para o volume de circulação total nacional, com uma percentagem de 43.0%. Todavia, os veículos com cilindrada inferior a 1.4 l. são os mais representados no parque nacional, com cerca de 49% do número total de veículos ligeiros. As percentagens registadas em 2004, indicadas na Figura 28, mantiveram-se praticamente constantes para os restantes anos de estimação, verificando-se, unicamente, uma ligeira transferência (1,5%) do volume de circulação de veículos de cilindrada superior a 2.0 l. para a categoria dos veículos com cilindrada entre 1.4 e 2.0 l., entre 2004 e 2006.

Figura 28 | Distribuição dos volumes de circulação de veículos ligeiros por categoria de cilindrada (2004)

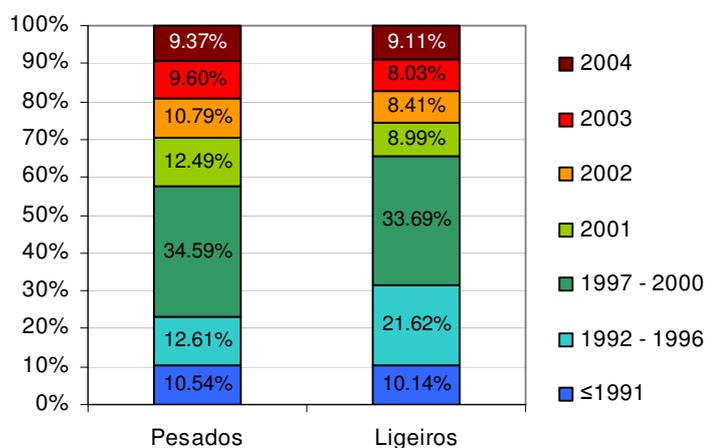


Relativamente às distribuições de volumes de circulação por ano de matrícula, verificam-se igualmente diferenças entre os volumes de circulação de veículos pesados e os de ligeiros. Na Figura 29 apresentam-se as percentagens do volume de circulação total em 2004, separadamente para veículos ligeiros e pesados, consoante a categoria de ano de matrícula. Verifica-se que os veículos “antigos” contribuem mais para o volume de circulação de veículos ligeiros do que para o de veículos pesados.

Relativamente aos veículos ligeiros, o primeiro ano de matrícula é aquele que mais contribui para o volume de circulação nacional. Em 2004, 9.11% do volume de circulação de veículos ligeiros está associado aos veículos matriculados nesse mesmo ano, não sofrendo grandes variações nos restantes anos de estimação (9.67% para 2005 e 8.93% para 2006). Todavia, esses veículos representavam somente 5.4% do parque nacional de veículos ligeiros em 2004.

Relativamente aos veículos pesados, os veículos matriculados em 2001 são os que mais contribuem para o respectivo volume de circulação e são, simultaneamente os com maior peso no parque nacional de veículos pesados, representando 8.2% do parque pesado estimado para 2004.

Figura 29 | Distribuição dos volumes de circulação de veículos ligeiros por categoria de cilindrada (2004)



A distribuição do volume de circulação por categorias de idade varia, também, consoante as restantes características do veículo consideradas. De facto, as percentagens agregadas apresentadas na

Figura 29 sofrem variações consideráveis quando se desagregam os veículos consoante o tipo de combustível, de peso ou de cilindrada.

Dos 71 grupos de veículos pesados adoptados (ver Quadro 13), apresentados Anexo XII, cinco grupos representam 99.8% do volume de circulação nacional de veículos pesados:

- Veículos pesados a gasóleo com peso bruto entre 3.5 e 7.5 toneladas;
- Veículos pesados a gasóleo com peso bruto entre 7.5 e 16 toneladas;
- Veículos pesados a gasóleo com peso bruto entre 16 e 32 toneladas;
- Veículos pesados a gasóleo com peso bruto entre 32 e 40 toneladas;
- Veículos pesados a gasóleo com peso bruto igual ou superior a 40 toneladas.

Estes grupos e o respectivo valor do volume de circulação em 2004 são apresentados na Figura 30. Tal como foi verificado na distribuição dos volumes de circulação por categoria de peso (ver Figura 27) salienta-se a importância do volume de circulação associado a veículos com 40 ou mais toneladas, onde se inserem os tractores rodoviários, veículos que habitualmente apresentam distâncias percorridas anuais muito superiores aos restantes veículos.

Na Figura 31 são apresentadas as percentagens correspondentes às várias categorias de ano de matrícula, para o volume de circulação destes cinco grupos de veículos pesados. Verifica-se que quanto maior o valor da variável peso, maior a contribuição dos veículos recentes no volume de circulação do respectivo grupo. De facto, a categoria dos veículos com peso igual ou superior a 40 toneladas é a que apresenta maiores contribuições dos veículos mais recentes, quando comparada com as outras quatro categorias.

Figura 30 | Volume de circulação em 2004 dos principais tipos de veículos pesados

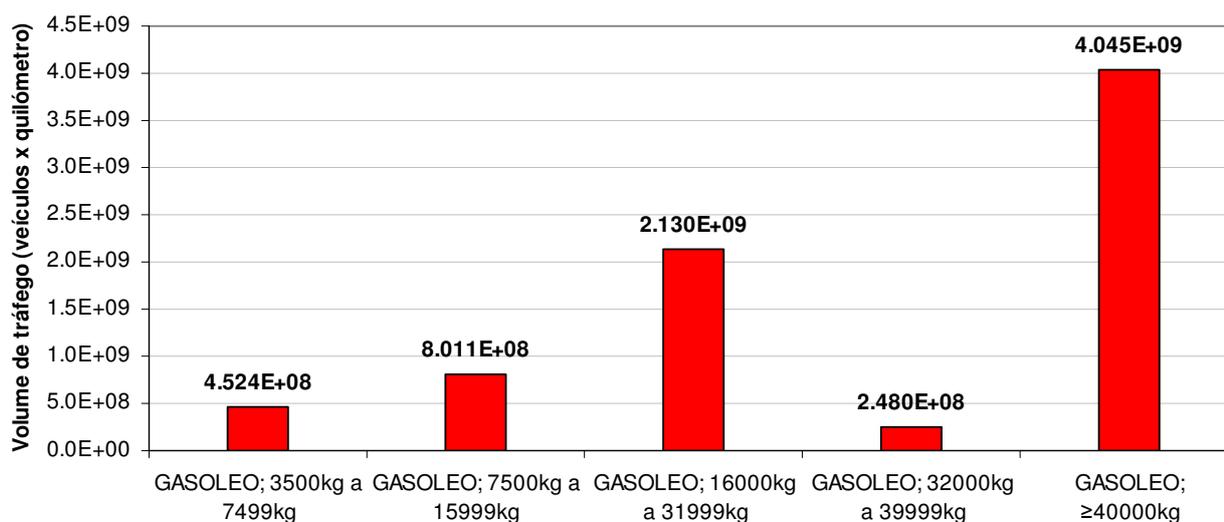
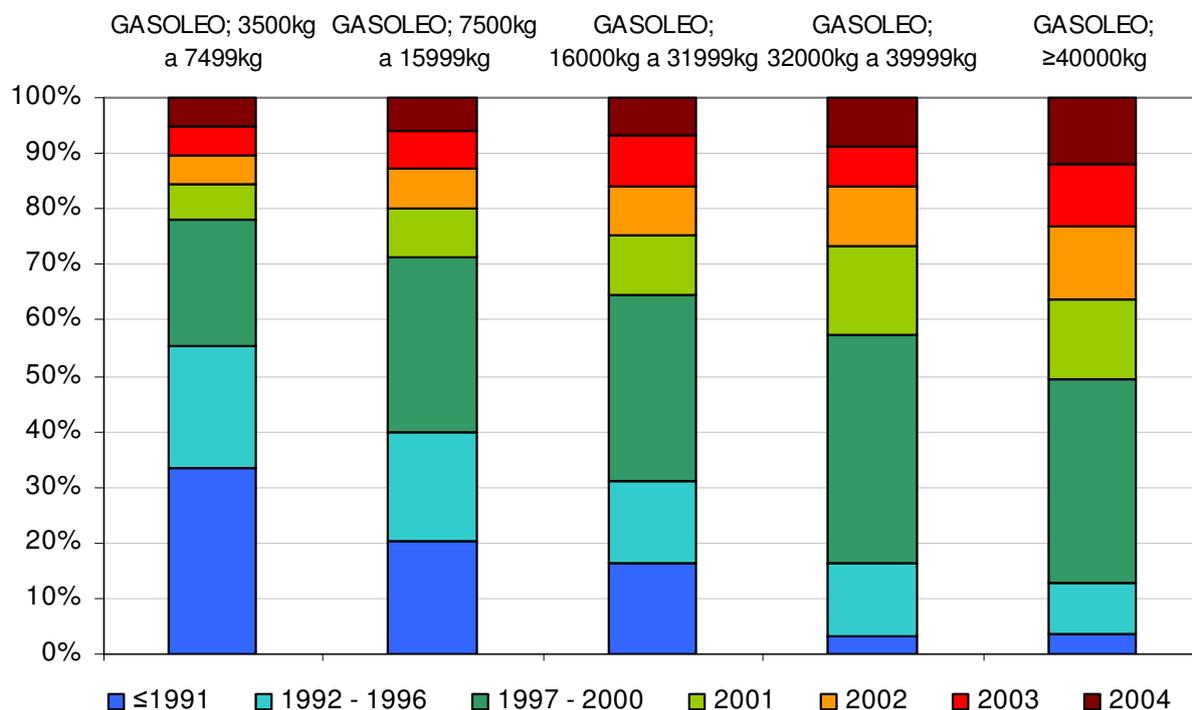


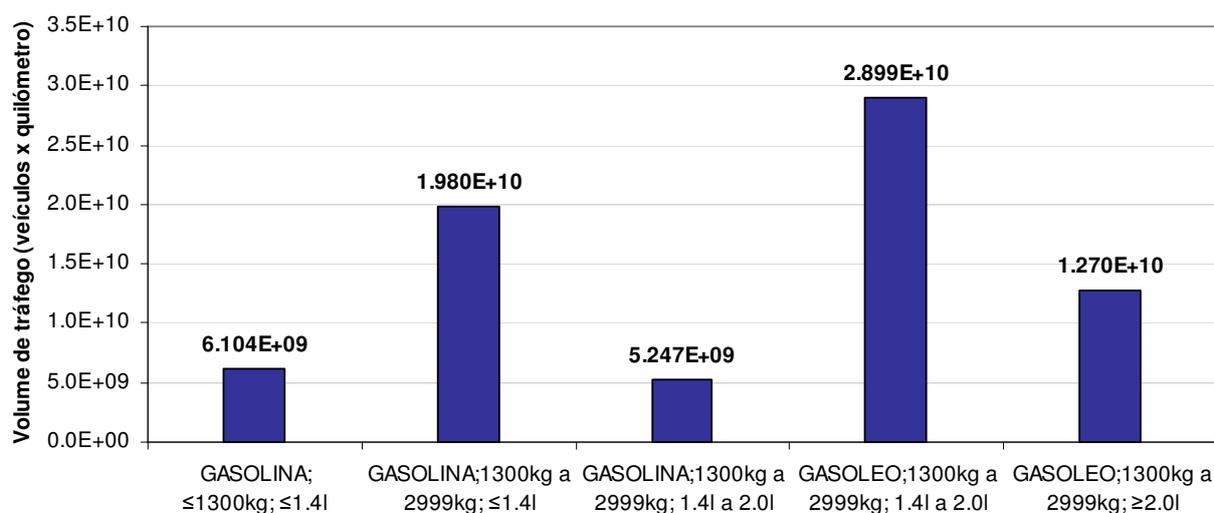
Figura 31 | Distribuição dos volumes de circulação de alguns grupos de veículos pesados por categoria de ano de cilindrada (2004)



Os vários grupos de veículos ligeiros considerados apresentam, também, diferentes distribuições do volume de circulação segundo categorias de ano de matrícula. Na Figura 32 são apresentados os volumes de circulação de 2004 para cinco dos 260 tipos de veículos do parque automóvel, os quais representam, no seu conjunto, cerca de 89% do volume de circulação nacional de veículos ligeiros nesse ano. Para cada um destes grupos foram analisadas as distribuições do respectivo volume de circulação segundo as categorias consideradas para o ano de matrícula (ver Figura 33 e Figura 34).

Tal como para os veículos pesados, verifica-se que nos veículos ligeiros com maior peso a contribuição de veículos mais recentes para o volume de circulação é maior. Como já foi verificado anteriormente, os veículos ligeiros com peso entre 1300 e 3000 kg são os que mais contribuem para o volume de circulação ao nível nacional, muito pelo facto de representarem mais de 80% do parque automóvel ligeiro estimado. Desta contribuição, mais de 60% do volume de circulação de 2004 e mais de 70% do volume de 2006, está associado a veículos matriculados após 1997. Já para os veículos ligeiros mais leves, com peso bruto inferior a 1300 kg, essa contribuição fica sempre abaixo dos 15% em 2004. De facto, o volume de circulação associado ao conjunto de veículos com peso inferior a 1300 kg, é caracterizado por uma contribuição de veículos mais velhos (maioritariamente a gasolina) muito importante.

