



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Modelação e Avaliação do Potencial de Desempenho das Lombas Redutoras de Velocidade

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil
na Especialidade de Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes pela
Universidade de Coimbra

Autor

João Pedro Cruz da Silva

Orientador

Álvaro Jorge da Maia Seco

Coimbra, Novembro de 2010

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho, não posso deixar de manifestar o meu profundo reconhecimento a um conjunto de pessoas e instituições que, pela colaboração e vontade manifestadas através de formas que vão desde uma participação directa até à simples atitude de encorajamento, tornaram possível a realização deste trabalho.

Começo por agradecer ao Professor Doutor Álvaro Jorge da Maia Seco, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), pela orientação científica desta dissertação e todo o apoio prestado ao longo do trabalho.

Agradeço à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e, em particular, ao Professor Carlos Rodrigues pela cedência do veículo instrumentado e sobretudo pelo empenho que sempre demonstrou em ultrapassar os vários desafios que foram surgindo no decurso da sua instrumentação.

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Instituto Politécnico de Leiria (IPL) pelo apoio concedido ao longo deste trabalho.

O meu agradecimento a todos os condutores pela amabilidade, disponibilidade e excelente companheirismo que mantiveram ao longo das secções de recolha de dados de campo.

Uma palavra de apreço particular ao Edgar Cid pelo seu interesse no trabalho e enorme capacidade para ultrapassar os vários desafios colocados. Agradeço também à Vânia Marques, Cláudio Guerra e Luís Vasconcelos pelo apoio concedido em várias frentes.

O meu agradecimento à Doutora Maria Helena Pestana, Professora no ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), pela sua constante disponibilidade e valioso apoio e contributo na área da estatística e modelação.

Agradeço aos meus Pais e irmã o apoio que sempre me concederam ao longo da minha formação académica e pessoal.

O meu agradecimento muito especial à Ana pelo apoio permanente sem o qual este trabalho nunca teria sido possível. Agradeço igualmente à Vânia e à Joana pela paciência que tiveram e sobretudo pelos insubstituíveis momentos de descontração...

Estendo também os meus agradecimentos a todas as pessoas, colegas do Departamento de Engenharia Civil, amigos e familiares que, de alguma forma, me apoiaram durante o período de execução deste trabalho.

RESUMO

As lombas, têm sido as medidas de acalmia de tráfego que mais extensivamente têm vindo a ser utilizadas em Portugal e em todo o mundo, sendo habitual associar-lhe um nível de eficiência elevado. É frequente encontrar, na bibliografia da especialidade, referência a diversos estudos de avaliação da eficácia, por vezes, com resultados controversos e baseados maioritariamente em análises do tipo “antes e depois”, aplicadas à avaliação da variação diferencial das velocidades e dos níveis de sinistralidade. Subsiste um conhecimento deficiente sobre o efeito real das lombas no comportamento do condutor numa perspectiva integrada que incorpore cumulativamente os efeitos em termos de emissões poluentes, assim como a sua relação com as características físicas prevaletentes das lombas e do ambiente rodoviário.

Neste contexto, esta dissertação centra-se na avaliação do desempenho de lombas, numa perspectiva integrada de efeitos em termos de redução efectiva de velocidades e de emissões.

O trabalho de investigação desenvolvido incidiu sobre o levantamento exaustivo do estado da arte relativo ao tema e na descrição e explicação do comportamento de um conjunto de condutores ao longo da aproximação, transposição e afastamento de um número significativo de lombas que, no seu conjunto, reflectem gamas razoáveis de variabilidade geométrica. Assim foram considerados no estudo 3 percursos distintos que integram 17 lombas, as quais foram percorridas de forma sistemática em ambos os sentidos de circulação.

Os trabalhos de recolha de dados de campo foram suportados por um veículo, instrumentado no âmbito deste trabalho, o qual garantiu o registo de dados ligados à dinâmica deste e de imagens vídeo das condições de circulação. O veículo foi conduzido por um grupo de 18 condutores com características homogéneas.

Para o tratamento dos dados recolhidos foi desenvolvido um conjunto de programas informáticos que permitiram a organização destes, de forma simplificada e sistematizada, em conformidade com os requisitos inerentes à análise estatística. No global a amostra integrou 6234 passagens e foi subdividida em dois formatos distintos: dados discretos e dados contínuos.

O desenvolvimento teórico do trabalho assentou em três partes fundamentais. A primeira centrou-se na caracterização geral do comportamento dos condutores durante a transposição da medida de acalmia de tráfego, nomeadamente em termos de rapidez, agressividade e conforto de passagem na lomba.

A segunda parte do trabalho incidiu sobre a aplicação de um conjunto de técnicas estatísticas que sustentaram o desenvolvimento de expressões matemáticas que apresentam de uma forma quantificada as inter-relações entre, por um lado, as características geométricas e o ambiente rodoviário e, por outro, o comportamento dos condutores caracterizado, nomeadamente, através da velocidade na lomba, acelerações verticais e emissões poluentes. Recorrendo a técnicas de regressão múltipla hierarquizada foram também desenvolvidos três modelos contínuos de velocidade que representam o andamento dos perfis de velocidade na zona de influência da lomba.

Na última parte do trabalho são apresentadas algumas análises de sensibilidade que evidenciam o efeito estimado das variáveis prevaletentes das lombas sobre o comportamento do condutor e emissões poluentes.

Por fim são desenvolvidas algumas análises de sensibilidade que evidenciam o efeito estimado das variáveis prevaletentes das lombas sobre o comportamento do condutor.

ABSTRACT

Road humps are the most extensively traffic calming measures used in Portugal and worldwide usually with a high level of efficiency. It is common to find in the scientific literature several evaluation studies sometimes with conflicting results and predominantly based on “before and after” scenarios applied mainly to speed and accident rate changes. However there is still a lack of understanding of the real implications of road humps on driver behavior in an integrated perspective that considers cumulatively the environmental effects and their relationship with the main physical aspects of road humps and the road characteristics.

Therefore, this thesis focuses on evaluating the performance of speed bumps and raised platforms using an integrated approach that evaluates the effects on speed reduction and pollutant emissions.

The research work consisted in a state of the art research and in the description and explanation of the behavior of a set of drivers along the approach, transposition and exit of a significant number of road humps reflecting a reasonable range of geometry characteristics. There were 17 road humps in 3 separate locations and they were crossed systematically in both directions.

The data collection was supported by an instrumented vehicle developed within this work. It enabled the recording of the vehicle dynamics parameters and traffic condition video images. The vehicle was driven by a group of 18 drivers with homogeneous characteristics.

To support the data processing phase some computer programs were developed allowing the organization of the data collected in a simplified and systematized way and in accordance with the requirements inherent to the statistical analysis. The overall sample integrated 6234 passages on road humps and was subdivided into two distinct formats: discreet data and continuous data.

The theoretical development of the work was based on three distinct parts. The first one focused on the general characterization of the drivers' behavior while crossing speed humps, particularly in terms of speed, aggressiveness and comfort.

The second part of the work focused on the statistical analyses of the data allowing the development of mathematical expressions that quantify the interrelationships between the geometric characteristics of the speed humps', the road environment and the driver behavior namely in terms of speed, vertical acceleration and pollutant emissions. Using hierarchical multiple regression techniques three continuous speed models were also developed representing the speed profiles in the vicinity of the speed hump.

In the last part some sensitivity analyses were carried out highlighting the estimated effects of the speed humps physical characteristics on driver behavior and pollutant emissions.

ÍNDICE DE TEXTO

1.	Introdução	1
1.1	Evolução do Conceito de Medidas de Acalmia de Tráfego	1
1.2	Os Efeitos da Velocidade e Formas de Controlo.....	3
1.3	Avaliação da Eficiência das Medidas de Acalmia.....	7
1.4	Objecto e Objectivos do Estudo	9
1.5	Metodologia Adoptada e Estrutura da Dissertação	10
2.	As Lombas como Medidas de Acalmia de Tráfego	13
2.1	Introdução	13
2.2	Definição e Domínio Geral de Aplicabilidade das Medidas de Acalmia de Tráfego .	13
2.3	Medidas de Acalmia de Tráfego Mais Relevantes	14
2.3.1	As Medidas com Alteração aos Alinhamentos Horizontais.....	15
2.3.2	Medidas Complementares	18
2.3.3	Impactos Expectáveis das Medidas de Acalmia de Tráfego	20
2.4	Lombas e Plataformas Elevadas.....	22
2.4.1	Definição	22
2.4.2	Evolução do Conceito	22
2.4.3	Tipologias de Lombas e sua Caracterização Geral.....	23
2.4.4	Modo de Funcionamento.....	27
2.4.5	Domínio Privilegiado de Aplicação.....	27
2.4.6	Aspectos Dimensionais	29
2.4.7	Tipo de Materiais	34
2.4.8	Drenagem	35
2.4.9	Sinalização Aplicável.....	35
2.4.10	Efeitos Decorrentes da Implementação de Lombas e Plataformas.....	36
2.5	Síntese Conclusiva.....	43
3.	Poluição Atmosférica Associada aos Transportes Rodoviários	45
3.1	Introdução	45
3.2	Enquadramento Geral do Tema.....	45
3.2.1	Composição da Atmosfera	45
3.2.2	Poluentes Atmosféricos e seus Impactos	45
3.3	Evolução Temporal das Emissões Poluentes e seu Enquadramento Legal	48
3.3.1	Veículos em Circulação	48
3.3.2	Evolução das Emissões Poluentes	49
3.3.3	Legislação Europeia de Emissões Poluentes em Veículos.....	51
3.4	Factores que Afectam as Emissões Poluentes.....	51
3.4.1	Tipo do Propulsor e Combustível	51
3.4.2	Características do Veículo.....	54
3.4.3	Tecnologias para Melhorar a Eficiência dos Veículos.....	56
3.4.4	Tipo de Condução	57
3.4.5	Dimensão do Percurso.....	57
3.4.6	Condições de Circulação e Infra-estrutura Rodoviária	58
3.4.7	Impacto das Medidas de Acalmia de Tráfego	61
3.5	Cálculo de Emissões	63
3.5.1	Tipologias de Modelos de Cálculo de Emissões	63
3.5.2	Modelo de Cálculo de Emissões CMEM	64
3.6	Síntese Conclusiva.....	66
4.	Recolha e Tratamento de Dados	67
4.1	Introdução	67