Figura 32 | Volume de circulação em 2004 para os principais tipos de veículos ligeiros



Verifica-se igualmente que nos grupos de veículos ligeiros a gasóleo, a contribuição de veículos recentes é bastante maior do que nos grupos a gasolina. Os veículos matriculados após 1997 representavam mais de 80% do volume de circulação de veículos a gasóleo com peso entre 1300 e 3000 kg e com cilindrada entre 1.4 e 2.0 l. Isto deve-se ao facto dos veículos de serviço com maiores distâncias anuais percorridas, serem habitualmente veículos a gasóleo de matrícula mais recente, quando comparados com a maioria dos veículos privados [36]. Adicionalmente, tem-se assistido nos últimos anos a um número cada vez maior de vendas de veículos ligeiros a gasóleo, tendo em conta os preços dos combustíveis e as eficiências energéticas associadas. Ao comparar a Figura 33 e a Figura 34, verifica-se que, nos grupos a gasóleo, a contribuição de veículos recentes é consideravelmente maior em 2006 do que em 2004. Estas duas Figuras evidenciam, aliás, a variabilidade existente, não só entre os diferentes grupos, mas também entre os vários anos de estimação.

Figura 33 | Distribuição dos volumes de circulação de alguns grupos de veículos ligeiros por categoria de ano de matrícula (2004)

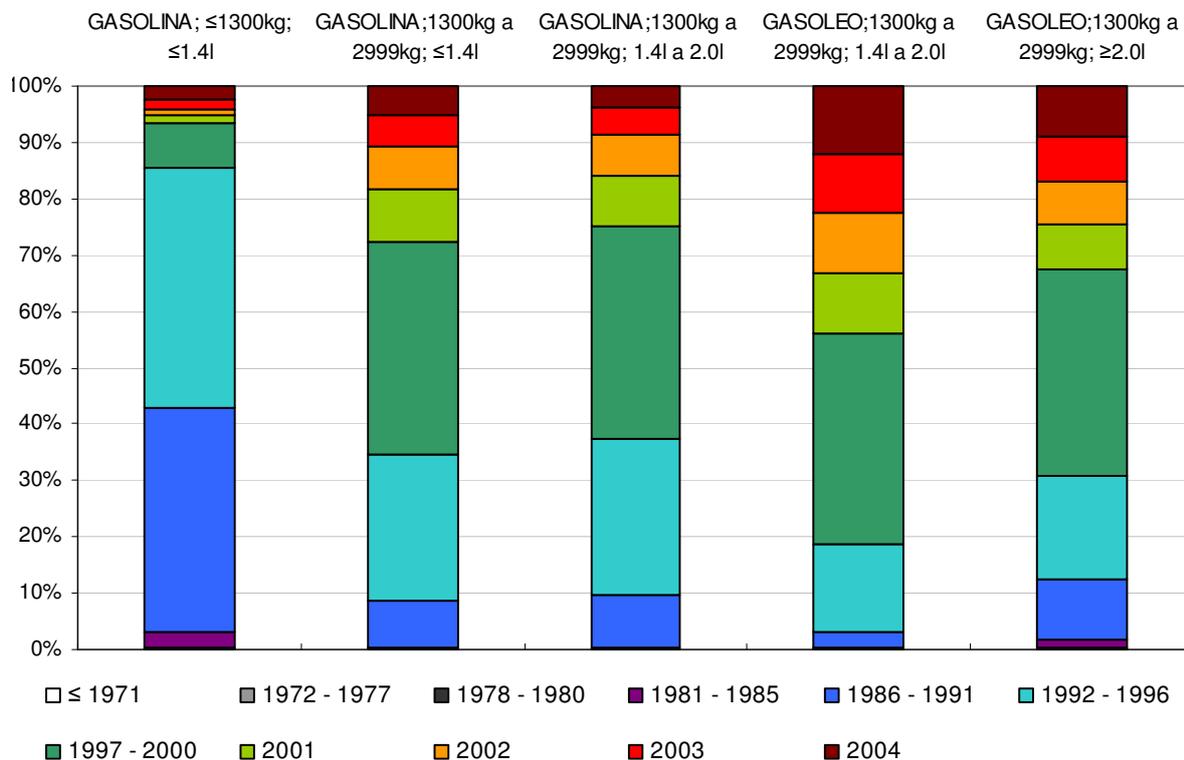
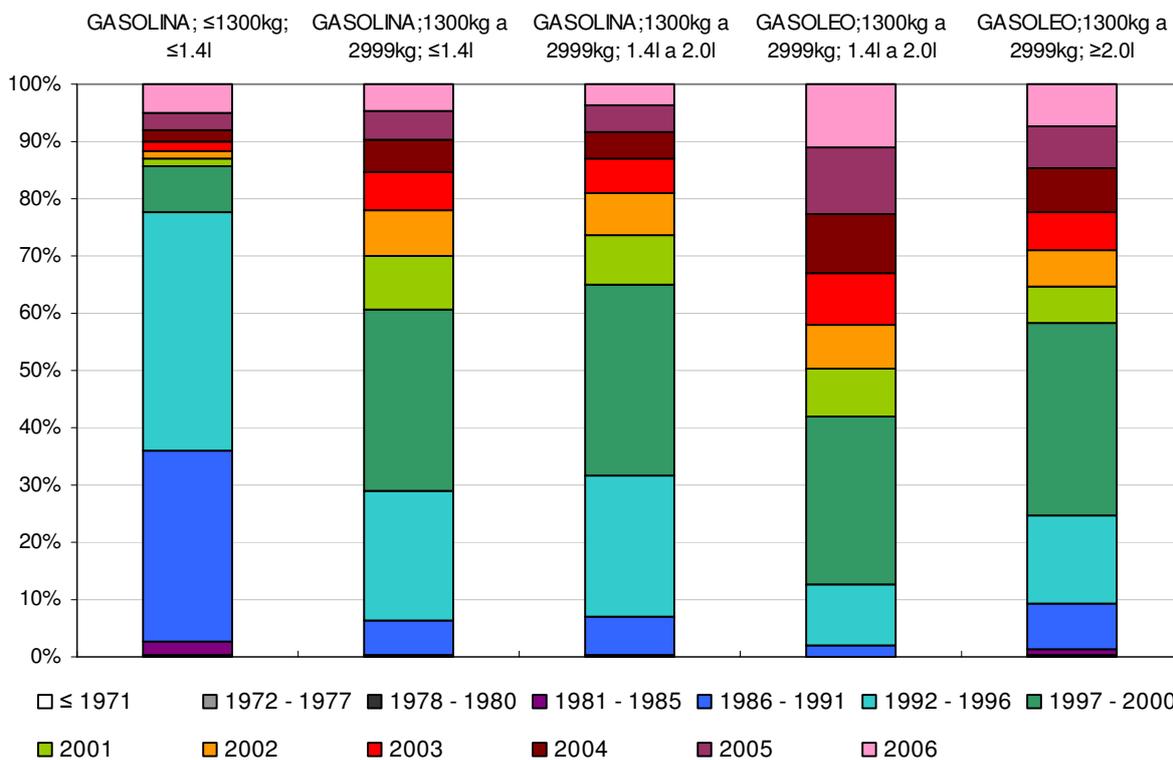


Figura 34 | Distribuição dos volumes de circulação de alguns grupos de veículos ligeiros por categoria de ano de matrícula (2006)



Apesar das desagregações segundo as características do veículo conseguidas neste trabalho constituírem uma mais valia, face aos valores agregados existentes até então [4], foi possível constatar a importância da introdução da variável *tipo de utilização* em modelos futuros, a fim de responder não só às necessidades de determinados agentes interessados mas também de melhorar substancialmente as estimativas obtidas.

Tal como foi referido logo no subcapítulo 1.1, a desagregação das distâncias percorridas consoante as características dos veículos é essencial na satisfação das necessidades de alguns agentes interessados na quantificação do uso do automóvel. Esta desagregação permite a associação de determinados padrões de mobilidade às propriedades dos veículos consideradas. Os veículos ligeiros destinados ao transporte de mercadorias, por exemplo, com maiores distâncias anuais percorridas, são maioritariamente veículos a gasóleo e com pesos e cilindrada elevados, quando comparados com os chamados “utilitários” destinados maioritariamente para transporte individual de passageiros. Todavia, a relação *distância percorrida - características do veículo* não é directa, pois é o tipo de utilização do veículo que habitualmente define ambas as variáveis. Um exemplo deste aspecto é facilmente observado através da análise das características do *Parque Estimado* relativamente aos veículos ligeiros com peso superiores a 3000 kg, os quais são, em larga maioria, veículos destinados ao transporte de mercadorias. Este grupo de veículos, que conta com um total de 222 727, representam cerca de 4.1% do *Parque Estimado* de veículos ligeiros de 2004 e estão associados a 5.6% do respectivo volume de circulação, apresentando, assim, distâncias médias anuais superiores à média dos veículos ligeiros. Efectivamente, os veículos de maior peso têm, em média, maiores distâncias percorridas do que veículos com pesos menores. Todavia, não é pelo facto destes veículos terem um peso maior que percorrem maiores distâncias anuais do que os restantes veículos ligeiros, mas sim devido ao tipo de utilização a que são destinados. O facto de não ter sido possível desagregar os volumes de circulação segundo o *tipo de utilização* do veículo dificulta a tarefa de interpretação das distribuições dos volumes segundo o peso, o tipo de combustível, a cilindrada ou o ano de matrícula.

5.4.2 Volumes de circulação por tipo de estrada

O método apresentado no subcapítulo 5.2.2 permitiu a estimação dos volumes de circulação na RRN para o ano de 2005. No método proposto foram utilizados essencialmente os dados de contagem de 560 postos (listados no Anexo I) e informação relativa à infra-estrutura da RRN constante na *BASE RRN*.

O volume de circulação total em 2005 na RRN foi estimado em 4.485×10^{10} vkm, dos quais 4.397×10^{10} vkm correspondem ao volume de circulação anual de veículos inspeccionados. Este valor está associado aos 1541 trechos registados na *BASE RRN*, perfazendo um total de 14 358 km de estrada. Foram ainda estimados em 7.951×10^8 e 8.055×10^7 vkm, os volumes de circulação em 2005 associados, respectivamente, a veículos de duas rodas e aos restantes veículos não inspeccionados, tais como tractores agrícolas ou veículos especiais.

No Quadro 31 são apresentados os principais resultados da estimação de volumes de circulação na RRN de veículos sujeitos a inspeções técnicas, e comparados com os valores totais estimados a partir das inspeções técnicas a veículos, apresentados no subcapítulo anterior.

Quadro 31 | Volumes de circulação de veículos sujeitos a inspeção em 2005, por tipo de rede

(vkm)	TOTAIS	RRN	Outras estradas
Pesados	6.772E+09	4.427E+09	2.346E+09
Ligeiros	7.992E+10	3.954E+10	4.038E+10
Total	8.669E+10	4.397E+10	4.272E+10

O volume de circulação em 2005 associado à RRN representa 50.7% do volume de circulação total de veículos sujeitos a inspeção periódica obrigatória. Como seria de esperar, quando desagregam-se os valores segundo veículos pesados e ligeiros, a parcela do volume de circulação correspondente à RRN é bastante distinta. Os veículos pesados percorrem a maioria das suas distâncias na RRN, apresentando uma percentagem de 65.4% do volume de circulação associado à rede nacional. Já relativamente aos veículos ligeiros, menos de metade do volume de circulação (49.5%) está associado à RRN, devido, sobretudo, à distâncias percorridas em redes locais de zonas urbanas.

Como já foi referido no subcapítulo 4.4, a análise dos volumes de circulação por tipo de estradas fora da RRN é dificultada pelo facto de não serem alvo, salvo raras excepções, de levantamentos sistemáticos de volume de circulação. A rede de estradas que não pertence à RRN, inclui estradas municipais em zonas urbanas e em zonas rurais, estradas a municipalizar ainda sob administração da EP, caminhos florestais e privados. Face à diversidade das características geométricas e de tráfego destas estradas, torna-se bastante delicado fazer qualquer consideração ou análise pormenorizada ao nível agregado. Importa lembrar que o valor do volume de circulação associado a estradas fora da RRN (*Outras estradas*) foi determinado a partir da diferença entre o volume de circulação total estimado através das leituras de conta-quilómetros e o volume na RRN estimado a partir dos registos da *BASE RRN* e dos dados recolhidos pelos postos de contagem.

No Quadro 32 são apresentados os principais resultados da estimação de volumes de circulação na RRN, por tipo de estrada, indicando ainda as características dos grupos de estradas definidas no subcapítulo 5.2.2.