4.2	O processo de Selecção do Sistema e suas Valências	69
4.3	Processo de Instrumentação do Veículo	71
4.3.1	Tipo de Veículo	71
4.3.2	Variáveis Recolhidas.....	72
4.3.3	Instrumentação do Veículo.....	73
4.4	Selecção dos Locais e Condutores.....	80
4.4.1	Locais Seleccionados	80
4.4.2	Condutores Seleccionados.....	85
4.5	Metodologia Adoptada na Recolha de Dados	86
4.6	Transformação e Validação de Base dos Dados.....	87
4.6.1	Transformação dos Ficheiros de Origem	90
4.6.2	Cálculo dos Valores de Poluição	91
4.6.3	Geração de Imagens com Informação sobre Dados de Condução.....	93
4.6.4	Deteção e Validação das Passagens em Lombas	94
4.6.5	Obtenção da Base de Dados de Variáveis Discretas.....	97
4.6.6	Obtenção da Base de Dados de Variáveis Contínuas.....	100
4.7	Caracterização dos Dados Recolhidos.....	101
4.7.1	Passagens Válidas por Tipo de Condutor.....	101
4.7.2	Características Geométricas das Lombas	102
4.7.3	Enquadramento Rodoviário	104
4.8	Síntese Conclusiva.....	106
5.	Caracterização do Comportamento do Condutor.....	109
5.1	Introdução.....	109
5.2	Análise Agregada das Variáveis Dinâmicas	110
5.2.1	Distância de Abrandamento.....	110
5.2.2	Velocidades	111
5.2.3	Acelerações Longitudinais	114
5.2.4	Aceleração Vertical.....	116
5.2.5	Rotação Angular (<i>Pitch</i>).....	118
5.3	Análise da Influência do Género	119
5.4	Diferenças entre Condutores	121
5.4.1	Distância de Abrandamento e Velocidades.....	123
5.4.2	Acelerações Longitudinais	127
5.4.3	Conforto de Transposição da Lomba	130
5.4.4	Consistência de Condução.....	133
5.4.5	Síntese	137
5.5	Influência do Comportamento dos Condutores nas Emissões de CO ₂	139
5.6	Síntese Conclusiva.....	141
6.	Modelação dos Efeitos das Lombas	143
6.1	Introdução.....	143
6.2	Velocidade na Lomba	144
6.2.1	Tipo de Lomba.....	144
6.2.2	Altura da Lomba	145
6.2.3	Comprimento da Lomba.....	146
6.2.4	Existência de Passeio	147
6.2.5	Largura da Faixa de Rodagem.....	148
6.2.6	Distância de Visibilidade à Lomba	149
6.2.7	Velocidade na Aproximação	150
6.2.8	Modelação Integrada.....	151
6.3	Aceleração Vertical.....	157
6.3.1	Tipo de Lomba.....	157

6.3.2	Altura da Lomba	158
6.3.3	Comprimento da Lomba.....	159
6.3.4	Velocidade na Lomba	160
6.3.5	Modelação Integrada.....	161
6.4	Zona de Influência da Lomba.....	165
6.4.1	Lombas Isoladas	165
6.4.2	Lombas Sequenciais.....	166
6.5	Impactos sobre Emissões de CO ₂	167
6.5.1	Enquadramento	167
6.5.2	Velocidade Máxima na Aproximação.....	169
6.5.3	Aceleração Longitudinal à Saída da Lomba.....	169
6.5.4	Velocidade 150 m Após a Lomba.....	170
6.5.5	Modelação Integrada.....	171
6.6	Modelação dos Perfis de Velocidade.....	174
6.6.1	Enquadramento	174
6.6.2	Modelo Base com Condutores.....	176
6.6.3	Modelo Base.....	180
6.6.4	Modelo Simplificado.....	182
6.7	Avaliação da Qualidade do Ajuste dos Modelos.....	185
6.7.1	Introdução.....	185
6.7.2	Modelos Discretos	185
6.7.3	Modelos de Velocidade Contínuos	188
6.8	Síntese Conclusiva.....	194
7.	Potencial de Desempenho de Lombas.....	195
7.1	Introdução	195
7.2	Avaliação da Eficiência das Lombas na Redução de Velocidade.....	195
7.2.1	O Efeito da Velocidade de Aproximação.....	195
7.2.2	O Efeito da Altura da Lomba	196
7.2.3	Comprimento da Lomba.....	197
7.2.4	Efeito da Altura da Lomba e Velocidade de Aproximação.....	198
7.2.5	Velocidades nas Imediações das Lombas	199
7.2.6	Efeito do Comprimento da Lomba e da Velocidade de Aproximação	201
7.3	Influência nas Emissões de CO ₂	203
7.3.1	Efeito do Comportamento do Condutor.....	203
7.3.2	Efeito Conjunto da Aceleração Longitudinal e das Características Geométricas 207	
7.4	Síntese Conclusiva.....	209
8.	Conclusões e Perspectivas de Trabalhos Futuros	211
8.1	Resumo do Trabalho Efectuado	211
8.2	Perspectivas Futuras de Investigação	217
	Referências Bibliográficas	221

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Campo de visão de um condutor a diferentes velocidades: a) 65 km/h; d) 25 km/h (Hallmark et al., 2007)	5
Figura 1.2 – Influência da velocidade em embate entre veículos e peões - adaptado de (ETSC, 2008).....	6
Figura 2.1 – Gincana (a) ambiente urbano - Toronto (Buren, 2006b) (b) ambiente em trecho de atravessamento povoação - Mealhada	15
Figura 2.2 – Estrangulamentos a partir dos lados e do centro (a) (Ewing, 1999); (b) ilhéu central, com travessia pedonal (Buren, 2006a).....	16
Figura 2.3 – Exemplo de uma Rotunda utilizada como medida de acalmia de tráfego (a) Rotunda – EN234; (b) Mini-rotunda em Ança, Cantanhede	17
Figura 2.4 – Portão de entrada (a) Figueira da Foz; (b) Benalmadena - Espanha.....	18
Figura 2.5 – Impactos previsíveis de algumas medidas (Geddes, 1996)	20
Figura 2.6 – Perfis típicos de <i>speed hump</i> e de <i>speed bump</i> (Weber, 1998).....	24
Figura 2.7 – Perfil de lombas circulares tipo Watts (DGV, 2004)	24
Figura 2.8 – Perfis trapezoidais ou lomba tipo <i>Seminole Couty</i> (DGV, 2004)	25
Figura 2.9 – Lomba trapezoidal em Coimbra (a) e Miranda do Corvo (b).....	25
Figura 2.10 – Plataforma em intersecção, com alteração de material (Mira)	25
Figura 2.11 – Lombas de apoio à circulação de veículos pesados (a) Lombas do tipo combinado (Steen e Hageback, 1999); (b) <i>speed cushion</i> (Streetswiki, 2010)	26
Figura 2.12 – Exemplo de uma lomba invertida (Steen e Hageback, 1999).....	26
Figura 2.13 – Esquema de sinalização associado a lombas ou plataformas (DGV, 2004).....	35
Figura 2.14 – Relação ideal entre desconforto e velocidade numa lomba (a) (adaptado de Watts, 1973); (b) Relação entre a aceleração vertical máxima (abcissas) e o desconforto médio (ordenadas) utilizando um veículo ligeiro (Watts, 1973)	36
Figura 2.15 – Variação do desconforto (ordenadas) com a velocidade (abcissas) em lombas tipo <i>Watts</i> para vários tipos de veículos (Watts, 1973).....	37
Figura 3.1 – Estimativa da redução do número de meses de vida em 2000 devido à presença de partículas (CAFE, 2005)	47
Figura 3.2 – Evolução da produção mundial de veículos ligeiros, pesados e motorizados (a) e da quantidade de veículos existentes (b) (Walsh, 2009)	48
Figura 3.3 – Evolução das emissões de CO (a) e NO _x (b) na União Europeia por sectores de actividade (EEA, 2010)	50
Figura 3.4 – Valores de NO _x , CO e NMVOC emitidos em Portugal em termos de emissões totais (a) e de transportes rodoviários (b) (Pereira et al., 2010).....	50
Figura 3.5 – Evolução das emissões de CO ₂ na Europa por modo de transporte (EU, 2010a)	51
Figura 3.6 – Utilização e dissipação de energia num veículo típico a gasolina, da década de 90 (DOE, 2010).....	55
Figura 3.7 – Emissões poluentes típicas de um veículo ligeiro com catalisador da década de 90 (Krzyzanowski et al., 2005)	58
Figura 3.8 – Emissões de CO ₂ , a velocidade constante, calculadas pelo modelo CMEM	65
Figura 4.1 – Sistema de eixos adoptado.....	72
Figura 4.2 – Fluxograma ilustrativo da recolha de dados dinâmicos	74
Figura 4.3 – Equipamento de recolha de sinais <i>MQ 200RT</i> montado no veículo (a) e PDA (b)	75
Figura 4.4 – Antena do GPS no tejadilho do veículo	76
Figura 4.5 – Exemplo da variação do valor do <i>Pitch</i> no decurso da transposição de uma lomba	77
Figura 4.6 – Ligação à OBD do veículo, (a) desligado; (b) ligado	78

Figura 4.7 – Computador e sistemas de apoio na bagageira do veículo (a) Interface do computador instalado (b).....	79
Figura 4.8 – Câmara frontal e lateral (a) e traseira (b).....	79
Figura 4.9 – Exemplo da visão frontal (a) e traseira (b).....	80
Figura 4.10 – Locais de recolha de dados (Fonte: Google Earth e Google Maps).....	81
Figura 4.11 – Trecho da N110 utilizado nas secções de recolha de dados (Fonte: Google Earth).....	82
Figura 4.12 – Trecho da EM589-Casal do Barril utilizado nas secções de recolha de dados (Fonte: Google Earth).....	83
Figura 4.13 – Trecho da N362-Porto de Mós utilizado nas secções de recolha de dados (Fonte: Google Earth).....	84
Figura 4.14 – Nomenclatura adoptada nas passagens de peões elevadas.....	84
Figura 4.15 – Exemplos de passagens do veículo instrumentado numa lomba.....	86
Figura 4.16 – Fluxograma relativo ao tratamento da base de dados.....	89
Figura 4.17 – Exemplo da visualização de duas passagens em lombas no programa <i>MaxQData Chart</i>	91
Figura 4.18 – Exemplo de um ficheiro de actividade no programa CMEM.....	92
Figura 4.19 – Exemplo da junção entre imagens vídeo e dados recolhidos e calculados.....	94
Figura 4.20 – Exemplo de perfis de velocidade de passagem numa lomba.....	97
Figura 4.21 – Representação esquemática das variáveis discretas utilizadas.....	100
Figura 5.1 – Caixa de bigodes da variável Dabr	111
Figura 5.2 – Histograma e <i>normal Q-Q plots</i> referentes à V-25	112
Figura 5.3 – Caixas de bigodes relativas às velocidades nas secções analisadas.....	114
Figura 5.4 – Histograma e <i>normal Q-Q plots</i> referentes à Ahent	115
Figura 5.5 – Variação da aceleração vertical na passagem em duas lombas consecutivas....	117
Figura 5.6 – Caixa de bigodes da variável Avmax	118
Figura 5.7 – Variação do valor de Pitch na passagem por duas lombas.....	119
Figura 5.8 – Caixa de bigodes da variável Pitch	119
Figura 5.9 – Intervalos de variação definidos para a análise comportamental dos condutores.....	122
Figura 5.10 – Caixas de bigodes da variável Dabr por condutor (a) e geral (b).....	123
Figura 5.11 – Caixas de bigodes da variável VI por condutor (a) e geral (b).....	127
Figura 5.12 – Caixas de bigodes da variável V-75VIV150 por condutor (a) e geral (b).....	127
Figura 5.13 – Caixas de bigodes da variável AhentAhsai por condutor (a) e geral (b).....	129
Figura 5.14 – Caixas de bigodes da variável Avmax por condutor (a) e geral (b).....	132
Figura 5.15 – Caixas de bigodes referentes às variáveis VI (a) e V-75VIV150 (b), na lomba L1aCB.....	135
Figura 5.16 – Caixas de bigodes referentes às variáveis VI (a) e V-75VIV150 (b) nas lombas CB e 110.....	137
Figura 6.1 – Caixa de bigodes da velocidade na lomba segundo a tipologia desta.....	145
Figura 6.2 – Velocidade na lomba em função da sua altura.....	146
Figura 6.3 – Velocidade na lomba segundo o comprimento desta.....	147
Figura 6.4 – Velocidade na lomba segundo a existência de passeio.....	148
Figura 6.5 – Velocidade na lomba segundo a largura da faixa de rodagem (lfr).....	149
Figura 6.6 – Velocidade na lomba em função da visibilidade/distância livre à entrada (Visent).....	150
Figura 6.7 – Velocidade na lomba em função da velocidade de aproximação (Vmax).....	151
Figura 6.8 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados da variável VI	154
Figura 6.9 – Aceleração vertical máxima por tipo de lomba.....	158
Figura 6.10 – Aceleração vertical máxima em função da altura da lomba.....	159
Figura 6.11 – Aceleração vertical máxima segundo o comprimento da lomba.....	160

Figura 6.12 – Aceleração vertical máxima segundo a velocidade de transposição da lombra	161
Figura 6.13 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados da regressão da variável Avmax	164
Figura 6.14 – Estimação dos valores da variável Avmax em função da VI e da Avmax	164
Figura 6.15 – Caixa de bigodes da variável Vmax-V150	166
Figura 6.16 – Emissões de CO ₂ à entrada em função da Vmax	169
Figura 6.17 – Emissões de CO ₂ à saída em função da aceleração horizontal.....	170
Figura 6.18 – Emissões de CO ₂ à saída em função da V150	171
Figura 6.19 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados da regressão da variável CO2tot	174
Figura 6.20 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> da regressão do Modelo Base, com condutores	179
Figura 6.21 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> da regressão do Modelo Base de velocidade..	182
Figura 6.22 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> da regressão do modelo Simplificado.....	184
Figura 6.23 – Comparação entre os valores modelados e valores médios observados para a VI	187
Figura 6.24 – Comparação entre os valores modelados e valores médios observados para a Avmax	187
Figura 6.25 – Comparação entre os valores modelados e valores médios observados para a variável CO2tot	188
Figura 6.26 – Valores observados e modelados para a lombra L2bCB	189
Figura 6.27 – Valores médios observados e modelados para a lombra L2bCB	189
Figura 6.28 – Valores observados e modelados para a lombra L4aCB	190
Figura 6.29 – Valores médios observados e modelados para a lombra L4aCB	191
Figura 6.30 – Valores observados e modelados para a lombra L2aPM.....	192
Figura 6.31 – Valores médios observados e modelados para a lombra L2aPM.....	192
Figura 7.1 – Relação entre a Vmax e a VI por aplicação do modelo discreto	196
Figura 7.2 – Relação entre a velocidade na lombra (VI) e a altura da mesma (h) por aplicação do modelo discreto	197
Figura 7.3 – Variação da velocidade na lombra em função do seu comprimento (lt).....	198
Figura 7.4 – Velocidade da lombra em função da velocidade de aproximação e altura da lombra	199
Figura 7.5 – Velocidade nas imediações da lombra de acordo com o modelo Base em função de Vmax e h	200
Figura 7.6 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com as variáveis h e Vmax	201
Figura 7.7 – Velocidade na lombra em função da velocidade de aproximação e comprimento da lombra	202
Figura 7.8 – Potencial de redução de velocidade das lombas em função do comprimento (h=0,075 m)	203
Figura 7.9 – Evolução dos valores da variável CO2tot segundo o modelo desenvolvido	206
Figura 7.10 – Valores da variável CO2tot em função da aceleração à saída e velocidade de aproximação.....	207
Figura 7.11 – Emissões de CO ₂ (em gr) de acordo com a altura da lombra e a aceleração longitudinal	208

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Dimensionamento de lombas trapezoidais.....	30
Quadro 2.2 – Lombas circulares propostas na Dinamarca (adaptado de Vejdirektoratet, 1991)	31
Quadro 2.3 – Comprimentos recomendados para os diversos tipos de lombas (DfT, 1996b).	32
Quadro 2.4 – Velocidades entre lombas em função do espaçamento e das velocidades anteriores à sua implementação (DfT, 1996b).....	34
Quadro 2.5 – Lombas recomendadas para percursos de veículos ligeiros e autocarros (adaptado de Weber, 1998).....	38
Quadro 3.1 – Principais poluentes atmosféricos originados pelo transporte rodoviário (VTPI, 2009).....	47
Quadro 3.2 – Tecnologias para melhoria da eficiência dos veículos.....	56
Quadro 4.1 – Características prevalentes das lombas	85
Quadro 4.2 – Excerto de uma folha de tempos nas lombas referente ao circuito de Casal do Barril.....	96
Quadro 4.3 – Excerto do ficheiro de dados contínuos ilustrando a aproximação e saída de uma lomba	101
Quadro 4.4 – Número de passagens válidas em cada local, por sexo do condutor	102
Quadro 4.5 – Número de passagens válidas segundo a tipologia da lomba e local	102
Quadro 4.6 – Caracterização da altura da lomba, para o número de passagens válidas	103
Quadro 4.7 – Caracterização do comprimento da lomba segundo o número de passagens válidas.....	104
Quadro 4.8 – Caracterização estatística do número de passagens válidas segundo a largura da faixa de rodagem.....	104
Quadro 4.9 – Número de passagens segundo a existência de passeio lateral (lado direito) ..	105
Quadro 4.10 – Caracterização estatística do número de passagens válidas segundo a visibilidade/distância livre	106
Quadro 5.1 – Caracterização estatística da variável Dabr (distância de abrandamento)	111
Quadro 5.2 – Caracterização estatística das velocidades registadas nas secções analisadas .	114
Quadro 5.3 – Caracterização estatística das variáveis Ahent e Ahsai	116
Quadro 5.4 – Caracterização estatística da variável Avmax	118
Quadro 5.5 – Caracterização estatística da variável Pitch	119
Quadro 5.6 – Comparação de variáveis comportamentais entre géneros	121
Quadro 5.7 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de Dabr e velocidades	124
Quadro 5.8 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis V-75R e VIR	125
Quadro 5.9 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis V-75R e V150R	125
Quadro 5.10 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de acelerações longitudinais.....	129
Quadro 5.11 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis Ahent e Ahsai	130
Quadro 5.12 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de VI , Avmax e Pitch	132
Quadro 5.13 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis VI , Avmax e Pitch	133
Quadro 5.14 – Valores, por condutor, referentes às variáveis VI e V-75VIV150 na lomba L1aCB.....	135
Quadro 5.15 – Valores referentes às variáveis VI e V-75VIV150 nas lombas CB e 110.....	136

Quadro 5.16 – Parâmetros caracterizadores do comportamento do condutor.....	138
Quadro 5.17 – Análise log-linear, valores observados e esperados para a velocidade, agressividade e conforto	139
Quadro 5.18 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de CO2tot	140
Quadro 5.19 – Caracterização qualitativa do comportamento dos condutores e nível emissões poluentes	141
Quadro 6.1 – Coeficientes da regressão simples para a variável VI em função de h	146
Quadro 6.2 – Coeficientes da regressão simples para a variável VI em função de lt	147
Quadro 6.3 – Coeficientes da regressão simples para a variável VI em função de lfr	149
Quadro 6.4 – Coeficientes da regressão simples para a variável VI em função de Visent	150
Quadro 6.5 – Coeficientes da regressão simples para a variável VI em função de Vmax ...	150
Quadro 6.6 – Resumo das características do modelo de regressão da VI	153
Quadro 6.7 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo de regressão da VI	153
Quadro 6.8 – Coeficientes de regressão do modelo VI	153
Quadro 6.9 – Gama de valores limite recomendada para utilização do modelo de regressão VI	155
Quadro 6.10 – Resumo das características do modelo de regressão VI , com condutores	156
Quadro 6.11 – Coeficientes de regressão do modelo VI , com condutores.....	157
Quadro 6.12 – Coeficientes da regressão simples para a variável Avmax em função de h ..	159
Quadro 6.13 – Coeficientes da regressão simples para a variável Avmax em função de lt ..	160
Quadro 6.14 – Coeficientes da regressão simples para a variável Avmax em função de VI ..	161
Quadro 6.15 – Resumo das características do modelo de regressão da variável Avmax	163
Quadro 6.16 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo de regressão da variável Avmax	163
Quadro 6.17 – Coeficientes de regressão da variável Avmax	163
Quadro 6.18 – Gama de valores limite recomendada para utilização do modelo de regressão Avmax	164
Quadro 6.19 – Caracterização estatística da variável Vmax-V150	166
Quadro 6.20 – Velocidades à saída das lombas 13 e 16 face às restantes situações	167
Quadro 6.21 – Caracterização das variáveis CO2ent , CO2sai e COtot	168
Quadro 6.22 – Coeficientes da regressão simples da variável CO2ent em função de Vmax ..	169
Quadro 6.23 – Coeficientes da regressão simples da variável CO2sai em função de Ahsai ..	170
Quadro 6.24 – Coeficientes da regressão simples da variável CO2sai em função de V150 ..	171
Quadro 6.25 – Resumo das características do modelo de regressão da variável CO2tot	173
Quadro 6.26 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo de regressão da variável CO2tot	173
Quadro 6.27 – Coeficientes de regressão da variável CO2tot	173
Quadro 6.28 – Gama de valores limite recomendada para utilização do modelo de regressão CO2tot	174
Quadro 6.29 – Resumo das características do Modelo Base, com condutores	178
Quadro 6.30 – Análise <i>ANOVA</i> ao Modelo Base, com condutores de regressão de velocidade	178
Quadro 6.31 – Coeficientes de regressão do Modelo Base, com condutores	179
Quadro 6.32 – Gama de valores limite recomendada para o modelo Base, com condutores ..	180
Quadro 6.33 – Resumo das características do Modelo Base de regressão de velocidade	181
Quadro 6.34 – Análise <i>ANOVA</i> ao Modelo Base de regressão de velocidade	181
Quadro 6.35 – Coeficientes de regressão do Modelo Base de velocidade.....	181
Quadro 6.36 – Gama de valores limite recomendada para o modelo Base de regressão de velocidade	182
Quadro 6.37 – Resumo das características do modelo Simplificado.....	183
Quadro 6.38 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo Simplificado	183
Quadro 6.39 – Coeficientes de regressão do modelo Simplificado.....	184
Quadro 6.40 – Gama de valores limite recomendada para o modelo simplificado.....	184

Quadro 6.41 – Aplicação dos modelos discretos às lombas estudadas.....	186
Quadro 7.1 – Emissões de CO ₂ , por condutor, comparação com e sem lombas	205

ABREVIATURAS

ANOVA – *Analysis of Variance*

ANSR – *Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária*

ARRB – *Australian Road Research Board*

CB – *Casal do Barril*

CE-CERT – *College of Engineering-Center for Environmental Research and Technology*

CMEM – *Comprehensive Modal Emissions Model*

csv – *Comma Separated Variables*

DGV – *Direcção Geral de Viação*

ECU – *Engine Control Unit*

ETSC – *European Transport Safety Council*

EUA – *Estados Unidos da América*

FEUP – *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*

GEE – *Gases com Efeito de Estufa*

GPS – *Global Positioning System*

HDOP – *Horizontal Dilution of Precision*

IMU – *Inertial Measurement Unit*

IST – *Instituto Superior Técnico*

ITE – *Institute of Transportation Engineers*

LED – *Light-Emitting Diode*

LRV – *Lomba Redutora de Velocidade*

MEASURE – *Mobile Emissions Assessment System for Urban and Regional Evaluation*

NCHRP – *National Cooperative Highway Research Program*

NEDC – *New European Driving Cycle*

OBD – *On Board Diagnosis*

OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*

PIAs – *Personal Injury Accidents*

PDA – *Personal Digital Assistant*

PM – *Porto de Mós*

SAFESPEED – *Projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia: Speed management strategies: an instrument for the implementation of safe and efficient road management solutions*