O tipo de estrada nº 3, constituído por AE com duas vias por sentido e um TMDA entre 10 000 e 25 000 veículos por dia, apresenta o maior volume de circulação da RRN, com 5.146×10^9 vkm. Já as EN e ER com uma faixa de rodagem e um total de três vias (tipo de estrada nº13) formam o grupo de estradas que menos contribui para o volume de circulação total da RRN, com 6.223×10^8 vkm.

Quadro 32 | Volume de circulação na RRN em 2005 por tipo de estrada

Tipo de estrada	Classe de estrada	Nº de FR	Nº de vias por sentido	TMDA (veic./dia)	Nº de trechos	Extensão total (km)	Volume de circulação (vkm)	Volume de circulação de ligeiros (vkm)	Volume de circulação de pesados (vkm)
1	AE	2	≥3	-	69	262.318	4.669E+09	4.114E+09	4.138E+08
2	AE	2	2	0 - 10000	20	89.212	2.069E+09	1.865E+09	1.913E+08
3	AE	2	2	10000 - 25000	61	462.855	5.146E+09	4.607E+09	5.054E+08
4	AE	2	2	≥ 25000	89	818.696	3.064E+09	2.653E+09	3.719E+08
5	AE	2	2	?	70	328.665	2.464E+09	2.187E+09	2.564E+08
6	IP/IC	2	≥3	-	14	37.558	1.396E+09	1.311E+09	5.627E+07
7	IP/IC	2	2	-	37	144.981	2.444E+09	2.172E+09	2.511E+08
8	IP/IC	1	(2+1)	-	36	384.052	1.310E+09	1.137E+09	1.530E+08
9	IP/IC	1	2	≥10000	78	624.538	3.864E+09	3.310E+09	4.823E+08
10	IP/IC	1	2	5000 - 10000	72	782.667	1.950E+09	1.681E+09	2.328E+08
11	IP/IC	1	2	0 - 5000	92	1190.447	1.268E+09	1.108E+09	1.315E+08
12	EN/ER	2	2	-	41	122.996	8.592E+08	7.964E+08	4.738E+07
13	EN/ER	1	(2+1)	-	24	150.439	6.223E+08	5.518E+08	4.925E+07
14	EN	1	2	≥ 20000	27	145.071	1.294E+09	1.149E+09	1.290E+08
15	EN	1	2	10000 - 20000	86	583.393	2.899E+09	2.556E+09	2.848E+08
16	EN	1	2	5000 - 10000	108	863.117	2.327E+09	2.050E+09	2.279E+08
17	EN	1	2	2500 - 5000	127	1204.584	1.472E+09	1.258E+09	1.677E+08
18	EN	1	2	0 - 2500	144	1855.259	1.043E+09	8.841E+08	1.188E+08
19	ER	1	2	≥ 5000	68	602.005	2.440E+09	2.202E+09	1.549E+08
20	ER	1	2	2000 - 5000	67	786.221	9.391E+08	8.261E+08	7.934E+07
21	ER	1	2	0 - 2000	211	2919.277	1.306E+09	1.123E+09	1.220E+08
TOTAL	RRN	-	-	-	1541	14358.351	4.485E+10	3.954E+10	4.427E+09

Na Figura 35 são apresentadas as contribuições de cada tipo de estrada relativamente à extensão e ao volume de circulação da RRN, para o ano de 2005. A distribuição uniforme verificada para as percentagens de volume de circulação de cada tipo de estrada relativamente ao volume total da RRN,

aponta para uma correcta definição dos critérios utilizados na determinação dos diferentes tipos de estrada.

Por forma a melhor compreender o peso de cada tipo de estrada da RRN, foi determinada a relação entre a contribuição para o volume de circulação e a contribuição para a extensão total da RRN (*REL*). Este parâmetro *REL* permite analisar o desempenho de cada grupo face à sua importância na RRN e é calculado através da expressão:

$$(45) \quad REL = \frac{VC_{grupo_k}}{VC_{RRN}} \bigg/ \frac{L_{grupo_k}}{L_{RRN}}$$

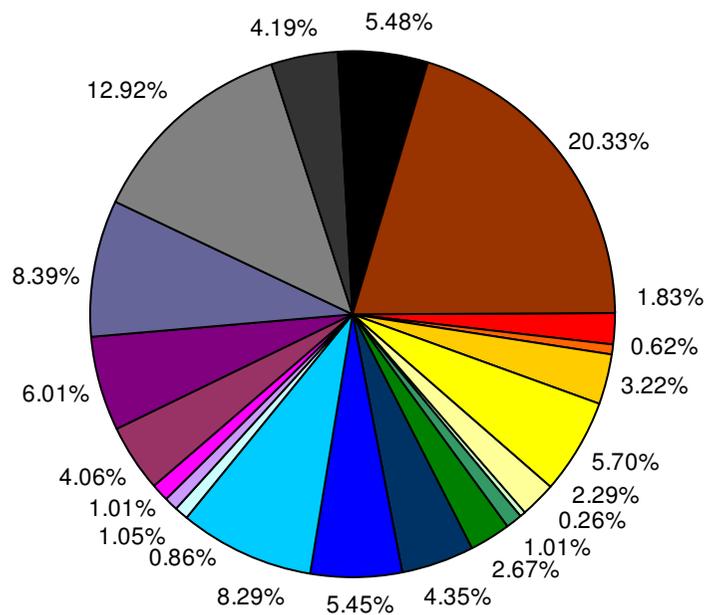
Em que:

- VC_{grupo_k} – Volume de circulação associado ao grupo k (vkm);
- VC_{RRN} – Volume de circulação da RRN (vkm);
- L_{grupo_k} – Extensão total dos trechos pertencentes ao grupo k (km);
- L_{RRN} – Extensão total da RRN (km);.

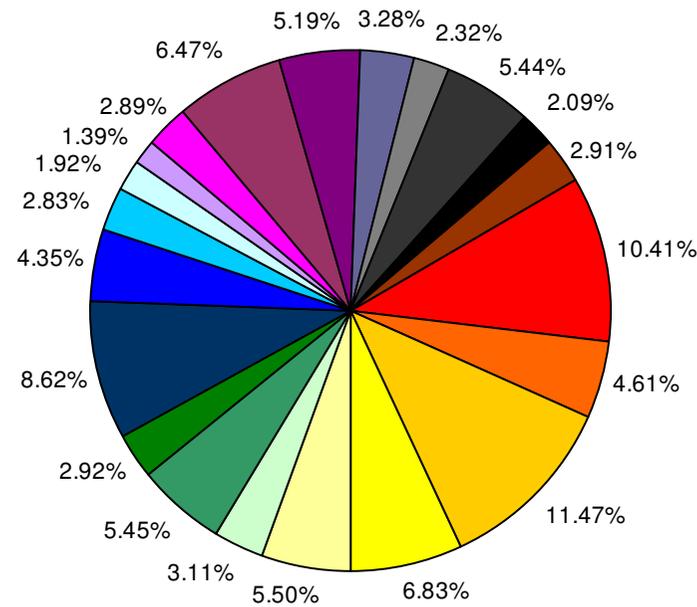
Na Figura 36 são apresentados os valores do parâmetro *REL* para cada tipo de estrada considerado. Verifica-se que as estradas com duas faixas de rodagem contribuem consideravelmente mais para o volume de circulação na RRN do que para a respectiva extensão total. Os IP e IC com duas faixas de rodagem e mais de duas vias por sentido apresentam o valor de *REL* mais alto de todas os grupos considerados (11.9). Este tipo de estrada formado por um total de menos de 40 km, está associado a vias urbanas importantes com elevados TMDA, tais como o IC19, o Eixo Norte-Sul ou a Ponte 25 de Abril, representando, todavia, mais de 3% do volume de circulação na RRN em 2005. Em sentido oposto surgem as EN e ER com baixos TMDA (TMDA < 5000 veículos/dia), que estão associadas a cerca de 47% da RRN, mas que apenas contribuem com menos de 11% do volume de circulação na RRN. O grupo das ER com TMDA inferior a 2000 veículos/dia é aquele que apresenta o menor valor do parâmetro *REL*. Apesar de contar com mais de 2 900km de extensão total, representando mais de 20% da extensão da RRN, este tipo de estrada está associado a menos de 3% do volume de circulação na RRN em 2005.

Figura 35 | Distribuição do volume de circulação e da extensão total da RRN em 2005, por tipo de estrada

Extensões de cada tipo de estrada na RRN

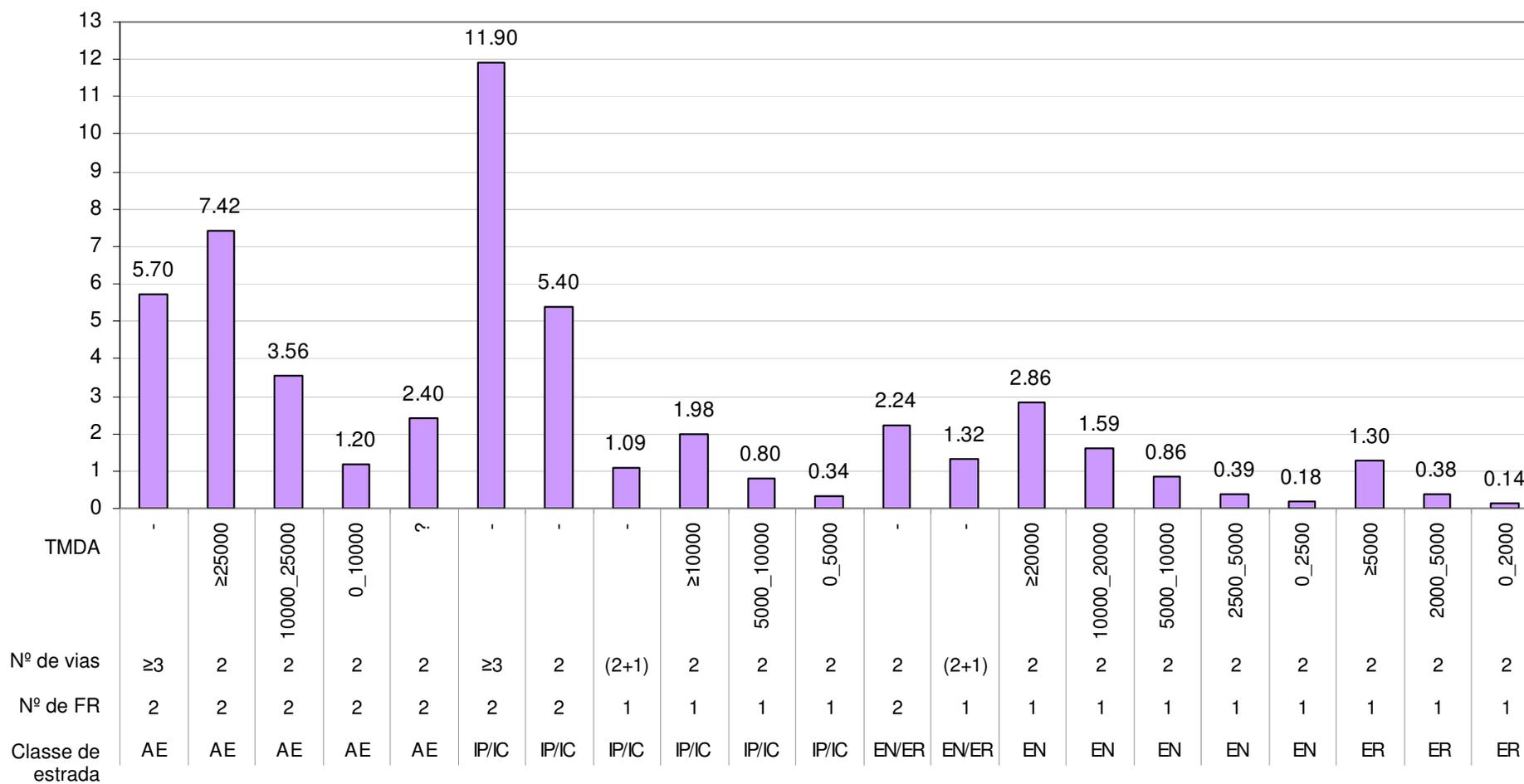


Volume de circulação de cada tipo de estrada na RRN



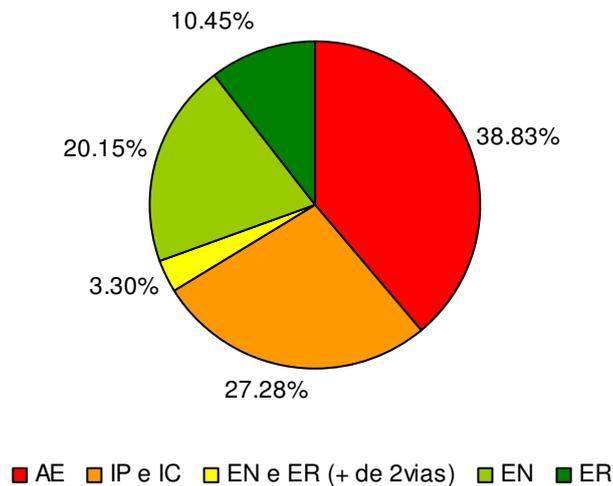
- AE; 2; ≥3; -
- AE; 2; 2; ≥25000
- AE; 2; 2; 10000_25000
- AE; 2; 2; 0_10000
- AE; 2; 2; ?
- IP/IC ; 2; ≥3; -
- IP/IC ; 2; 2; -
- IP/IC ; 1; (2+1); -
- IP/IC ; 1; 2; ≥10000
- IP/IC ; 1; 2; 5000_10000
- IP/IC ; 1; 2; 0_5000
- EN/ER; 2; 2; -
- EN/ER; 1; (2+1); -
- EN; 1; 2; ≥20000
- EN; 1; 2; 10000_20000
- EN; 1; 2; 5000_10000
- EN; 1; 2; 2500_5000
- EN; 1; 2; 0_2500
- ER; 1; 2; ≥5000
- ER; 1; 2; 2000_5000
- ER; 1; 2; 0_2000

Legenda: Classe de estrada; Nº de faixas de rodagem; Nº de vias; TMDA

Figura 36 | Relação entre a contribuição para o volume de circulação e para a extensão total da RRN em 2005, por tipo de estrada (*REL*)

O volume anual de circulação em AE representa a maior fatia do volume registado em 2005, com cerca de 39% do volume de circulação total da RRN. A restante rede fundamental e complementar representa aproximadamente 50% do volume total da RRN. Finalmente as ER completam os restantes 11% do volume de circulação da RRN em 2005 (ver Figura 37).