SD – *Secure Digital*

SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*

SUV – *Sports Utility Vehicle*

TRL – *Transport Research Laboratory*

TRRL – *Transport and Road Research Laboratory*

UK – *United Kingdom*

VBA – *Visual Basic for Applications*

VHS – *Video Home System*

VIF – *Variance Inflation Factor*

SIMBOLOGIA

Avmax – Aceleração vertical **máxima**. Valor máximo, em módulo, de aceleração vertical registado na passagem da lombagem menos a aceleração da gravidade

Ahent – Aceleração horizontal média nos últimos 25 m anteriores à entrada na lombagem

Ahsai – Aceleração horizontal média nos 50 m subsequentes à saída da lombagem

AhentAhsai – Soma em módulo das variáveis **Ahent** e **Ahsai**

C_d – Coeficiente de resistência aerodinâmica segundo o eixo do *x*

C_y – Coeficiente de resistência aerodinâmica segundo o eixo do *y*

C_z – Coeficiente de resistência aerodinâmica segundo o eixo do *z*

C_i – Número do condutor

C₃H₆ – Propileno

C₃H₈ – Gás propano

C₄H₁₀ – Gás Butano

CFCs – Clorofluorcarbonos

CH₄ – Metano

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO_{2ent} – Valor total de CO₂ emitido nos 75 m anteriores à lombagem

CO_{2sai} – Valor total de CO₂ emitido nos 150 m posteriores à lombagem

CO_{2tot} – Valor total de CO₂ emitido correspondendo à soma das duas variáveis anteriores

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

Dabr – Distância de **abrandamento** corresponde ao comprimento entre o ponto onde se verifica a velocidade máxima (**Vmax**) e a lombagem

F1 – Variável binária auxiliar, assumindo valores de 1 no trecho localizado a montante da lombagem e de 0 no trecho a jusante

F2 – Variável binária auxiliar, assumindo valores de 0 no trecho localizado a montante da lombagem e de 1 no trecho a jusante

GN – Gás natural

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

h – Altura da Lombagem. Diferencial máximo de cota entre a lombagem e a superfície da via adjacente

HC – Hidrocarbonetos

HCFC – Hidroclorofluorcarbonos

H₂ – Hidrogénio

H₂SO₄ – Ácido sulfúrico

Lijz – denominação associada a cada lomba, onde o *i* representa o número da lomba em cada um dos três circuitos, o *j* o sentido em que esta é percorrida e o *z* a denominação do circuito

lt – Comprimento total da lomba. Inclui, no caso de lombas trapezoidais as rampas de entrada e saída bem como a parte plana central

lfr – Largura da faixa de rodagem. Esta largura foi medida na zona de implantação da medida de acalmia de tráfego

NMVOC – *Non-Methane Volatile Organic Compounds*

NO₂ – Dióxido de azoto

NO_x – Óxidos de azoto

O₃ – Ozono

P – Passeio. Variável binária que assinala a existência ou não de passeio do lado direito da faixa de rodagem de acordo com o sentido de circulação do veículo. O valor “zero” indica a inexistência de passeio e o valor “um” a sua existência

Pitch – Valor máximo em módulo do *Pitch* na passagem da lomba

PM – *Particulate Matter* (Partículas finas)

Re – Rampa de entrada. Comprimento da rampa de entrada na lomba

Rs – Rampa de saída. Idêntico ao anterior mas na saída

Sent – Comprimento de análise considerado antes da lomba

SO₂ – Dióxido de enxofre

SO_x – Óxidos de enxofre

Ssai – idêntico a **Sent** mas referente à secção após a transposição lomba (Secção de saída)

T – Tipo de lomba. Neste caso existem apenas dois tipos considerados que são as lombas trapezoidais e lombas do tipo circular. Tendo em conta que se trata de uma variável binária foi assumido o valor “zero” para as lombas circular e “um” para as trapezoidais

V – Velocidade do veículo numa determinada secção

Visent – Distância de visibilidade à entrada da lomba

Vissai – Distância de visibilidade à saída da lomba

Vmax – Velocidade máxima na entrada. Trata-se da velocidade máxima entre a secção de entrada e a lomba

V-75 – Velocidade a 75 m da lomba

V-75R – Velocidade a 75 m da lomba (variável recodificada)

V-50 – Velocidade a 50 m da lomba

V-25 – Velocidade a 25 m da lomba

VI – Velocidade do veículo no momento em que aborda a lomba

VIR – Velocidade do veículo no momento em que aborda a lomba (variável recodificada)

V25 – Velocidade 25 m depois de transpor a lomba

V50 – Velocidade 50 m depois de transpor a lomba

V75 – Velocidade **75** m depois de transpor a lomba

V100 – Velocidade **100** m depois de transpor a lomba

V125 – Velocidade **125** m depois de transpor a lomba

V150 – Velocidade **150** m depois de transpor a lomba

V-75VIV150 – Soma das variáveis **V-75**, **V1** e **V150**

x – Distância medida entre qualquer ponto da trajectória do veículo e a lomba. Considerou-se que esta seria positiva para pontos após a lomba e negativa caso contrário. Tem assim um comportamento similar ao tradicional eixo horizontal das abcissas (eixo do “ x ”)

1. Introdução

1.1 *Evolução do Conceito de Medidas de Acalmia de Tráfego*

No final do século XIX a humanidade assistiu ao aparecimento de um invento que haveria de influenciar decisivamente o modo de vida das sociedades modernas. Esse invento, atribuído a Karl Friedrich Benz, era o automóvel propulsionado por um motor a gasolina de combustão interna. Inicialmente a sua utilização era pouco prática e as vantagens que apresentava, relativamente aos veículos de tracção animal, eram escassas. No entanto, o desenvolvimento tecnológico rapidamente inverteu esta situação.

Inicialmente apenas ao alcance de classes mais abastadas o automóvel foi, pela mão de alguns pioneiros, como Henry Ford¹ ou Ferdinand Porsche², ficando progressivamente mais acessível e, com isso, crescendo em número, maioritariamente na Europa e Estados Unidos. A partir dessa altura o enfoque na construção de infra-estruturas de transporte terrestre foi-se transferindo progressivamente do caminho-de-ferro para as vias de que o automóvel carecia para assegurar a sua mobilidade em condições cómodas e seguras. Um pouco por todo o lado estradas, pontes e túneis foram construídos para acomodar e responder às necessidades de deslocação de passageiros e de mercadorias. O desenvolvimento urbano das cidades passou progressivamente a integrar preocupações ligadas ao veículo automóvel na definição das políticas e estratégias de ocupação territorial. Nas novas cidades, maioritariamente no continente Americano, os urbanistas assumiram frequentemente este meio de transporte como preferencial, sendo a cidade de Brasília um exemplo desta nova corrente de pensamento.

No entanto, grande parte das zonas centrais dos núcleos urbanos da velha Europa teve dificuldade em conviver com este novo “intruso” e com as suas exigências. A partilha e fruição de algo escasso, neste caso o espaço físico, fizeram surgir os primeiros conflitos entre o automóvel e os restantes utilizadores da via pública, nomeadamente peões e ciclistas. A qualidade do espaço urbano e a segurança dos utilizadores mais vulneráveis começaram a ser postas em causa. Por outro lado, aspectos tais como a poluição sonora e atmosférica que inicialmente não eram considerados face ao reduzido número de automóveis e também, por vezes, desconhecimento, passaram a ter relevância. Esse aumento da consciência ambiental veio obrigar a reequacionar as políticas de utilização massiva do automóvel em zonas urbanas. O léxico dos técnicos ligados às questões do tráfego foi assim incorporando novos

¹ Henry Ford iniciou em 1908, com o Ford Modelo T, a produção em série de veículos que, dado o seu custo reduzido, massificou o acesso ao automóvel (Alizon et al., 2009).

² Ferdinand Porsche desenvolveu, sob encomenda do regime alemão da época, o Volkswagen “Carocha” que tinha como objectivo permitir aos operários alemães a aquisição do seu automóvel (Price, 2003).

conceitos como “sustentabilidade”, “níveis de poluição” e “consumo energético” que se juntaram aos mais tradicionais “capacidade”, “segurança”, “nível de serviço” e “demora”. Deste modo surgiu a noção de que o automóvel apesar das suas inegáveis vantagens, que hoje muito poucos dispensam, tem em certas condições que ser restringido em termos de liberdade de circulação e/ou na forma como essa circulação se processa. Surgiu assim o conceito que hoje no meio técnico rodoviário se designa geralmente por “Medidas de Acalmia de Tráfego”.

As primeiras referências à utilização de medidas de acalmia de tráfego remontam aos anos 20 do século passado, na Alemanha, onde os residentes e responsáveis pela gestão dos espaços urbanos centrais criaram zonas exclusivamente pedonais (Daughters, 2003). No entanto este conceito teve uma expansão mais notória a partir de 1970, na Holanda. A primeira medida foi acidentalmente aplicada por técnicos municipais na cidade de Delft quando foi construída uma lomba no final de uma rua (Schlabach, 1997). A utilização destes “obstáculos” revelou algumas vantagens que foram sendo identificadas e exploradas pelos técnicos e que, mais tarde motivou a sua aplicação noutras cidades como Gouda e Roterdão. Nessa altura o facto de se “condicionar” a mobilidade do automóvel, tido como um símbolo do progresso, foi visto como uma revolução no meio técnico ligado à gestão do tráfego (Schlabach, 1997). Estas primeiras abordagens levaram ao desenvolvimento de legislação e normas técnicas a serem aplicadas nas zonas residenciais designadas de *woonerf*. Estas foram publicadas, pela primeira vez, pelo Ministério Holandês dos Transportes e Obras Públicas, em Setembro de 1976 (ANWB, 1977). Desde então, e começando pelos países do norte e centro da Europa, nomeadamente a Dinamarca e Alemanha, o conceito foi-se difundindo a outros países e promovido o desenvolvimento de investigação nesta área que resultou na elaboração de recomendações técnicas com a identificação das condições privilegiadas de aplicabilidade e integração de regras e recomendações de projecto. Foi também acautelado o enquadramento legislativo a conferir à aplicação das medidas e à definição do processo metodológico de suporte à implementação deste tipo de intervenção.

Posteriormente a estas primeiras aplicações de medidas de acalmia de tráfego, no final da década de 80 e início da de 90, a sua aplicação generalizou-se em muitos países, chegando também a Portugal, embora de forma pouco entusiasta. Foram assim sendo criadas, um pouco por todo o globo, zonas onde o automóvel deixou de ser o veículo prioritário devolvendo esse lugar aos modos de transporte não motorizados, passando os diferentes modos a repartir de forma mais equitativa o uso do espaço público.

Neste contexto, as medidas de acalmia de tráfego surgiram como um instrumento que potenciou, em alguns países, a inversão da tendência de dominância incontrolada do automóvel tendo como finalidade principal mitigar os efeitos adversos do tráfego automóvel, designadamente em eixos com carácter marcadamente urbano. Consistem na adopção de um conjunto coerente de estratégias de desenho urbano e de alterações físicas na infra-estrutura viária capazes de controlar, de forma natural, o comportamento do condutor. Constituem assim um instrumento que, quando utilizado correctamente, permite reequilibrar e reordenar a fruição do espaço urbano minimizando as externalidades negativas associadas à utilização do automóvel e tornando a utilização dos modos de transporte ambientalmente sustentáveis mais atractiva e segura.

Deste modo um dos conceitos fundamentais da Acalmia de Tráfego é o de que os arruamentos urbanos devem ser espaços multi-usos encorajando as relações sociais e as vivências urbanas pela interacção harmoniosa de diferentes modos de transporte (Ribeiro e Seco, 1999). Este conceito pode considerar-se como sendo subjacente às filosofias de planeamento das cidades que privilegiam a criação de condições para a sustentabilidade do ambiente urbano e, consequentemente para a mitigação dos impactes negativos dos processos de desenvolvimento (Hass-Klau et al., 1992).

É de salientar que as medidas de acalmia de tráfego se baseiam essencialmente na imposição física da redução de velocidade e não na mera definição de uma velocidade limite através de sinalização vertical ou horizontal (Ribeiro, 1996). Nesta conformidade, as medidas utilizadas partem do pressuposto de que a sinalização, por si só, é insuficiente para controlar a velocidade de circulação dos veículos necessária à devida compatibilização das diferentes funções servidas pelo arruamento.

Mais recentemente alguns autores conferem-lhe complementarmente funções de controlo dos volumes de tráfego (Ewing, 1999), designadamente em relação ao tráfego de atravessamento de povoações ou de zonas a preservar. Também as valências ligadas ao desenho urbano, à funcionalidade do espaço intervencionado e à sua requalificação passaram a integrar o conceito.

1.2 Os Efeitos da Velocidade e Formas de Controlo

O progresso dos sistemas de transporte tem, ao longo dos séculos, sido avaliado pela sua capacidade de poupar tempo de deslocação, o que se tem traduzido numa necessidade de salvaguardar elevadas velocidades de operação. A salvaguarda da velocidade desejada passou a constituir-se como uma condição primária, designadamente na avaliação do nível de serviço

oferecido pela infra-estrutura. Mas o tempo veio demonstrar que o aumento da velocidade de operação não trazia só benefícios, tendo as questões de segurança rodoviária e preocupações ambientais exigido a integração de novos critérios na avaliação do desempenho geral da infra-estrutura.

Desde a primeira vítima mortal de um acidente rodoviário envolvendo um veículo motorizado, em 1896, o total de vítimas mortais atinge cerca de 30 milhões de mortos sendo actualmente de aproximadamente 1,2 milhões por ano. Para além das vítimas mortais os feridos representam mais 50 milhões por ano de entre os quais se regista ainda uma percentagem elevada de lesões graves (Peden M et al., 2004).

Em Portugal, segundo a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), em 2009 registaram-se 737 mortes, 2624 feridos graves e 43790 feridos ligeiros, tendo-se obtido em comparação com o ano de 2008, uma redução de 5,0% para as vítimas mortais e um aumento de 0,7% e 6% para os feridos graves e ligeiros, respectivamente (ANSR, 2009). É curioso constatar que a maior parte dos sinistros (71%) ocorre dentro das localidades, sendo também nestes locais que se regista o maior número de ocorrências de acidentes com peões.

Segundo a mesma fonte (ANSR, 2009), verifica-se que os acidentes que envolvem peões ocorrem frequentemente em passeios, passagens de peões sinalizadas e na berma da faixa de rodagem. A maior parte destas ocorrências ocorre durante o dia, sob boas condições de visibilidade, sendo os idosos as principais vítimas.

Apesar do cenário de evolução da segurança rodoviária em Portugal, particularmente quando inserido no contexto europeu dos últimos 10 anos (ETSC, 2010), ser francamente positivo e promissor, verifica-se que a situação continua a ser preocupante, particularmente no que toca aos espaços urbanos e à defesa dos utilizadores vulneráveis. São as autoridades oficiais que apontam a velocidade de circulação como um dos factores determinantes quer à explicação da frequência, quer da gravidade dos acidentes, considerando-a, de forma directa ou indirecta, a base da maioria dos acidentes em Portugal (MAI, 2003).

Algumas considerações elementares de biomecânica sublinham o papel fulcral da velocidade na sinistralidade rodoviária, nomeadamente no que concerne aos feridos e vítimas mortais. Os princípios elementares da epidemiologia dos ferimentos são determinados por relações Newtonianas exponenciais entre a velocidade de impacto, energia cinética e a severidade do ferimento (Richter et al., 2006).

São vários os autores que comprovam existir uma correlação positiva entre o aumento da velocidade, a frequência dos acidentes (Kloeden C.N., 1997; Kloeden et al., 1997; Stuster et al., 1998; Aarts e Schagen, 2006; Hakkert et al., 2007) e a sua gravidade (Farmer et al., 1999; Kockelman e Bottom, 2006). De acordo com estudos Suecos as variações na velocidade média de circulação conduzem a variações no número de acidentes, feridos e mortos proporcionais a uma função de grau um, dois e quatro respectivamente (Nilsson, 1981). O mesmo autor concluiu que uma redução de 3,5 a 5% na velocidade média de circulação conduz a reduções de 15 a 21% no número de vítimas mortais. Outro estudo indica que o aumento de apenas 1 km/h na velocidade de circulação do tráfego conduz a um aumento de 3% nos acidentes com feridos e 4 a 5% nos acidentes com vítimas mortais (Tranter, 2010).

Também Taylor (Taylor et al., 2000) defende genericamente que a diminuição da velocidade média em 1,6 km/h está associada à redução em 5% da frequência de acidentes, para condições de operação semelhantes. Considerando um acidente isoladamente Joksch verificou que, à semelhança do modelo de Nilsson, a probabilidade de ocorrência de fatalidades para os ocupantes do veículo aumentava segundo uma função que se aproxima da variação da velocidade do embate elevada à quarta potencia (Joksch, 1993).

De facto, importa ter presente que a velocidade afecta de forma significativa o comportamento do condutor através da alteração das suas capacidades visuais e cognitivas. Por exemplo, o campo de visão periférica (Figura 1.1) é substancialmente afectado, assim como a diminuição do tempo disponível para perceber e tratar a informação (conjugada com uma maior frequência de decisões). À medida que a velocidade de circulação diminui, a visão do condutor assume um ângulo muito mais amplo, sendo mais facilmente detectada, por parte deste, qualquer movimentação na faixa de rodagem e sua envolvente. A velocidade afecta ainda as distâncias de reacção e de travagem (AASHTO, 2004).



Figura 1.1 – Campo de visão de um condutor a diferentes velocidades: a) 65 km/h; d) 25 km/h (Hallmark et al., 2007)

Numa outra perspectiva, o relatório da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) (OECD/ECMT, 2006) foca que, no caso de acidentes que envolvam peões, estes mantêm uma grande probabilidade de sobreviverem sem danos profundos e irreversíveis, sempre que o veículo circula a velocidades inferiores a 30 km/h, diminuindo drasticamente essa probabilidade para velocidades superiores a 50 km/h. Para velocidades superiores a 70 km/h a probabilidade do peão sobreviver sem danos graves é praticamente nula (Figura 1.2).

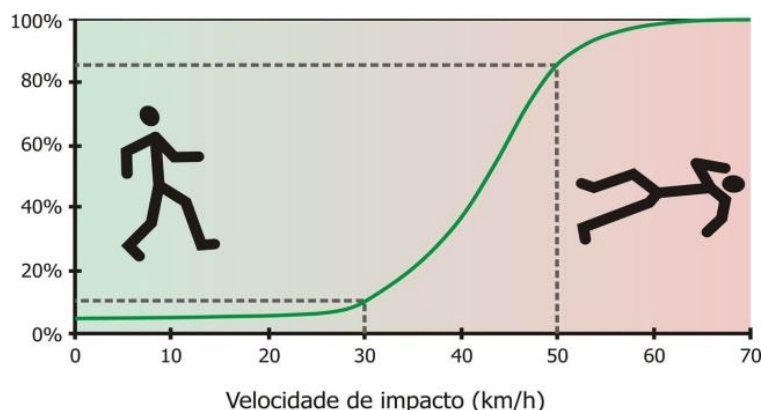


Figura 1.2 – Influência da velocidade em embate entre veículos e peões - adaptado de (ETSC, 2008)

Importa ainda ter sempre presente que a velocidade afecta directamente os custos finais da deslocação, traduzidos designadamente em termos ambientais, tempos de viagem e custos de operação (TRB, 1998; Elvik, 2002; Yang e Daniel, 2004), podendo estas diferentes preocupações resultarem em interesses antagónicos na selecção da velocidade final. Alguns estudos sublinham o efeito da velocidade no acréscimo do tempo de percurso e as perturbações e incómodo que esse aumento pode gerar, designadamente nos veículos de emergência (Ewing, 1999; Bunte Jr, 2000).

Relativamente às questões de natureza ambiental, designadamente a avaliação do efeito da velocidade nas emissões poluentes identificam-se vários estudos (Joumard et al., 1992; EPA, 2005; Agarwal, 2009) que comprovam que o aumento da velocidade se traduz num aumento directo do consumo de combustível, dos níveis de ruído e das emissões poluentes. No entanto o nível de conhecimento existente ao nível do estudo das interacções entre as características da estrada, o comportamento do condutor e as consequências em termos de emissões poluentes é ainda relativamente escasso.

Estas constatações permitem inferir que importa controlar as velocidades como medida mitigadora dos acidentes e da sua gravidade assim como forma de controlo das externalidades sobre o ambiente, sendo no entanto a imposição pura e simples de velocidades limite uma

medida pouco eficaz. De facto, estudos desenvolvidos na Europa têm demonstrado que os condutores subestimam o risco inerente à velocidade excessiva, particularmente quando associada ao seu próprio comportamento (ETSC, 2008). Contudo sabem avaliá-lo quando associado ao comportamento de outros condutores (SARTRE, 2004). Talvez por isso a tendência de violação dos limites legais de velocidade é elevada e as acções de fiscalização se revelam ineficientes (Elvic e Vaa, 2004; ETSC, 2006; ETSC, 2008). De acordo com a OECD estima-se que, em qualquer instante, mais de 50% dos condutores excedem o limite legal de velocidade (OECD/ECMT, 2006). Também Mountain (Mountain et al., 2005) corrobora esta ideia demonstrando, através de meta-análises, que a incorporação de medidas de alteração aos alinhamentos verticais são duas vezes mais eficazes em termos de PIAs (*Personal Injury Accidents*) do que o controlo da velocidade por fiscalização suportada por câmaras vídeo.

É portanto cada vez consensual que o controlo do comportamento dos condutores deve ser conseguido através de alterações físicas à infra-estrutura. As medidas de acalmia de tráfego aplicadas de forma combinada e adaptadas às exigências de cada local, têm assumido um campo privilegiado de aplicação, designadamente em áreas a proteger (espaços residenciais, centrais e de acesso reservado) com elevado nível de sucesso. A Dinamarca, Holanda, Alemanha, França e EUA são exemplos de países que têm vindo a utilizar de forma extensiva este tipo de solução, particularmente a partir da década de 90. Em Portugal, o seu uso é ainda limitado, sendo ainda muito poucos os exemplos de referência neste campo.

1.3 Avaliação da Eficiência das Medidas de Acalmia

A análise das potencialidades e debilidades associadas à aplicação de medidas específicas de acalmia de tráfego é um domínio ainda pouco explorado, sendo que os estudos científicos incidentes sobre estas matérias e que envolvem o estudo do comportamento do condutor se apresentam ainda em número bastante limitado.