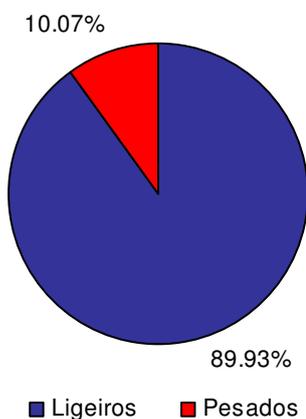
Figura 37 | Distribuição do volume de circulação da RRN em 2005, por classe de estrada



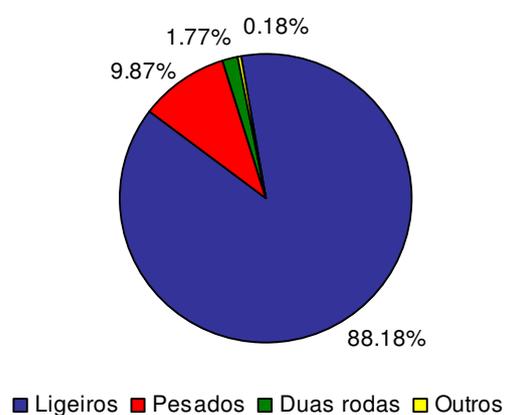
As percentagens do volumes de circulação por tipo de veículo, estimada para a RRN, não diferem substancialmente das distribuições estimadas a partir das inspeções periódicas para a circulação nacional. De facto, ao comparar a Figura 24 com a Figura 38, verifica-se que a percentagem do volume de circulação de veículos sujeitos a inspeções periódicas, associada a veículos ligeiros na RRN (89.93%) é semelhante ao valor do volume de circulação nacional estimado através das inspeções recolhidas (91.40%). Esta ligeira diferença pode dever-se ao facto dos veículos pesados percorrerem uma maior percentagem das suas distâncias na RRN quando comparados com os veículos ligeiros.

Figura 38 | Distribuição do volume de circulação da RRN em 2005, por tipo de veículo

Volume de circulação dos veículos sujeitos a inspeções periódicas na RRN

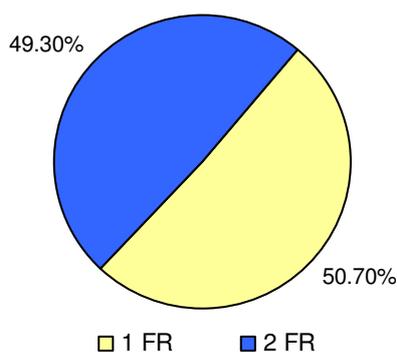


Volume de circulação de todos os veículos na RRN



Relativamente à distribuição do volume de circulação da RRN por tipo de faixa de rodagem, verifica-se um equilíbrio entre o volume associado a estradas com uma e com duas faixas de rodagem. A importante contribuição das AE faz com que os cerca de 15.8% da extensão da rede associados a estradas com duas faixas de rodagem contribuam para quase metade do volume de circulação total da RRN em 2005.

Figura 39 | Distribuição do volume de circulação da RRN em 2005, por tipo de faixa de rodagem (FR)



Na Figura 40 são indicados os volumes de circulação de veículos ligeiros na RRN, em 2005. Estes encontram-se relativamente bem distribuídos pelas vários grupos considerados. Verifica-se que cada um dos três grupos de estradas fundamentais representam cerca de 1/3 do volume de circulação de veículos ligeiros na RRN:

- AE - 33.5%;
- Restantes IP+IC - 29.8%;
- EN+ER - 36.7%.

Na Figura 41 apresentam-se os volumes de circulação de veículos pesados, em 2005, para os vários tipos de estradas da RRN. Tal como para os veículos ligeiros, as AE contribuem com 33.5% para o volume de circulação de veículos pesados na RRN. Todavia, relativamente aos restantes IP+IC verifica-se um valor ligeiramente superior (32.3%) ao dos veículos ligeiros, sobretudo devido às menores distâncias percorridas por veículos pesados na rede local.

Na Figura 42 são indicados os volumes de circulação em 2005, na RRN, para veículos de duas rodas, e para os restantes veículos não inspeccionados. A distribuição destas categorias de veículos difere substancialmente das distribuições associadas a veículos ligeiros e pesados. De facto, a componente associada a EN e a ER é substancialmente mais importante nos veículos de duas rodas (50.3%) e ainda mais nos restantes veículos (64.2%).

Finalmente, na Figura 43 são apresentados os valores da percentagem do volume de circulação em cada tipo de estrada associado a veículos pesados, onde se podem verificar as percentagens acima da média na maioria dos IP, IC e EN registadas pelos postos de contagem utilizados.

Figura 40 | Volumes de circulação de veículos ligeiros na RRN em 2005, por tipo de estrada

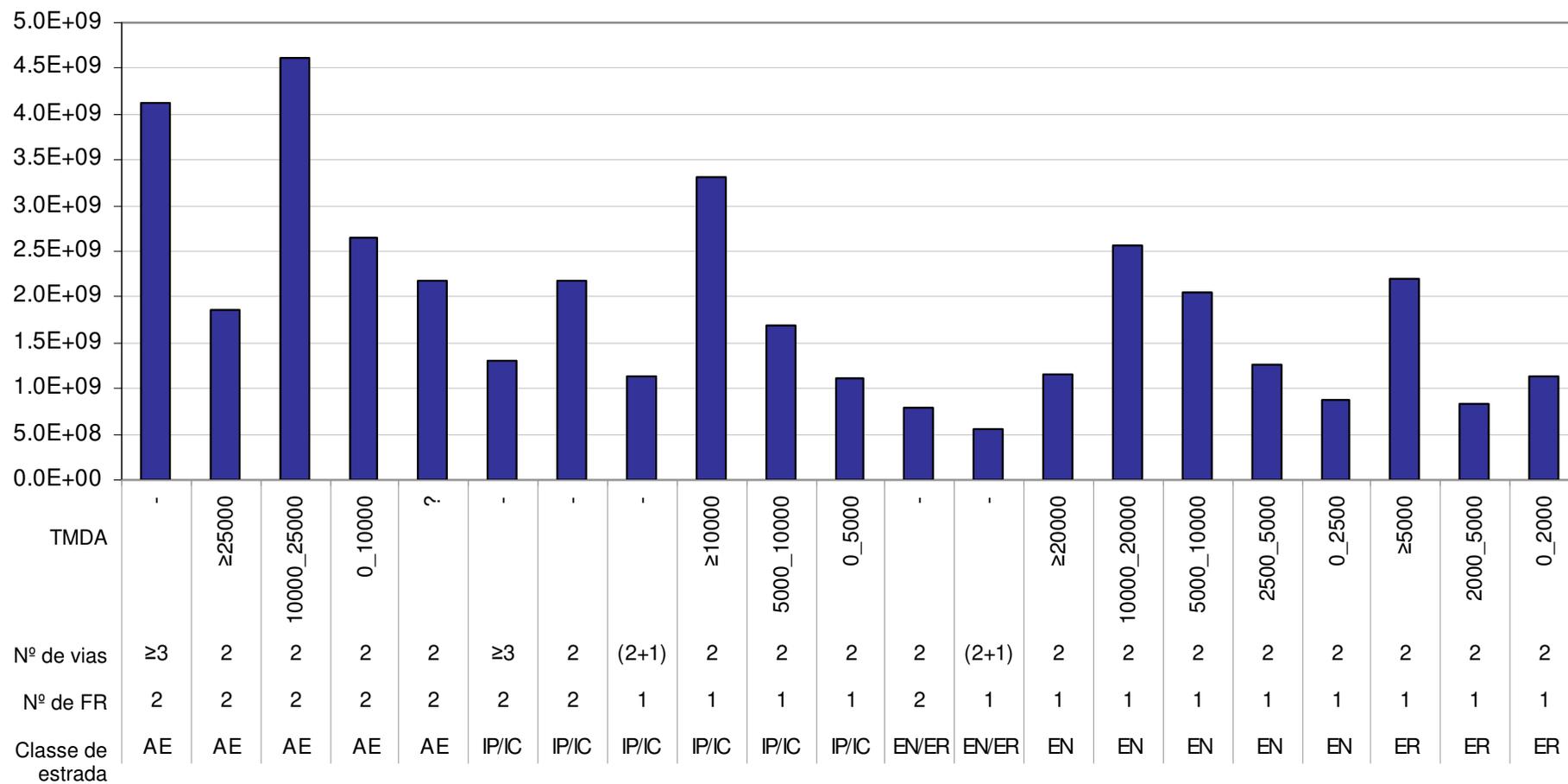


Figura 41 | Volumes de circulação de veículos pesados na RRN em 2005, por tipo de estrada

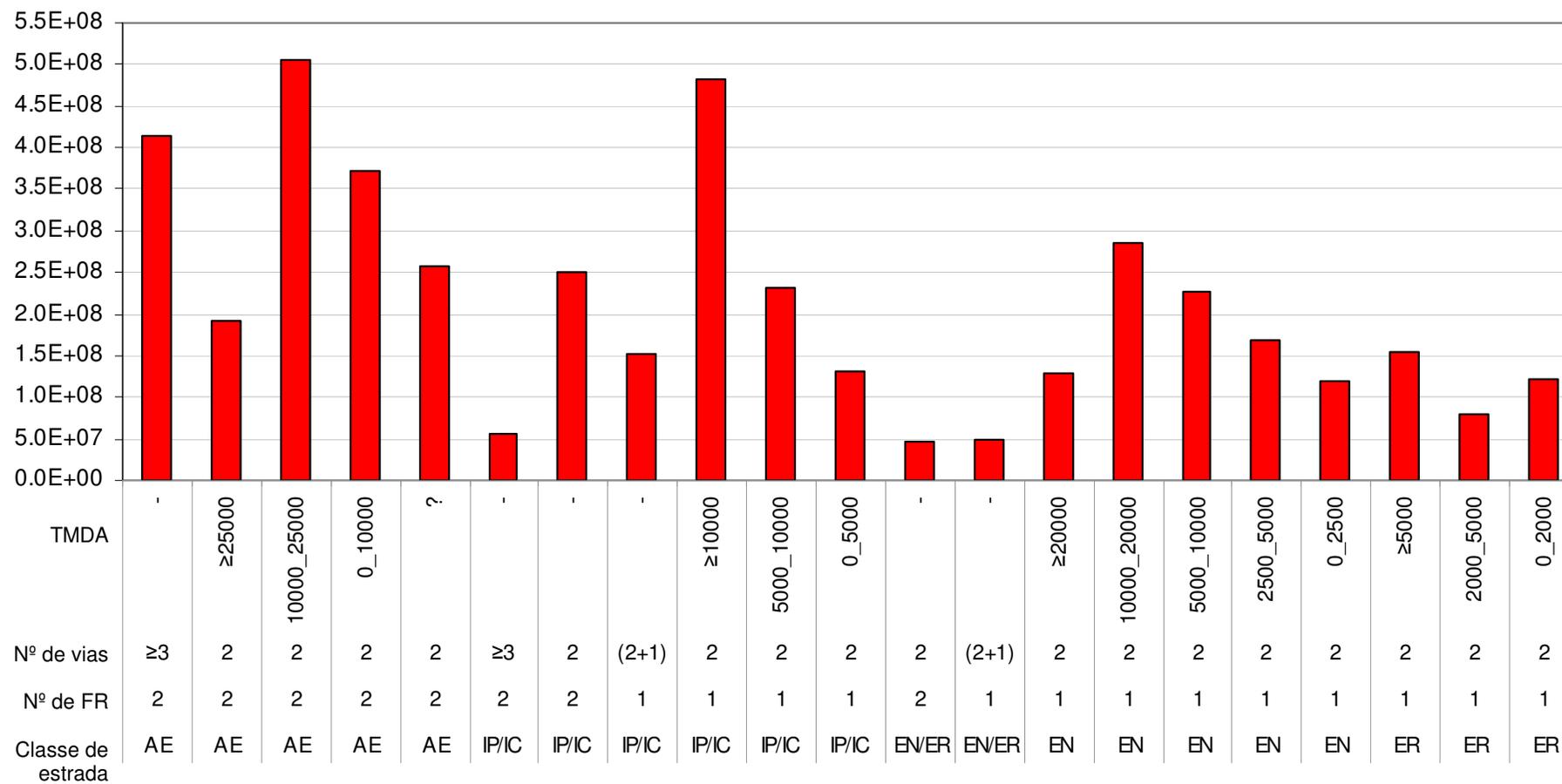


Figura 42 | Volumes de circulação de veículos não sujeitos a inspeção na RRN em 2005, por tipo de estrada