Tal como referido anteriormente a relação entre a velocidade de circulação e o número e gravidade dos acidentes é uma questão que tem sido, e continua a ser, objecto de numerosos trabalhos de investigação (Mackay, 1970; Mackay, 1975; Nilsson, 1981; Joksch, 1993; Aljanahi et al., 1999; Peden M et al., 2004). Contudo a análise do efeito de cada medida e, em particular, das suas características prevaletentes, na redução da velocidade de circulação tem justificado um número limitado de estudos científicos (Barbosa, 1995; Pau, 2002; Bastos Silva, 2004; Bjarnason, 2004), baseando-se os existentes maioritariamente em análises do tipo “antes e depois”.

No que se refere às questões de natureza ambiental, designadamente das consequências ao nível das emissões de poluentes por parte dos veículos, verifica-se que a investigação desenvolvida neste campo é igualmente escassa (Boulter, 2001; Pandian et al., 2009). Esta situação deve-se à menor consciencialização no passado da opinião pública para este tipo de questões e também pela inexistência de modelos de análise que permitissem avaliar, com rigor, o impacte associado a um determinado tipo de medida de acalmia de tráfego ou de gestão da infra-estrutura rodoviária. Assim, a maior parte das referências bibliográficas apontam para a avaliação dos efeitos de forma qualitativa (ACEA, 2010b; EC, 2010b).

Por exemplo, no que respeita à poluição sonora, dada a diminuição da velocidade praticada pelos veículos, a aplicação de medidas de acalmia de tráfego tende a reduzir de forma assinalável os níveis de ruído gerado pelo tráfego rodoviário. A excepção (Richard e Steven, 1991; Ewing, 1999) a esta tendência verifica-se em medidas que envolvem alterações à cota da estrada e que podem originar maiores níveis de ruído emitido por parte dos veículos pesados.

No que concerne aos efeitos relativos à poluição atmosférica, verifica-se que existe ainda uma grande variabilidade de opiniões quanto ao seu impacto qualitativo e quantitativo (Barbosa, 1995; Boulter, 2001). Ainda assim a generalidade das referências aponta para o facto de algumas medidas de acalmia de tráfego tenderem a provocar um aumento das emissões poluentes por parte dos veículos (Höglund e Niittymäki, 1999). Refira-se, no entanto que existem, a este nível, bastantes divergências quanto ao tipo e grandeza do seu impacto (Boulter, 2001). Esta variabilidade justifica-se, não só, por diferenças metodológicas entre os vários estudos mas também pelo facto das emissões poluentes dos veículos serem dependentes de um conjunto alargado de variáveis, normalmente difíceis de quantificar, tais como o estilo de condução, combustível utilizado ou o tipo de veículo considerado (VTPI, 2005). As metodologias de cálculo mais recentes recorrem a modelos de emissões designados de instantâneos os quais utilizam como variáveis fundamentais a velocidade e aceleração em intervalos de tempo da ordem do segundo (Kutz, 2008). Este tipo de abordagem tem a vantagem de permitir efectuar análises comparativas entre diferentes medidas de gestão da infra-estrutura rodoviária em situações específicas. Porém a qualidade da análise está fortemente dependente da validade dos dados referentes aos perfis de velocidade e aceleração inseridos no modelo (Tate et al., 2005). Refira-se, a este nível, que a generalidade dos modelos de velocidade aplicados a medidas de acalmia de tráfego foram desenvolvidos para apoiar a estimação da redução pontual de velocidade que cada medida provoca enquanto que,

no caso das análises ambientais, é extremamente importante conhecer os perfis de velocidade de forma fidedigna.

Tendo em conta a importância que actualmente o nível de emissões poluentes associado ao transporte rodoviário assume a vários níveis, entre outros, na saúde humana, alterações climáticas, dependência energética³ e economia, é fundamental que, a construção de novos trechos viários ou a beneficiação de trechos existentes sejam precedidas de uma avaliação global considerando de forma integrada questões ligadas à eficiência operacional e ambiental.

1.4 Objecto e Objectivos do Estudo

Em Portugal, as medidas de acalmia de tráfego assumem ainda uma aplicação muito limitada, assistindo-se, no entanto, a um aumento da consciencialização relativa aos seus benefícios e à necessidade de se proteger a presença dos utilizadores vulneráveis mediante o controlo do comportamento do condutor por recurso a medidas físicas eficazes. Nessa linha de intervenção, Portugal tem assistido ao longo dos últimos anos a uma aplicação alargada de lombas redutoras de velocidade (LVR) que podem também estar associadas a passagens de peões adiante designadas apenas de “lombas”, com aplicação particularmente incidente no domínio urbano e suburbano.

A sua vasta aplicação associada ao facto das condições privilegiadas de aplicação não serem ainda suficientemente conhecidas, mesmo a nível internacional, fez com que este tipo de medida fosse seleccionada como o objecto principal deste trabalho. Verifica-se que apesar das lombas serem, muito possivelmente, o tipo de medidas com maior nível de aplicação a nível nacional e mundial, é escassa e incompleta a informação relativa aos seus efeitos reais, designadamente em termos de efeitos comportamentais no condutor e emissões poluentes associadas.

Nessa linha de acção, o objecto da presente tese centra-se no aprofundamento do nível de conhecimentos actualmente existente sobre as implicações decorrentes da utilização medidas de acalmia de tráfego que recorrem a alterações nos alinhamentos verticais, designadamente lombas redutoras de velocidade e passagens de peões elevadas, como medida pontual de redução de velocidade no que concerne à sua influência no comportamento dos condutores mais concretamente na velocidade adoptada e nos níveis de poluição atmosférica gerados. Recorrendo a uma base de dados real constituída para o efeito, o presente trabalho procura

³ Em média cada litro de gasolina consumido origina 2,3 kg de CO₂ emitido para a atmosfera. Para o gasóleo o valor é de 2,8 kg de CO₂ por litro (Chhatwal et al., 1988).

apresentar uma caracterização sistemática, exacta e abrangente dos efeitos mencionados sendo deduzidas relações matemáticas que relacionem a velocidade de circulação com as características geométricas principais da estrada, da lomba e com os níveis de emissões poluentes resultantes.

1.5 Metodologia Adoptada e Estrutura da Dissertação

A metodologia geral adoptada para a prossecução dos objectivos propostos passou por uma sequência de 5 fases fundamentais e que se interligam de forma lógica e complementar.

A primeira fase incidiu sobre a actualização do estado da arte em relação ao tema em estudo. Essa recolha que procurou ser o mais alargada e completa possível, incidiu sobre os mais relevantes artigos científicos nacionais e estrangeiros, documentos técnicos, manuais e disposições normativas, assim como os sites de organismos oficiais dedicados à implementação e estudo de medidas de acalmia de tráfego. A recolha bibliográfica desenvolvida permitiu melhorar e consolidar os conhecimentos sobre as principais medidas de acalmia de tráfego bem como das condições e critérios privilegiados de aplicabilidade. Por constituírem o objecto desta tese, as medidas que envolvem alterações ao nível do perfil longitudinal, designadamente lombas e passagens de peões elevadas, justificaram uma análise ainda mais exaustiva e pormenorizada. Complementarmente foi avaliado o estado da arte relativo às emissões ambientais decorrentes da utilização do automóvel definindo-se os principais tipos de poluentes e suas consequências, metodologias de cálculo e inter-relações entre as características do parque automóvel, infra-estrutura viária, comportamento do condutor e níveis de poluição gerados. Esta primeira fase dos trabalhos é sintetizada nos capítulos 2 e 3.

A segunda fase, abordada no quarto capítulo, incidiu sobre a construção da base de dados real para suporte às análises científicas e desenvolvimento das modelações matemáticas. As sessões de recolha de dados foram apoiadas por um veículo instrumentado adaptado para o efeito, capaz de registar de forma detalhada e contínua vários parâmetros relacionados com a cinemática do veículo ao longo dos eventos de condução. O veículo, pertença do Instituto da Construção da Universidade do Porto (FEUP), foi munido de um conjunto de equipamentos subdivididos em dois sistemas fundamentais, os quais funcionaram de forma independente mas sincronizada entre si: sistema integrado de recolha de imagem (3 câmaras digitais) e sistema de recolha de dados cinemáticos (GPS, acelerómetros e giroscópio). A recolha de campo foi precedida pela selecção criteriosa dos locais a serem objecto de estudo, tendo-se

optado por incidir sobre um conjunto de 17 lombas, 13 de forma trapezoidal (com ou sem passagens de peões) e 4 de forma circular, distribuídas em 3 percursos distintos. A dimensão da amostra teve em conta os valores utilizados em outros estudos de natureza similar (Barbosa, 1995; Bastos Silva, 2004) de modo a salvaguardar a significância dos resultados, tendo contudo por condicionantes básicas a exequibilidade do estudo designadamente em termos económicos, logísticos e temporais. Os critérios de selecção dos locais prenderam-se com a necessidade de salvaguardar alguma variabilidade geométrica das soluções e integrar diferentes ambientes rodoviários. O mesmo tipo de condicionantes levou a que o grupo de condutores fosse limitado a 18 elementos. Na impossibilidade de representar a globalidade da população nacional (tendo por base diversos factores como a idade, agilidade e experiência de condução, etc.), optou-se por recorrer à observação comportamental de uma amostra bastante homogénea, formada por condutores jovens representativos de ambos os sexos, todos apresentando um nível de experiência de condução elevado. Esta fase passou ainda por uma tarefa fundamental: o tratamento dos dados. Para esta etapa foi necessário o desenvolvimento de um conjunto alargado de rotinas desenvolvidas em *Visual Basic* para conversão e compatibilização dos dados de modo a viabilizar o seu tratamento eficiente por alguns programas de cálculo automático, designadamente o modelo de emissões instantâneas CMEM e os programas de tratamento estatístico.

A terceira fase, sintetizada no quinto capítulo, foi dedicada à caracterização geral do comportamento do condutor recorrendo a análises estatísticas. Esta caracterização incidiu sobre os diferentes indicadores comportamentais recolhidos tais como os perfis de velocidade e acelerações, procurando descrever e caracterizar as tendências observadas.

A fase seguinte (capítulo 6) incidiu sobre modelação matemática dos diversos parâmetros observados (características geométricas das lombas, meio viário envolvente, velocidades e acelerações) e calculados (valores de CO₂ emitidos) ao longo dos percursos em análise, em função da velocidade de aproximação e das características prevalecentes das lombas e do ambiente envolvente e dos diversos condutores envolvidos. Para o desenvolvimento dos modelos foram utilizadas técnicas de regressão múltipla hierarquizada.

Tendo por base as modelações anteriormente desenvolvidas a quinta e última fase do trabalho, sintetizada no capítulo 7, centrou-se numa análise de sensibilidade final sobre os efeitos integrados da transposição de uma lomba por um veículo a diferentes velocidades de circulação, potenciando definição de indicadores de eficiência que contribuem para fundamentar a aplicação deste tipo de dispositivo. Complementarmente foi desenvolvida uma

análise previsional do comportamento do condutor, baseada na imposição de variações graduais aos parâmetros geométricos considerados significativos na explicação dos modelos para quantificação do seu efeito ao nível das velocidades adoptada pelo condutor e das consequentes emissões poluentes.

Dado o volume de figuras, gráficos, quadros e outros elementos justificativos e de apoio à presente dissertação os elementos julgados não essenciais à compreensão do texto foram colocados em anexo.