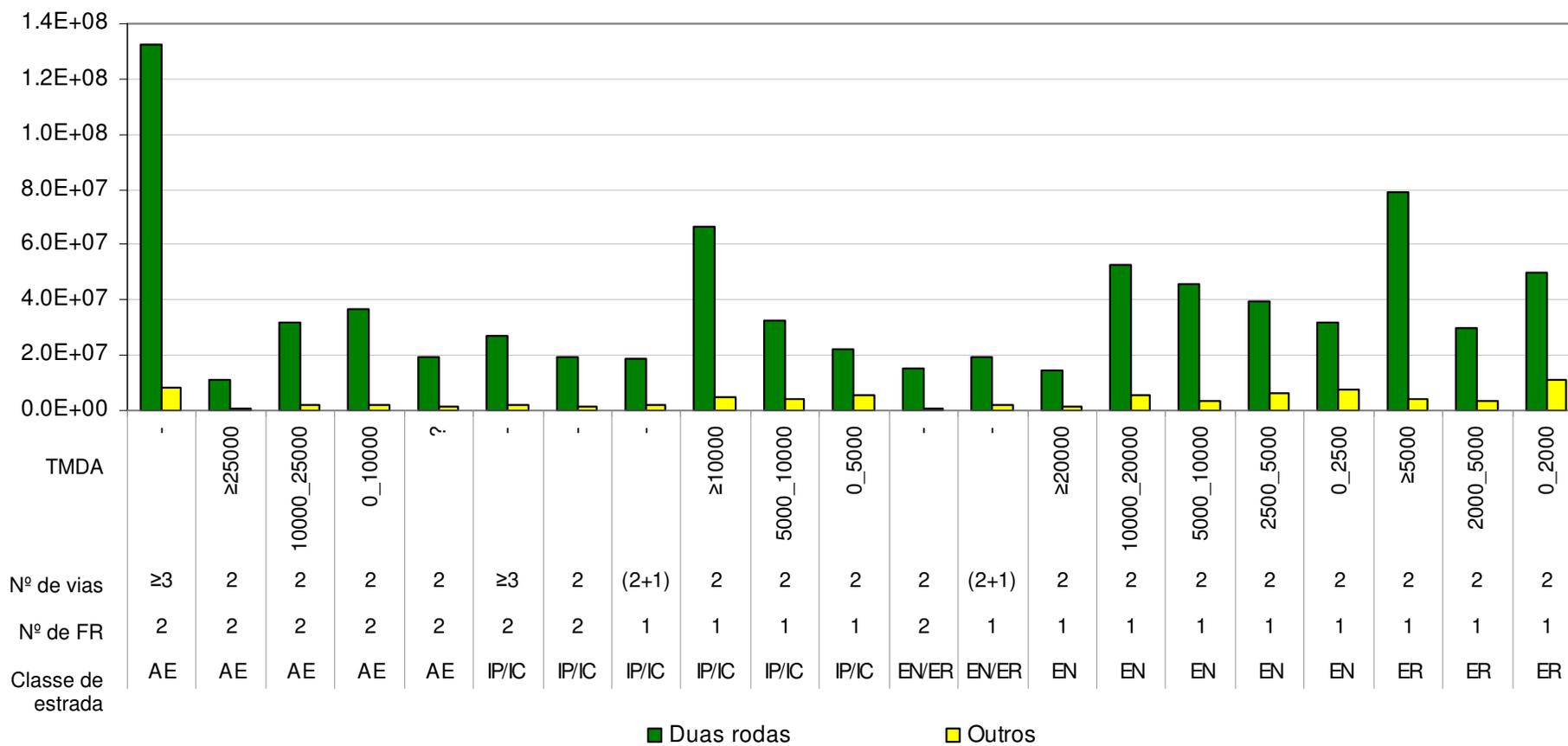
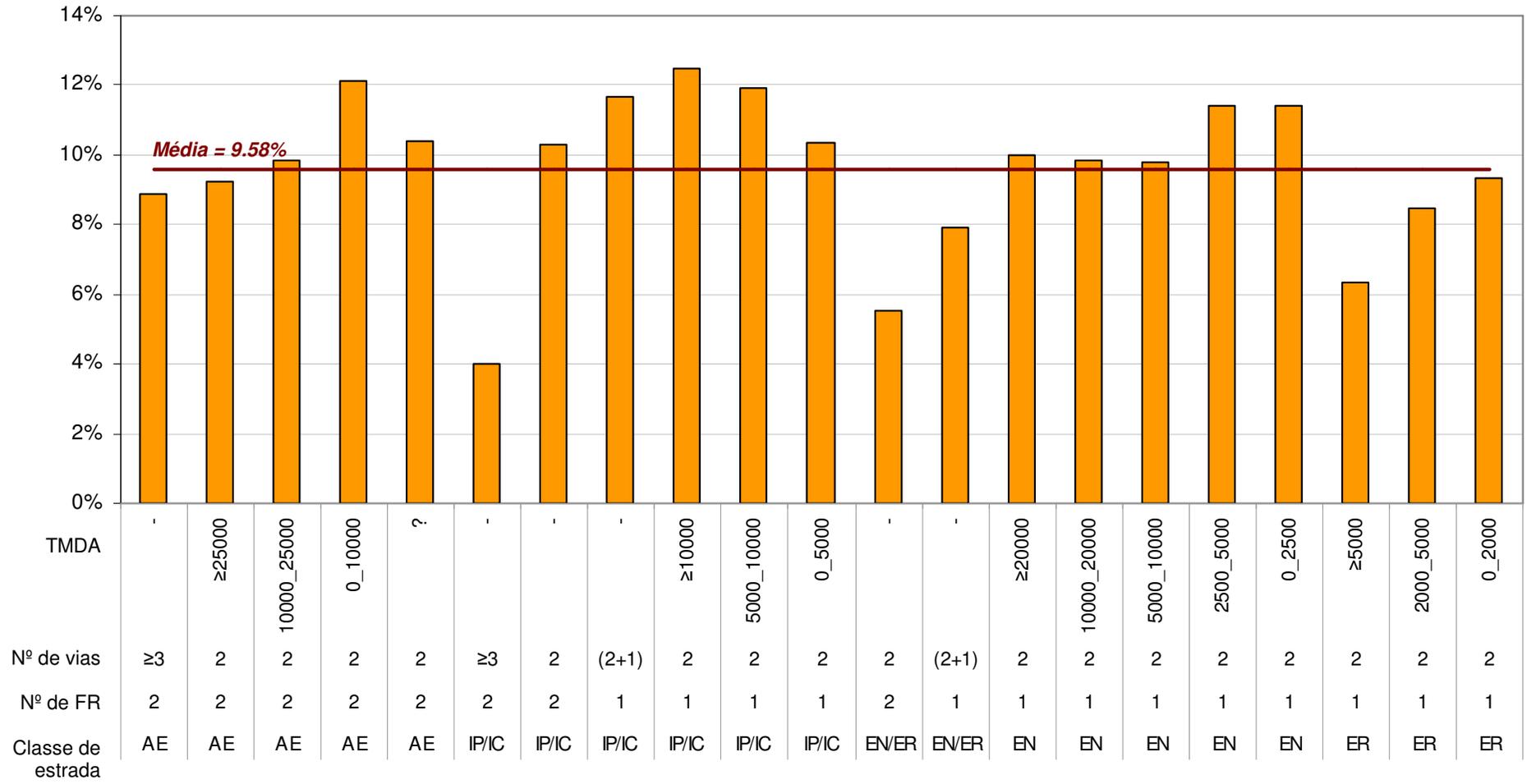


Figura 43 | Percentagem de pesados na RRN em 2005, por tipo de estrada



5.5 Validação

A validação dos volumes de circulação estimados para os anos de 2004, 2005 e 2006 pelo método proposto, foi realizada mediante a respectiva comparação com estimativas de outros modelos existentes. Neste trabalho foram considerados os seguintes elementos de comparação:

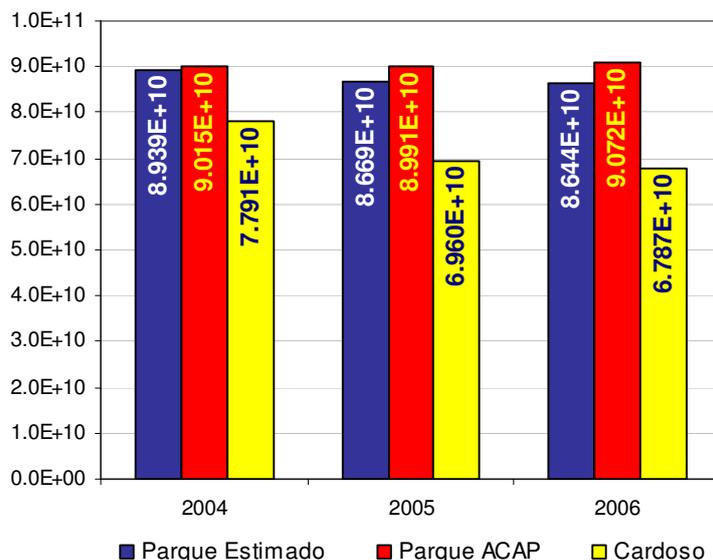
- estimativas anuais do volume de circulação nacional por Cardoso [4];
- vendas anuais de combustíveis ao nível nacional publicadas pela DGEG;

A comparação entre os volumes de circulação de veículos pesados estimados segundo o método proposto e os estimados a partir do ITRM é impossível tendo em conta os diferentes contextos em que são realizados. O ITRM apenas considera os veículos pesados de mercadorias com matrícula nacional e as respectivas distâncias percorridas na rede rodoviária portuguesa. Já o método de estimação através das inspeções técnicas contempla todos os veículos pesados com matrícula portuguesa e sujeitos a inspeções periódicas (incluindo, assim, os veículos de mercadorias, de passageiros e os veículos especiais) e as respectivas distâncias percorridas totais (em território português e no estrangeiro). A consideração dos dados recolhidos pelo ITRM como fonte de informação adicional deve, no entanto, ser pormenorizadamente avaliada e compatibilizada num futuro modelo estruturado de estimação sistemática de volumes anuais de circulação em Portugal.

5.5.1 Volumes de circulação nacionais

Tal como foi referido no Capítulo 2 |, o modelo desenvolvido por Cardoso para a DGV permite calcular as únicas estimativas ao nível nacional actualmente disponíveis em Portugal. Neste modelo, o volume nacional de vendas de combustíveis e o parque automóvel, são as principais variáveis explicativas (ver subcapítulo 2.3).

Figura 44 | Comparação dos volumes de circulação estimados com o modelo proposto por Cardoso



Os valores estimados por Cardoso são inferiores aos apresentados nesta dissertação, para os três anos considerados (ver Figura 44). De facto, para 2004, ano com melhor cobertura das inspeções recolhidas, é registada uma diferença de 14.7% entre o volume de circulação total estimado por Cardoso e pelo *Parque Estimado* a partir dos registos de inspeções.

Já para os anos de 2005 e 2006, esta diferença apresenta valores bastante mais elevados, com 24.6% e 27.3% respectivamente. Estas maiores diferenças são sobretudo devidas a uma eventual sobre-estimação por parte do modelo aqui apresentado, devido a uma pior cobertura tanto do parque automóvel como do ano estimado, pelas inspeções recolhidas.

Importa referir que, apesar de todas estas estimativas apresentarem valores ao nível nacional, o parque automóvel abrangido é ligeiramente distinto. Enquanto que no modelo de estimação através das leituras de conta-quilómetros, apresentado nesta dissertação, são considerados apenas os veículos sujeitos a inspeções técnicas (ver Quadro 4), já o modelo proposto por Cardoso contempla a totalidade do parque de veículos em circulação. Acresce o facto deste modelo ter sido calibrado para o período de 1998 a 2000, e a partir de registos internacionais, sendo as estimativas para o período entre 2001 e 2006 extrapolações, o que as torna, à partida, menos confiáveis do que as apresentadas nesta dissertação. Contudo, importa referir que as estimativas de ambos os modelos não apresentam diferenças consideráveis ao nível nacional e que as tendências nas variações de volumes de circulação entre anos consecutivos são similares. De facto, em ambos os métodos registaram-se decréscimos no volume de circulação nacional de 2004 para 2005, e de 2005 para 2006.

5.5.2 Consumos de combustíveis

A validação dos volumes de circulação estimados através da comparação do correspondente consumo de combustíveis com o volume nacional de vendas de combustível, foi possível recorrendo ao modelo COPERT III apresentado no subcapítulo 5.2.3.

No Quadro 33, Quadro 34 e Quadro 35 são apresentadas as estimativas de consumos de combustíveis nacionais de veículos sujeitos a inspeção técnica, obtidas com o COPERT III, e a respectiva comparação com os registos de vendas nacionais da DGEG, para cada tipo de combustível e para os três anos de estimação considerados.

Quadro 33 | Consumo estimado e volume nacional de vendas de combustíveis, para o ano de 2004

(toneladas) 2004	Vendas	Consumo estimado	Diferença (%)
Gasóleo	4 930 826	4 747 417	-3.7%
Gasolina	1 927 122	1 789 613	-7.1%
Gás	20 134	17 961	-10.8%

Para o ano de 2004, os volumes de combustíveis estimados são muito próximos dos registados como volumes de vendas nas estatísticas nacionais, sobretudo ao nível do volume de gasóleo consumido. Já relativamente à gasolina, a diferença é ligeiramente superior, o que se poderá dever à não consideração dos volumes de circulação de veículos de duas rodas no modelo de estimação de volumes de circulação proposto e, logo, dos respectivos consumos no COPERT III.

Relativamente ao volume de gás, a maior diferença registada entre o volume de vendas e o consumo associado ao respectivo volume de circulação estimado, deve-se ao facto do COPERT III não contemplar veículos pesados a gás. Os veículos pesados estão associados a cerca de 4% do volume de circulação de todos os veículos a gás, segundo as estimativas obtidas para 2004 pelo método das leituras de conta-quilómetros aqui apresentado. Tendo em conta que cada veículo pesado consome bastante mais combustível que um ligeiro, a parcela do volume de combustível associada a veículos pesados a gás é necessariamente maior.

Quadro 34 | Consumo estimado e volume nacional de vendas de combustíveis, para o ano de 2005

(toneladas) 2005	Vendas	Consumo estimado	Diferença (%)
Gasóleo	4 915 265	4 409 372	-10.3%
Gasolina	1 808 130	1 682 280	-7.0%
Gás	20 634	16 464	-23.9%

As diferenças obtidas para 2005 e 2006 mantêm sensivelmente a mesma tendência registada no ano de 2004. Saliencia-se, contudo o facto dos consumos de gasóleo e gás apresentarem maiores diferenças relativamente aos consumos de gasolina. De facto, sendo o parque de veículos a gasolina mais antigo do que o associado a veículos a gasóleo (Figura 33), as respectivas estimações de volumes de circulação através de leituras de conta-quilómetros é bastante mais próxima da realidade do que para veículos a gasóleo e, logo, menos susceptível a variações devido a erros associados à amostra de inspecções recolhidas.

Quadro 35 | Consumo estimado e volume nacional de vendas de combustíveis, para o ano de 2006

(toneladas) 2006	Vendas	Consumo estimado	Diferença (%)
Gasóleo	4 476 120	4 388 267	-7.8%
Gasolina	1 678 058	1 530 532	-8.8%
Gás	21 634	14 534	-28.0%

Os valores obtidos para os consumos de combustíveis associados ao volume de circulação estimado são bastante próximos dos valores registados pela DGEG para o volume de vendas de combustíveis.

Refere-se, no entanto, a importância da quantificação dos consumos de veículos não contemplados pela estimativa de volumes de circulação apresentada, nomeadamente de veículos de duas rodas, da verificação das hipóteses consideradas na modelação no COPERT III (ver subcapítulo 5.2.3) e do conhecimento da ordem de grandeza e dos factores influentes na diferença entre os consumos reais de combustíveis e o volume total de vendas, tais como perdas, importação e exportação de combustíveis pelos veículos ou usos imprevistos dos combustíveis.

Os impactes associados ao uso do automóvel na sociedade contemporânea, tal como o congestionamento, a sinistralidade ou a poluição, justificam uma preocupação cada vez maior na caracterização dos volumes de circulação em redes rodoviárias de diversas naturezas. O estabelecimento de políticas nas várias vertentes da nossa sociedade, com influência directa ou indirecta na utilização de veículos, deve ser fundamentado em indicadores sobre diversas ópticas de avaliação do sistema de tráfego, os quais devem ser ponderados pela actividade deste, obrigando à definição de medidas de quantificação e caracterização do volume de circulação. Adicionalmente, a necessidade de comparação ao nível nacional e internacional, de estatísticas que requerem a quantificação do uso do automóvel, tem incentivado o desenvolvimento de diversos sistemas de estimação de volumes de circulação nos vários países com forte utilização do veículo automóvel.

Face às recomendações de várias instituições internacionais, tais como a UNECE [89] e a UE [57], no sentido de disponibilizar sistematicamente estatísticas pormenorizadas relativas ao volume de circulação nacional, reconhece-se a necessidade de desenvolvimentos neste âmbito para o caso português. De facto, têm sido raras as iniciativas promovidas, tanto no sentido da análise da informação disponível, como da estimação propriamente dita de volumes de circulação em Portugal. Contrariamente ao cenário verificado noutros países, não existe actualmente, em Portugal, um método de estimação sistemática de volumes de circulação desagregados.

No presente trabalho analisou-se o cenário actual da estimação de volumes de circulação, lançando as bases para o desenvolvimento de um modelo de estimação sistemática para Portugal. Foram analisados os aspectos processuais de vários métodos nacionais e internacionais de estimação de volumes de circulação, evidenciando as particularidades dos métodos de estimação ao nível nacional actualmente em uso. Foi realizada uma análise específica dos dados potencialmente relevantes actualmente disponíveis em Portugal, na estimação de volumes de diversa natureza, sugerindo, ainda, processos adequados para a recolha sistemática da informação em falta.

Foi feita a apresentação de um modelo específico para a realidade portuguesa, baseado, fundamentalmente, nas leituras de conta-quilómetros realizadas em inspecções técnicas de veículos. Tal como para alguns modelos internacionais, no método proposto nesta dissertação recorre-se, para além desta principal fonte de informação, a informação relativa às características dos veículos inspeccionados, ao parque automóvel nacional, a postos de contagem na RRN, e a consumos de combustíveis (ver Figura 45).

Na Figura 45 é esquematizado o método de estimação proposto, evidenciando as fontes de informação utilizadas e os principais passos e resultados obtidos no processo de estimação de volumes anuais de circulação para Portugal.

O método proposto foi utilizado, em regime piloto, na estimação dos volumes de circulação para os anos de 2004, 2005 e 2006, permitindo uma análise pormenorizada dos resultados obtidos. Os valores calculados constituem a primeira estimativa nacional de volumes de circulação desagregados por tipo de veículo e tipo de estrada, permitindo um melhor conhecimento das distâncias percorridas segundo várias variáveis. (ver Quadro 37). Adicionalmente, os resultados obtidos permitem uma actualização das estimativas agregadas existentes e uma comparação com outras variáveis relacionadas com o uso do automóvel, nomeadamente com os consumos nacionais de combustíveis.

O modelo de estimação português em números:

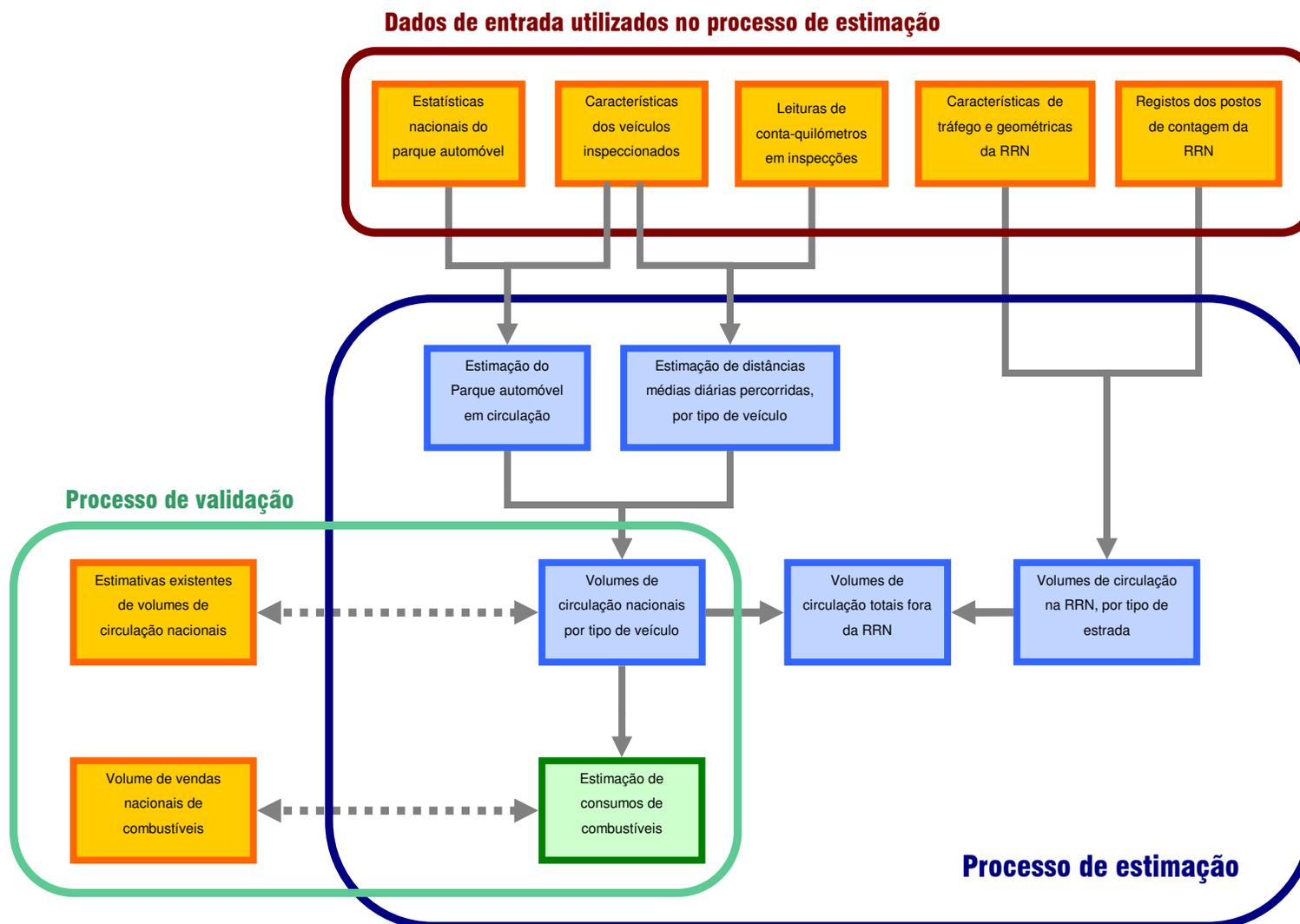
- 4 673 783 inspeções realizadas em 2004, correspondentes a 3 512 209 veículos inspeccionados
- Parque estimado em 5 317 985 veículos sujeitos a inspeção, dos quais 4 701 665 foram utilizados no cálculo do volume de circulação nacional em 2004
- 8.939×10^{10} vkm em 2004, dos quais 91.4% associado a veículos ligeiros
- 560 postos de contagem da RRN utilizados no modelo de estimação apresentado
- 50.7% do volume total de circulação nacional associado à RRN em 2005
- 7.95×10^{10} vkm para o volume de circulação de duas rodas na RRN em 2005

No entanto, o método apresentado é susceptível de ser objecto de processos de actualização, melhoramento e automatização dos mecanismos utilizados no tratamento da informação, a fim de facilitar o acesso e o cálculo sistemático de volumes anuais de circulação.

Conforme descrito no subcapítulo 5.2.5, é conveniente que o processo de cálculo utilizado nas estimativas futuras recorra a um sistema de bases de dados, actualizado anualmente, de forma a permitir a definição dos critérios a utilizar e o nível de pormenor nos resultados pretendidos. Adicionalmente, para além da informação actualizada utilizada no método apresentado, em regime piloto, para os anos de 2004, 2005 e 2006, importa integrar em modelos futuros novas fontes de informação que permitem uma melhor flexibilidade, confiabilidade e abrangência dos resultados obtidos, mas que aumentem, inevitavelmente, a complexidade dos procedimentos associados. Esta informação adicional que deve ser integrada em modelos futuros inclui:

- informação relativa ao tipo de utilização de cada veículo;
- características e estimativas das distâncias percorridas por veículos não sujeitos a inspeções técnicas, nomeadamente os motociclos;
- informação relativa às distâncias percorridas por veículos recentes.