2. As Lombas como Medidas de Acalmia de Tráfego

2.1 Introdução

As lombas são as medidas de acalmia que mais extensivamente têm sido utilizadas em todo o mundo, em grande parte motivada pela sua capacidade elevada em reduzir eficazmente a velocidade dos veículos e pelo seu baixo custo (Bastos Silva e Seco, 2006).

Contudo, importa ter presente que existe um conjunto alargado de outras medidas que visam igualmente controlar, de forma física, o comportamento do condutor e que, em algumas situações, devem ser consideradas como soluções alternativas às lombas.

Nessa óptica, este capítulo centra-se na identificação e apresentação breve das diferentes medidas de acalmia de tráfego, dando-se particular atenção às lombas e plataformas, como resultado do levantamento do estado da arte nesta matéria. São apresentadas as tipologias e características gerais das lombas redutoras de velocidade, na sua forma básica e na forma de passagens de peões elevadas ou plataformas, tendo por base os documentos da especialidade nacionais e estrangeiros. É ainda dado particular destaque ao aspecto dimensional e aos efeitos previsíveis procurando realçar os resultados e metodologias adoptados para a sua estimação.

2.2 Definição e Domínio Geral de Aplicabilidade das Medidas de Acalmia de Tráfego

As soluções de acalmia de tráfego caracterizam-se pela implementação de conjuntos coerentes de técnicas que, alterando adequadamente a geometria convencional das vias e o ambiente rodoviário envolvente, “forçam” os condutores dos veículos automóveis a reduzir a velocidade, protegendo e salvaguardando a segurança dos utilizadores mais vulneráveis da via, particularmente dos peões e dos ciclistas (Hass-Klau, 1990; ITE, 1993; Ribeiro, 1996; Ewing e Brown, 2010). A sua utilização é ainda frequentemente associada ao controlo dos volumes, designadamente em locais sujeitos a níveis elevados e indesejados de tráfego de atravessamento (TAC, 1998).

Este tipo de intervenções é normalmente encarado como uma oportunidade para requalificar as zonas intervencionadas, salientando-se assim o potencial que este tipo de medidas tem na transformação do espaço urbano e na promoção da sua qualidade paisagística. De facto, este tipo de ruas deve constituir espaços multi-usos encorajando as relações sociais e as vivências urbanas pela interacção harmoniosa de diferentes modos de transporte (Hass-Klau, 1990).

Em termos de aplicabilidade, as soluções de acalmia de tráfego encontram o seu domínio privilegiado de aplicação nas vias cuja função dominante é a acessibilidade, embora e quando adoptadas soluções pouco restritivas o seu domínio possa ser alargado a distribuidoras principais. Aplicam-se assim a locais onde se verifique a existência de conflitos entre veículos e peões ou em zonas onde as características da vivência urbana existentes não sejam compatíveis com a intensidade de tráfego que a atravessa (Ewing, 1999; Bastos Silva et al., 2004; Bastos Silva et al., 2007), designadamente em espaços centrais e residenciais ou trechos de atravessamento de localidades. Podem ainda aplicar-se como forma de controlo do comportamento do condutor, impedindo-o fisicamente de adoptar velocidades elevadas, aumentando assim o sentimento de segurança da população e restantes utilizadores da via pública.

2.3 Medidas de Acalmia de Tráfego Mais Relevantes

As medidas de acalmia de tráfego podem ser segregadas em três grupos (Ribeiro, 1996; Schlabbach, 1997; Ewing, 1999). O primeiro grupo compreende as medidas que introduzem alterações aos alinhamentos horizontais as quais obrigam os veículos automóveis a desvios forçados da sua trajectória por imposição de graus de sinuosidade mais ou menos acentuados. Estão, neste caso, incluídas, por exemplo, as gincanas e os estrangulamentos.

O segundo abarca as alterações aos alinhamentos verticais as quais implicam normalmente a alteração à cota do pavimento num trecho de estrada de dimensão limitada. Caracterizam-se, por impor variações mais ou menos bruscas à aceleração vertical e, por consequência, de desconforto, induzindo assim a uma diminuição da velocidade de circulação dos veículos motorizados (Bjarnason, 2004; Ewing e Brown, 2010). Por constituírem o objecto do presente estudo é dada particular atenção à apresentação e caracterização deste tipo de medidas no ponto 2.4.

O último grupo é constituído por medidas que apostam na transformação do ambiente rodoviário, sendo normalmente utilizadas de forma complementar às medidas físicas, actuando por “coacção” psicológica. Este tipo de medidas compreende entre outros os portões de entrada em localidades, plantação de vegetação, introdução de passeios e/ou ciclovias. Também o mobiliário urbano, tipologias e cores de pavimento, sinalização e a iluminação pretende reforçar o carácter obstrutivo de algumas medidas contribuindo ainda para a requalificação urbana e para a marcação da alteração ao ambiente rodoviário.

Todas estas alterações podem, e muitas vezes devem, ser combinadas entre si de forma a obter soluções mais eficazes e podem ser completadas ao nível do desenho com outro tipo de medidas tais como o uso sistemático e cuidado de elementos de mobiliário e desenho urbano (Vejdirektoratet, 1991; Herrstedt, 1992; Ewing, 1999). A eficácia global destas soluções depende, por um lado, da adequação da medida seleccionada ao local onde é implementada e, por outro lado, das suas características dimensionais.

2.3.1 As Medidas com Alteração aos Alinhamentos Horizontais

As intervenções que incluem alterações aos alinhamentos horizontais pretendem reduzir a velocidade de circulação dos veículos impondo variações à aceleração lateral e/ou a redução da largura útil disponibilizada aos veículos podendo nas soluções mais drásticas impor a redução do número de vias.

A gincana é uma das medidas mais utilizadas e caracteriza-se pela imposição de deflexões sucessivas à directriz da estrada, podendo as mesmas serem conseguidas por recurso a uma série consecutiva de curvas e de contra curvas, pela colocação de forma alternada de obstáculos nas bermas (como sejam caixas de vegetação junto às bermas) ou o uso alternado de estacionamento em cada um dos lados da via (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Gincana (a) ambiente urbano - Toronto (Buren, 2006b) (b) ambiente em trecho de atravessamento povoação - Mealhada

O domínio de aplicação das gincanas é extremamente alargado abrangendo quer espaços centrais quer os trechos de atravessamento de localidades, dependendo basicamente a sua aplicação da adaptação das características geométricas prevalecentes à velocidade pretendida, designadamente através da imposição de raios e de ângulos de desvio adequados.

Também os estrangulamentos têm vindo a ser utilizados como medida dissuasora da velocidade. Consistem na redução da largura da faixa disponível para circulação, mediante a

introdução de ilhéus separadores centrais ou de estrangulamentos laterais à faixa de rodagem (Figura 2.2).

Embora não se registre um consenso no que respeita à influência da largura das vias na velocidade, diversos autores referem a existência de correlações positivas entre estas duas variáveis (Oppenlander, 1963; ITE, 1976; Gambar, 1985; TRB, 2000) sendo esse efeito particularmente evidente nas vias de faixa única e estreita (Gambar, 1985). As mesmas conclusões são frequentemente associadas à largura das bermas (ITE, 1976; TRB, 2000).

Na sua forma mais comum, estes estrangulamentos são materializados pelo alargamento dos passeios, ou pela criação de separadores centrais, podendo ou não integrar vias de viragem à esquerda (Figura 2.2_a e b). Nas soluções mais extremas, os estrangulamentos podem levar à redução do número de vias e à definição de prioridades relativas entre movimentos de veículos (Ewing, 1999).



Figura 2.2 – Estrangulamentos a partir dos lados e do centro (a) (Ewing, 1999); (b) ilhéu central, com travessia pedonal (Buren, 2006a)

À semelhança das gincanas, os estrangulamentos asseguram um domínio de aplicação alargado, dependendo das suas características geométricas. Têm vindo a ser utilizados na marcação das alterações ao ambiente rodoviário, designadamente no tratamento das zonas de entrada nas povoações, pela sua combinação integrada com gincanas associadas ao tratamento geométrico de cruzamentos. São ainda aplicáveis na zona urbana, designadamente quando associadas a passagens de peões ou a paragens de transportes colectivos.

Em termos dimensionais, importa dotar os estrangulamentos das características geométricas compatíveis com a velocidade pretendida, sendo que a introdução dos ilhéus na faixa de rodagem deve respeitar os rácios pré-estabelecidos (DfT, 1995) de modo a evitar constituírem obstáculos imprevistos para o condutor.

Também as rotundas se apresentam como medidas com um grande potencial de acalmia de tráfego (Ewing, 1999; Bastos Silva e Seco, 2001). Caracterizam-se pela imposição de uma circulação giratória em torno de uma placa central de formato geralmente circular e onde os veículos que pretendem entrar no cruzamento são obrigados a ceder a passagem àqueles que já se encontrem no seu interior (Bastos Silva et al., 2004). Assim e à semelhança das gincanas, também as rotundas, quando devidamente concebidas impõem deflexões físicas aos movimentos (Figura 2.3_a). Trata-se de uma solução que assegura níveis elevados de capacidade, mesmo quando assume dimensões compactas e viabiliza uma única via de circulação, pelo que é particularmente indicada para locais onde se pretenda salvaguardar simultaneamente necessidades de segurança e de fluidez. São contudo mais eficazes sempre que as vias intersectadas apresentam importâncias funcionais e fluxos de tráfego semelhantes (DfT, 1993; SETRA, 1998; Bastos Silva, 2004). As rotundas de nível apresentam um domínio de aplicação extremamente vasto, contudo quando concebidas sob o princípio de segurança, integram características geométricas restritivas (soluções univias de dimensão compacta) que impõem igualmente limitações em termos de capacidade (Bastos Silva, 2004). São particularmente indicadas para marcar a alteração do ambiente rodoviário em entradas das localidades e no tratamento de intersecções sempre que se pretenda associar funções de regulação do trânsito à de moderação das velocidades, com defesa dos utilizadores vulneráveis (Bastos Silva et al., 2004).

De forma semelhante as mini-rotundas apresentam um potencial de acalmia de tráfego, embora e, por se tratar de uma solução visualmente pouco notória (Figura 2.3_a), se revelem menos eficazes que as rotundas normais (Bastos Silva et al., 2004). Por essa razão a sua aplicação deve ser limitada a locais centrais e residenciais, sujeitos a velocidades inferiores a 40 km/h (DfT, 1993; FHWA, 2000a) e sujeitos a fluxos baixos de veículos pesados.



Figura 2.3 – Exemplo de uma Rotunda utilizada como medida de acalmia de tráfego (a) Rotunda – EN234; (b) Mini-rotunda em Ança, Cantanhede

2.3.2 Medidas Complementares

É ainda possível contar com um conjunto alargado de medidas que, de forma isolada ou combinada, assumem funções de acalmia de tráfego. É o caso dos portões de entrada (Figura 2.4) particularmente voltados para marcar a mudança no ambiente rodoviário, nomeadamente nas entradas de povoação, em espaços condicionados ou em espaços residenciais. Os portões mais eficazes associam-se à aplicação de elementos verticais, seja pela adopção de estruturas arquitectónicas, de árvores/vegetação ou de iluminação pública. Frequentemente estão associados à imposição de velocidades máximas, a sinais de “início de povoação” ou à entrada em centros históricos, surgindo ainda frequentemente combinados com a marcação de “bandas cromáticas”.