Figura 45 | Esquemática do método de estimação de volumes anuais de circulação para Portugal proposto



Quadro 36 | Quadro Resumo do tipo de informação utilizada no método de estimação de volumes de circulação anuais proposto

	Cobertura Total								Amostra									
	Contagens Periódicas na rede principal < 3 anos	Contagens Periódicas rede principal ≥ 3	Conr. rede secundária ≥ 3 anos	Leitura conta-quilómetros	Estatística demográfica	Registo do Parque Automóvel	Consumo Combustível	Contagens Contínuas na Rede Principal	Contagens Contínuas na Rede Secundária	Contagens Periódicas na rede principal < 3 anos	Contagens Periódicas na rede principal ≥ 3 anos	Contagens Periódicas rede secundária	Conr. rede secundária ≥ 3 anos	Leitura conta-quilómetros	Inquéritos	Estatística demográfica	Registo do Parque Automóvel	Consumo Combustível
Portugal				●	●	●	●	●	●				● ¹	●	●			

¹ - Só para veículos pesados de mercadorias

●	- Principal fonte de informação
●	- Outra fonte de informação utilizada
●	- Fonte de informação disponível mas não utilizada

Quadro 37 | Quadro Resumo do tipo de informação obtida sobre volumes de circulação anuais

	Veículos Ligeiros	Veículos Pesados	Motociclos	Rede classificada / Nacional	Rede não classificada / Local	Estimação da circulação em território nacional	Estimação da circulação dos condutores nacionais	Por tipo de veículo	Por idade de veículo	Por categoria de estrada	Por região / área	Por motivo de viagem	Por tipo de condutor	Por tipo de combustível	Variações Sazonais / Diárias
Portugal	●	●		●	●		●	●	●	●			●		

●	- Output disponível
---	---------------------

A introdução da variável *tipo de utilização* no modelo apresentado é facilitada pelo facto desta informação constar na base de dados da DGV, a qual dispõe de todos os registos de livretes dos veículos do parque automóvel nacional (ver subcapítulo 4.3).

No que diz respeito à informação necessária para o cálculo do volume de circulação de veículos recentes, a medição directa por GPS numa determinada amostra de veículos, surge como o método mais confiável actualmente disponíveis na caracterização de distâncias percorridas.

Recentemente têm surgido métodos com recurso a outro tipo de fonte de informação, alternativa à dos postos de contagem, inquéritos, leituras de conta-quilómetros e consumos de combustíveis. Os sistemas de GPS já referidos ao longo deste Capítulo constituem um dos métodos mais recentes de determinação de volumes de circulação. Existem actualmente vários exemplos internacionais de recolha de dados de uma amostra de veículos por GPS, tendo sido reconhecida a respectiva vantagem ao nível da confiabilidade dos resultados obtidos ([65], [22] e [15]).

Ao nível dos motociclos, o recurso a uma amostra supervisionada por GPS, ou sujeita a um inquérito desenvolvido para o efeito, pode constituir uma alternativa a ter em conta na recolha de informação relativa a distâncias percorridas. Todavia, salienta-se a vantagem de incluir esta categoria de veículos no plano de inspecções periódicas nacional, tal como recomendado no Artigo 39º da Convenção sobre tráfego Rodoviário das Nações Unidas [67].

Com o intuito de melhorar a segurança rodoviária e harmonizar as regulamentações dos vários países, o *Working Party on Road Traffic Safety* da UNECE tem centrado a sua actividade na revisão da Resolução sobre Tráfego Rodoviário [68], documento elaborado em 1998. Neste documento, as condições do parque automóvel em circulação constituem um dos principais aspectos analisados, juntamente com as regras de circulação, as características dos utilizadores e da rede rodoviária. Tanto no documento base como nas sucessivas revisões (a última publicada em Setembro do presente ano [90]) as inspecções têm merecido especial atenção, tendo sido sistematicamente recomendada a sua realização periódica para todos os veículos. De facto, a verificação das condições de funcionamento, segurança e ambientais (tanto ao nível do ruído como das emissões de poluentes) deve abranger todos os tipos de veículos em circulação [68].

Paralelamente ao tratamento da informação relativa aos veículos e às inspecções técnicas, o sistema deve, tal como no modelo apresentado, possibilitar o cruzamento da informação de volumes de circulação com características da rede rodoviária. As inspecções não permitem a identificação das estradas ou regiões em que foram percorridas as distâncias afixadas, sendo necessário recorrer a outras fontes de informação. As contagens realizadas em postos na rede nacional possibilitam, quando conjugadas com as características da rede, a caracterização dos volumes de circulação segundo as principais variáveis espaciais. No entanto, tanto as contagens como as bases de dados das características da rede devem ser actualizadas anualmente, a fim de possibilitar a estimação sistemática de volumes de circulação confiáveis.

A rede local deve, também ela, ser alvo de recolha sistemática de informação, possibilitando, assim, a caracterização do respectivo volume de circulação. Campanhas de contagem periódicas devem ser realizadas em várias amostras que cubram os diferentes tipos de estradas da rede local,

possibilitando a desagregação que não foi possível nesta dissertação, designadamente quanto a percursos urbanos e não urbanos.

Para além da caracterização dos volumes de circulação consoante o tipo de veículo e o tipo de rede, a UNECE [89] refere as características do condutor com uma das variáveis a ter em conta. De facto, segundo o manual desta organização, a desagregação dos volumes de circulação segundo a idade do condutor constitui uma das principais variáveis nas tabelas propostas para as estatísticas a apresentar pelos vários países, sendo necessária para avaliar os níveis de risco de grupos específicos de condutores (jovens, idosos, etc.). Todavia, esta e outras desagregações relacionadas com o condutor, tais como o sexo, a nacionalidade, a profissão, o rendimento ou o número de veículos no respectivo agregado familiar necessitam de informação normalmente recolhida através de inquéritos, actualmente indisponível.

Os métodos de estimação sistemática de volumes anuais de circulação rodoviária ao nível nacional constituem um elemento fundamental na caracterização estatística do principal sector dos transportes. A maioria dos países com forte utilização do veículo automóvel dispõem actualmente de sistemas que permitem a obtenção de estatísticas pormenorizadas dos respectivos volumes anuais de circulação. Estas estatísticas são utilizadas em diversos sectores da nossa sociedade, tais como a gestão de transportes, a sinistralidade, as políticas e análises ambientais, o planeamento urbano ou as políticas de ordenamento do território.

O desenvolvimento de um método de estimação sistemática dos volumes de circulação em Portugal revela-se, assim, essencial, tendo em conta a ausência de iniciativas que permitem uma caracterização pormenorizada da circulação rodoviária nacional. No entanto, a realização de estimativas flexíveis, completas e confiáveis só pode ser conseguida se for garantido um acesso sistemático à informação diversificada e completa actualmente existente em Portugal. Adicionalmente, devem ser realizadas iniciativas que possibilitem a obtenção de informação adicional para a pormenorização completa dos volumes de circulação nacionais. As estatísticas obtidas permitirão a caracterização sistemática e pormenorizada da circulação anual em estradas portuguesas, a sua importância nos vários tipos de veículos do parque automóvel e, ainda, o estudo de vários padrões de mobilidade no transporte rodoviário.

[1] ACAP, 2007 – www.acap.pt. Associação Automóvel de Portugal, site consultado em Setembro de 2007.

[2] Australian Bureau of Statistics, 2006 – *2005 Survey of Motor Vehicle Use*. 9208.0 Australian Bureau of Statistics, Australia, Setembro de 2006.

[3] Belmont D.M., 1953 – *Effect of average speed and volume on motor vehicle accidents on two-lane tangents*. HRB Proceedings, Vol. 32, pag. 383 – 395. USA, 1953.

[4] Cardoso J. L., 2003. – *The use of international data on fuel sales and vehicle fleet for the estimation of yearly national traffic volumes*. Accident Analysis and Prevention 37 (2005) 207–215. LNEC, Portugal, 2003.

[5] Cardoso J. L., 2003. – *Estimativa do volume anual de circulação rodoviária, ao nível nacional*. Relatório 199/03 – , NPTS, LNEC, Portugal, Julho de 2003.

[6] Cardoso J. L., Andrade P., 2005 – *Velocidades praticadas pelos condutores nas estradas portuguesas no ano de 2004*. Relatório 395/05 – NPTS, Departamento de Transportes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Portugal, Novembro 2005.

[7] Cardoso J. L., 2007 – *Detecção de zonas de acumulação de acidentes na rede rodoviária nacional*. Relatório 88/07, NPTS, LNEC, Portugal, Fevereiro de 2007.

[8] CE, 1969 - *Returns, to be made on the basis of regional statistics, in respect of international carriage of goods by road*. Council Regulation (EC) 69/467/EEC, Official Journal of the European Communities, L323. Dezembro de 1969.

[9] CE, 1996 – *Aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes ao controlo técnico dos veículos a motor e seus reboques*. Council Regulation (EC) 96/96, Official Journal of the European Communities L046. Dezembro de 1996.

[10] CE, 1998 – *Statistical returns in respect of the carriage of goods by road*. Council Regulation (EC) 1172/98, Official Journal of the European Communities, L163/1. Maio de 1998.

[11] CE, 1999 – *Directiva relativa às informações sobre a economia de combustível e as emissões de CO₂ disponíveis para o consumidor na comercialização de automóveis novos de passageiros*. Council Regulation (EC) 1999/94, Official Journal of the European Communities. Dezembro de 1999.

[12] CE, 2007 – *TREMOVE – Service contract for the further development and application of the transport and environmental TREMOVE model Lot 1*. Final Report. Transport and Mobility Leuven for the Directorate General Environment of the European Commission, CE. Bélgica, Julho 2007.

[13] CESUR, 2002 – *Programa Nacional para as Alterações Climáticas – Estudo Base. Cenário de Referência do Sector dos Transportes, 1990 – 2020*. Instituto Superior Técnico, Portugal. Fevereiro, 2002.

[14] Chapman R., 1973 – *The concept of exposure*. Accident Analysis and Prevention, Volume 5, nº2, pag. 95-110. USA, 1973.

[15] Davidan V., Abi M., 1996 – *An improved regional VMT estimation system for southern California using ITS technologies*. 1996 Compendium of Technical Papers pag. 261 - 272, 49th District 6 Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers, Fresno, California, USA, 1996.

[16] DGV, 2000 – *Certificados de aprovação em inspeções técnicas de veículos e ficha de inspeção periódica*. Despacho n.º 26433-A/2000 (2.ª série), Direcção-Geral de Viação, Portugal, Dezembro de 2000.

[17] DGV, 2003 – *Inspeção a veículos militares e das forças de segurança*. Despacho n.º 3599/2003, Direcção-Geral de Viação, Portugal, Fevereiro de 2003.

[18] FHWA¹, 1977 – *Applications of new travel demand forecasting techniques – A study of individual choices*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington DC, USA, Março de 1977.

[19] FHWA², 1977 – *An introduction to urban travel demand forecasting – A self instructional text*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington DC, USA, Março de 1977.

[20] FHWA, 2004 – *Summary of Travel Trends – 2001 National Household Travel Survey*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington DC, USA, Dezembro de 2004.

[21] FHWA, 2005 – *Highway Performance Monitoring System Field Manual*. OMB nº 21250028 Office of Highway Policy Information, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington DC, USA, 2005.

[22] FHWA, 2006 – *International Urban Road Pricing – Final Report*. AECOM Consult for Office of Transportation Policy Studies. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington DC, USA, Junho de 2006.

[23] FHWA, 2007 – *State practices used to report local area travel*. HPMS, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington DC, USA, 2003.

[24] Fricker J., Kumapley R., 2002 – *Updating procedures to estimate and forecast vehicle-miles traveled*. Final Report – FHWA/IN/JTRP-2002/10. Purdue University USA, 2002.

[25] Geldermalsen T., 1996 – *Road Use and Road User Revenue in New Zealand*. Transit New Zealand, Australasian Transport Research Forum Auckland, Agosto de 1996.

[26] GEP, 1998 – *Estudo de políticas de gestão de energia nos transportes. Projecto de relatório final*. Gabinete de Estudos e Planeamento, MOPTC, Portugal, 1998.

[27] GEP e SGT, 2006 – *Observatório Transfronteiriço Espanha/Portugal – 4º Relatório*. Gabinete de Estudos e Planeamento, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações de Portugal e Secretaría General de Transportes, Ministério de Fomento de Espanha. Março de 2006.

[28] Goh V., Fischbeck P. S. e Gerard D. – *Identifying and Correcting Errors with Odometer Readings from Inspection and Maintenance Data: A “Rollover Problem for the Estimation and Technical Change*. Transportation Research Board nº 07-2876. Center for the Study & Improvement of Regulation, CMU - Carnegie Mellon University, USA, 2006.

[29] Hickman J., Hassel D., Joumard R., Samaras Z. e Sorenson S., 1999 – *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*. Report nº SE/491/98, Deliverable 22 for the project MEET, Transport Research Laboratory, England, 1999.

[30] Hoang L. T., Poteat V., 1980 – *Estimating vehicle miles of travel by using random sampling techniques*. Transportation Research Record nº 779, Transportation Information System: Applications and Uses. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 1980.

[31] Hunt J.D., Brownlee A.T., 2001 – *Influences on the quantity of auto use*. TRB Paper 01-3367, for presentation at the 2001 TRB Conference. University of Calgary, Canada, 2001.

[32] IEP, 2002 – *Tráfego 2001, Rede Nacional do Continente*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação, IEP, Portugal, 2002.

[33] INE, 2005 – *Estatística de Transportes*. Disponível em www.ine.pt. Instituto Nacional de Estatística. Portugal, 2005.

[34] ISP, 2007 – www.isp.pt. Instituto de Seguros de Portugal, site consultado em Setembro de 2007.

[35] Jovanis P., Chang H.Li, 1986 – *Modeling the relationship of accidents to miles traveled*. Transportation Research Record 1068, pag. 42 – 51. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 1986.

[36] Kalinowska D., Kuhfeld H., 2006 – *Motor vehicle use and travel behaviour in Germany – Determinants of car mileage*. Discussion Papers 602. DIW Berlin, German Institute for Economic Research, Germany, 2006.

[37] King D., Wilton E., Bluett J., Gimson N. e Fisher G., 2005 – *Gap Analysis: Enhancing PM10 Emissions Inventories in New Zealand*. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd, Junho de 2005.

[38] Kumapley R. K., Fricker J. D., 1996 – *Review of methods for estimating vehicle miles traveled*. Pag. 59 – 56, Transportation Research Record 1551. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 1996.

[39] Kweon Y.-J., Kockelman K., 2004 – *Nonparametric regression estimation of household VMT*. Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin. 2004 Annual Meeting of the Transportation Research Board. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 2004.

[40] Lave C., 1994 – *State and National VMT Estimates: It Ain't Necessarily So*. Working Paper University of California Transportation

[41] Lee-Gossein M. e Richardson A., 1988 – *An approach to developing comparable national estimates of vehicle travel using traffic count data*. Transport Planning Methods Proceedings of Seminar D held at the PTRC Transport and Planning Summer Annual Meeting, University of Bath, England, 1988.

[42] LNEC, 1962 – *Vocabulário de estradas e aeródromos*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério das Obras Públicas, Portugal. 1962.

[43] Macedo A., Cardoso J. L., Cavalheiro F., 2001 – *Apoio ao IEP na realização de recenseamentos de tráfego na rede rodoviária nacional (Recenseamento de 2000)*. Relatório 317/01, NTSR, LNEC, Portugal, Dezembro de 2001.

[44] Macedo A., Cardoso J. L., Cavalheiro F., Marques J., 2003 – *Apoio ao IEP na realização de recenseamentos de tráfego na rede rodoviária nacional (Recenseamento de 2001)*. Relatório 182/03, NPTS, LNEC, Portugal, Junho de 2003.

[45] MAET, 2004 – *Programa de Actuação para reduzir a dependência de Portugal face ao Petróleo*. Ministério das Actividades Económicas e do Trabalho, Portugal. Novembro, 2004.

[46] MAI, 1999 – *Inspecções periódicas obrigatórias*. Decreto-Lei n.º 554/99, Diário da República I Série A, nº 291. Ministério da Administração Interna, Portugal, Dezembro de 1999.

[47] MAI, 2005 – *Código da Estrada*. Decreto-Lei n.º 44/2005, Diário da República I Série A, nº 38. Ministério da Administração Interna, Portugal, Fevereiro de 2005.

[48] Martinho L., 2006 – *A variabilidade temporal dos volumes de tráfego: metodologia de base para o desenho e implementação de planos de monitorização de tráfego*. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Portugal. Novembro, 2006.

[49] McCord M. Goel P., 2001 – *Incorporation of satellite data to improve AAdDT and VMT estimates*. National Consortium on Remote Sensing in Transportation. Ohio State University, University of Arizona and George Mason University, USA, Abril de 2001.

[50] MCOTA, 2003 – *Gestão de veículos em fim de vida*. Decreto-Lei n.º 196/2003, Diário da República I Série A, nº 194. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Portugal, Agosto de 2003.

[51] MEPAT, 1998 – *Plano Rodoviário Nacional 2000*. Decreto-Lei n.º 222/98, Diário da República I Série A, nº 163. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território. Portugal, Julho de 1998.

[52] Moore D. S. e McCabe G. P., 1999 – *Introduction to the Practice of Statistics, 3rd edition*. W, H. Freeman, New York, USA, 1999.

[53] Ntziachristos L., Samaras Z., Eggleston S., Gorißen N., Hassel D., Hickman J., Joumard R., Rijkeboer R., White L. e. Zierock K., 2000 – *COPERT III - Computer program to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (Version 2.1)*. Technical report No 49, European Environment Agency, Denmark, 2000.

[54] ONU, 1997 – *Protocolo de Quioto*. Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Organização das Nações Unidas. Dezembro, 1997.

[55] Pearson D., 2001 – *Global Positioning System (GPS) and travel surveys – Results from the 1997 Austin Household Survey*. Presented at the Eighth Conference on the Application of Transportation Planning Methods, Sorpus Christi, Texas, USA, Abril, 2001.

[56] Saari, A., Lettenmeier M., Pusenius K., Hakkarainen E., 2006 – *Influence of vehicle type and road category on natural resource consumption in road transport*. Transportation Research Part D 12, pag. 23–32. Elsevier, 2006.

[57] SafetyNet, 2005 – *State of the art report on risk and exposure data*. Deliverable 2.1. SafetyNet – Building the European Road Safety Observatory. Integrated Project, Thematic Priority 6.2 “Sustainable Surface Transport”. Directorate-General Transport and Energy, European Commission, UE. Outubro, 2005.

[58] Seaver W. L., Chatterje A. e Seaver M., 2000 – *Estimation of traffic volume on rural local roads*. Paper nº 00-1335, pag. 123 – 128, Transportation Research Record 1719. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 2000.

[59] Sharma S. C., Lingras P., Liu G. X. e Xu F., 2001 – *Estimation of Annual Average Daily Traffic on low-volume roads – Factor approach versus neural networks*. Paper nº 00-0125, pag. 103 – 111, Transportation Research Record 1719. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 2001.

[60] Silva C., 2005 – *Estudo numérico da dinâmica, consumo e emissão de poluentes de veículos rodoviários equipados com motor de combustão interna*”. Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico. Portugal, Dezembro 2005.

[61] Silva C., 2006 – *Energia e ambiente nos transportes - COPERT III*. Apresentação do COPERT. Energia e Ambiente nos Transportes, LEM. DTEA – Transportes, Energia e Ambiente , Grupo de Investigação em Energia e Desenvolvimento Sustentável Instituto de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico (IDMEC/IST). Março 2006.

[62] Skutenko D., Cosgrove D. e Mitchell D., 2006 – *Survey of Motor Vehicle Use - An Investigation into Coherence*. 9208.0.55.055 Australian Bureau of Statistics, Australia, Setembro 2006.

[63] Statistics Canada, 2006 – *Canadian Vehicle Survey - Second quarter 2004*. 53F0004XIE, Minister of Industry, Transport Division, Statistics Canada, Canada, 2006.

[64] TRB, 2000 – *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council. Washington D.C., USA 2000.

[65] Tucker L., 2006 – *Oregon tests a new system that could replace the gas tax*. Daily Journal of Commerce. Portland, Oregon, USA, Junho de 2006.

[66] Ugolik W. R., 1981 – *Estimating vehicle miles of travel: an application of the Rank-Size Rule*. Transportation Research Record 807, pag. 34–39. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 1981.

[67] UN, 1968 – *Convention on road traffic*. Amendment 1, incorporating the amendments to the Convention which entered into force on 3 September 1993. Inland Transport Committee, Economic Commission for Europe, United Nations. Viena, Austria, Novembro de 1968.

[68] UNECE, 1998 – *Consolidated resolution on road traffic (R.E.1)*. Inland Transport Committee, Principal Working Party on Road Transport, Economic Commission for Europe, United Nations. Janeiro de 1998.

[69] UNECE, 2003¹ – *Recommendations to Governments on the Combined Census for Motor Traffic and Inventory of Standards and Parameters on Main International Arteries in Europe in 2005*. TRANS/WP.6/AC.2/16/Add.1. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Outubro de 2003.

[70] UNECE, 2003² – *Information on traffic performance on the road and motorway network in the Czech Republic*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/3 transmitted by the Government of the Czech Republic, Czech Republic. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2003.

[71] UNECE, 2005¹ – *Developing a common framework for the collection of Risk Exposure Data in Europe within the SafetyNet IP*. AC5-inf01e. European Road Safety Observatory. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE Novembro de 2005.

[72] UNECE, 2005² – *Estimation of Car Mileage and Fuel Consumption in Germany*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/15 transmitted by the Department of Energy, Transportation, Environment of the German Institute for Economic Research (DIW), Germany. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[73] UNECE, 2005³ – *Volume of road traffic based on data collection of the Federal Highway Research Institute (BAST)*. AC5-inf02e submitted by the Federal Highway Research Institute (BAST), Germany. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[74] UNECE, 2005⁴ – *How the United States Estimates Travel at the National Level*. AC5-inf04e transmitted by the Federal Highway Administration, US Department of Transportation, USA. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Dezembro de 2005.

[75] UNECE, 2005⁵ – *Road Traffic Performance in the Netherlands*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/2 transmitted by Statistics Netherlands, the Netherlands. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[76] UNECE, 2005⁶ – *Volume of Road Traffic in Sweden*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/12/Add.1 transmitted by Statistics Sweden, Sweden. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[77] UNECE, 2005⁷ – *VTI model for estimating the annual traffic mileage in Sweden*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/12 transmitted by the Government of Sweden, Sweden. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[78] UNECE, 2005⁸ – *How the National Road Traffic Estimates are made*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/14 transmitted by the Government of United Kingdom, UK. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[79] UNECE, 2005⁹ – *Swiss calculation methods*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/13 transmitted by the Government of Switzerland, Switzerland. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[80] UNECE, 2005¹⁰ – *Method for Estimating the Volume of Road Traffic in Slovenia*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/11 transmitted by the Statistical Office of the Republic of Slovenia, Slovenia. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[81] UNECE, 2005¹¹ – *Statistics on the volume of road traffic for Norway*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/10 transmitted by the Institute of Transport Economics and Statistics, Norway. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[82] UNECE, 2005¹² – *Estimation of Traffic Volume and Fuel Consumption in Latvia*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/9 transmitted by the Road Traffic Directorate, Latvia. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[83] UNECE, 2005¹³ – *Actual vehicle-kilometer calculation possibilities in the Hungarian statistical system*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/8 transmitted by the Government of Hungary, Hungary. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[84] UNECE, 2005¹⁴ – *Estimation of the annual balance of road traffic and fuel consumptions on the French national territory*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/7 transmitted by the Ministry of Transport, France. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[85] UNECE, 2005¹⁵ – *Estimating vehicle kilometers in Finland*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/6 transmitted by the Finnish Road Administration, Finland. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[86] UNECE, 2005¹⁶ – *Passenger transport surveys in Estonia*. TRANS/WP.6/AC.5/2005/5 transmitted by the Government of Estonia, Estonia. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[87] UNECE, 2005¹⁷ – *National transport statistics in Denmark* - based on data from periodic vehicle inspection. TRANS/WP.6/AC.5/2005/4 transmitted by the Danish Road Directorate, Denmark. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Novembro de 2005.

[88] UNECE, 2005¹⁸ – *Glossary for transport statistics* - Definitions selected from the Eurostat, ECMT and UNECE. Transport Statistics (WP6), Transport Division, UNECE. Dezembro de 2005.

[89] UNECE, 2007 – *Handbook on Statistics on Road Traffic*. Transport Statistics (WP.6), Task force on Volume of Road Traffic. Transport Division, UNECE. Junho de 2007.

[90] UNECE, 2007² – *Revision of the consolidated resolution on road traffic (R.E.1)*. ECE/TRANS/WP.1/2006/23/Rev.1. Inland Transport Committee, Principal Working Party on Road Transport, Economic Commission for Europe, United Nations. Novembro de 2007.

[91] US DOD, 2001 – *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Words*. Joint Publication 1-02, US Department of Defense, United States of America. Abril de 2001.

[92] Vasconcelos A., 2006 – *Modelação de Consumos e Emissões de Tráfego Rodoviário em Eixos Congestionados*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Transportes. Instituto

Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. Fevereiro, 2006. Center Nº 231.
University of California at Irvine, Department of Economics, USA, 1994.

[93] Wolf J., Olivereira M., Thompson M., 2003 – *Impact of underreporting on mileage and travel time estimates – Results from Global Positioning System-Enhanced Household Travel survey*. Paper nº 03-4230. Transportation Research Record 1854, pag. 189 – 198. Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 2003.