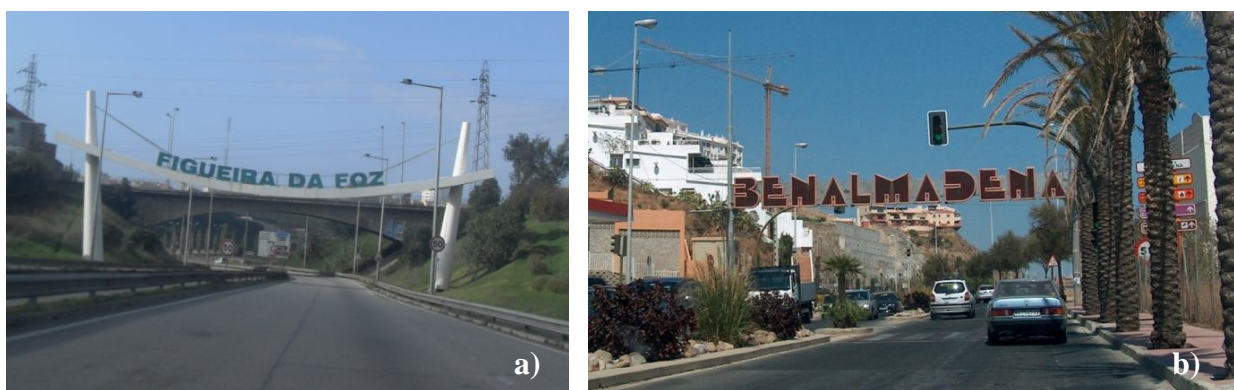


Figura 2.4 – Portão de entrada (a) Figueira da Foz; (b) Benalmadena - Espanha

Os portões devem ser preferencialmente combinados com outro tipo de medidas, já que quando aplicados isoladamente tendem a ser pouco eficazes (Wheeler e Taylor, 1995; Ewing, 1999).

Também os pré-avisos têm tido aplicação com objectivos de acalmia de tráfego (Ribeiro, 1996; Ewing e Brown, 2010). Nas suas diferentes formas (bandas sonoras - altura máxima 30 mm, ou bandas cromáticas - altura máxima 7 mm), caracterizam-se pela repetição, de forma degressiva, de bandas ou faixas transversais à faixa de rodagem. Têm como principal função alertar os condutores para uma situação de risco acrescido, através de um impacto, visual e acústico, havendo ainda lugar no caso das bandas sonoras a um ligeiro impacto físico (JAE, 1995; Ribeiro e Seco, 1999). O seu domínio de aplicação é extremamente vasto podendo ser associadas a passagens de peões, à aproximação de intersecções, de estreitamentos de via, de alterações ao traçado, ou a outras situações que justifiquem o aumento de atenção por parte do condutor. Podem ainda ser associadas aos portões de entrada.

Por sua vez, a aplicação de sistemas semafóricos com objectivos de acalmia de tráfego tem também vindo a ganhar ênfase nas últimas décadas. São soluções bastante versáteis, permitindo a adaptação das temporizações à variação dos volumes de tráfego. Desde a definição de estratégias de criação de ondas de vermelho, a simples sistemas semi-actuados, é possível definir um conjunto alargado de soluções com potencial de controlo de velocidade. Mas são os semáforos de controlo de velocidade que constituem os sistemas mais utilizados, designadamente em Portugal, podendo ser aplicados de forma isolada ou combinados com outras medidas. Os sistemas de controlo de velocidade consistem num sistema que detecta a velocidade dos veículos, accionando o sinal vermelho quando o valor registado excede um valor limite previamente programado. A experiência adquirida revela que estes sistemas são bastante eficazes em reduzir localmente a velocidade, sendo que a percentagem de acatamento da sinalização é normalmente elevada (Craveiro, 2009). Há, no entanto, condutores que recorrem a estratégias para evitarem a activação do sinal vermelho ou de modo a assegurar a sua passagem durante o período de amarelo (Craveiro, 2009; Silva et al., 2010). Assumem como domínio privilegiado de aplicação os locais de transição entre ambientes rodoviários, designadamente as entradas de povoações.

É ainda possível identificar um outro conjunto de medidas, comumente utilizadas, as quais por vezes se revelam indispensáveis à integração das medidas apresentadas anteriormente. Entre outras, a formalização de passeios, de baias de estacionamento, de passagens de peões, de redes cicláveis e as alterações de sentidos de tráfego, etc. são alguns exemplos, cada vez mais adoptados, com objectivos quer de acalmia de tráfego quer de redução dos volumes. Também a utilização de outras medidas complementares, tais como, a alteração de cor e textura de pavimentos, sinalização, mobiliário urbano, iluminação e vegetação têm contribuído para reforçar o carácter ‘obstrutivo’ de algumas medidas facilitando a legibilidade das soluções adoptadas, com contributos válidos para a qualidade visual e funcional do espaço público.

A iluminação pública revela-se ainda fundamental na visualização atempada dos vários elementos constituintes da estrada e envolvente durante o período nocturno, particularmente sempre que seja requerida a alteração do comportamento do condutor, designadamente: gincanas, estrangulamentos, estacionamentos, lombas, rotundas e ilhéus separadores. O plantio de vegetação assume funções complementares a todas as restantes medidas de acalmia de tráfego assumindo um papel central na transformação do ambiente rural em urbano.

2.3.3 Impactos Expectáveis das Medidas de Acalmia de Tráfego

É possível encontrar referências a vários estudos que avaliam os impactos/níveis de eficácia de diferentes tipos de medidas de acalmia (Barker, 2001; MATD, 2001; PennDOT, 2001; Elvic e Vaa, 2004; Ewing e Brown, 2010), com resultados nem sempre consensuais. Essa variabilidade de resultados leva a inferir que o efeito das características geométricas das medidas e as condições da envolvente pode alterar significativamente esses graus de eficácia.

Segundo Ewing (Ewing, 1999; Ewing e Brown, 2010) e Mountain (Mountain et al., 2005), as medidas físicas que impõem alterações ao perfil longitudinal (nomeadamente as lombas) são as que, tendencialmente, impõem impactos mais acentuados nos valores da velocidade. Segundo os mesmos autores, os estrangulamentos, embora não induzam a uma redução drástica da velocidade, quando associadas a passagens de peões, traduzem-se numa diminuição do comprimento de exposição ao risco do peão e resultam necessariamente num aumento do sentimento de segurança real e induzido (Ewing, 1999). Já os portões, quando aplicados isoladamente tendem a revelar-se pouco eficazes, devendo ser adoptadas outras medidas complementares de acalmia de tráfego para assegurar essa eficácia (Wheeler e Taylor, 1995).

A Figura 2.5 apresenta a redução da frequência de acidentes por colisão registada em função de cada tipologia de medida. É notória a eficácia associada às rotundas e às gincanas, as quais podem atingir reduções de acidentes superiores a 80%. Refira-se, no entanto, o facto de todas as medidas apresentadas na figura tenderem a traduzir-se em reduções bastante significativas do número de acidentes.

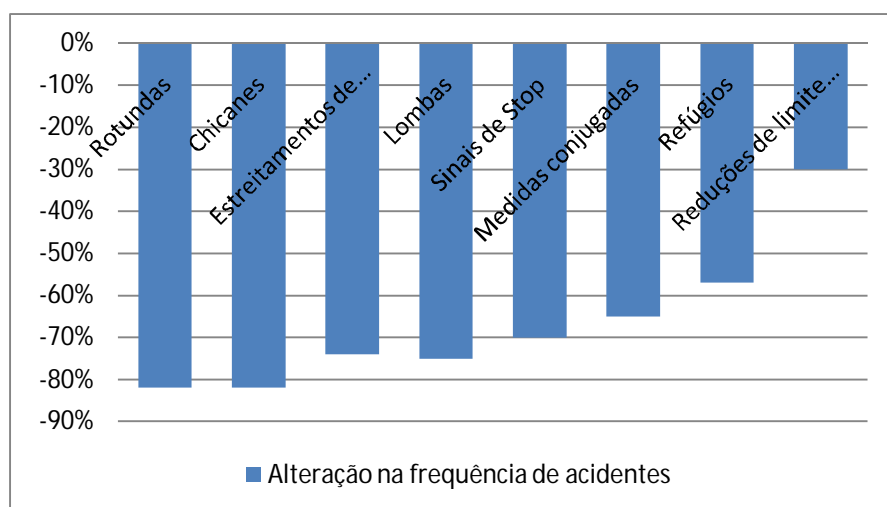


Figura 2.5 – Impactos previsíveis de algumas medidas (Geddes, 1996)

Em termos acústicos, as medidas de acalmia de tráfego traduzem-se geralmente numa diminuição dos níveis de ruído, resultantes da eliminação ou forte redução da circulação de veículos a velocidades elevadas e, em alguns casos, à redução do volume de tráfego. Há registos de reduções dos níveis de ruído de 4 a 5 dBA, associadas a reduções da velocidade de 50 para 30 km/h (Pharoah e Russell, 1989).

No entanto, as bandas sonoras são, por vezes, associadas a acréscimos de ruído, com aumentos que podem atingir os 3 a 5 dBA. Também a transposição de bandas ou lombas pode estar associada a um aumento de ruído, particularmente na presença de pesados que circulem com a caixa de carga vazia (Harvey, 1992). Também a utilização de alguns materiais com textura rugosa, designadamente as calçadas, tem sido frequentemente associada a problemas de ruído havendo um estudo que refere que um pavimento rígido (betão de cimento *Portland*) pode provocar um acréscimo de 2 dBA no nível de ruído e uma mistura betuminosa aberta pode justificar o decréscimo de 4 dBA (Kandhal, 2004). A *Danish Road Directorate* refere que a adopção de pavimentos porosos e com agregados de borracha pode assegurar reduções dos níveis de ruído de 6 dBA (Herrstedt, 1993).

Também o impacte das medidas nos níveis de poluição do ar tem vindo a ser estudado, apontando, em geral, para a sua diminuição (Hass-Klau, 1990). Alguns estudos demonstram a importância do estilo de condução, sendo que uma condução agressiva pode ser bastante penalizante a este nível (Pharoah e Russell, 1989; Boulter, 2001). No entanto os trabalhos de investigação mais recentes têm vindo a contrariar as conclusões iniciais demonstrando, de modo claro, que existe uma tendência para o aumento das emissões poluentes com a aplicação de algumas medidas de acalmia de tráfego (Höglund e Niittymäki, 1999; Boulter, 2001; Coelho et al., 2005b), particularmente as mais restritivas. Esse aumento é função de várias variáveis tais como o tipo de veículo, poluente considerado e estilo de condução, sendo que as medidas mais severas tendem a originar também maiores acréscimos na poluição gerada (Boulter, 2001).

A implementação de medidas de acalmia de tráfego pode ainda potenciar outros impactes, geralmente assumidos como positivos, tais como a diminuição do volume de tráfego, alterações na escolha modal, requalificação paisagística, promoção da vivência urbana e aumento do valor imobiliário das propriedades adjacentes (Litman, 1999). Estudos incidentes sobre a avaliação do grau de satisfação, referem como principais aspectos negativos, o incómodo imposto por algumas medidas mais restritivas e o aumento dos tempos de percurso (Bunte Jr, 2000).

2.4 Lombas e Plataformas Elevadas

2.4.1 Definição

As lombas são medidas de acalmia de tráfego que consistem na alteração de cota da superfície do pavimento da via com o objectivo de produzir um impacto visual e físico no condutor e, dessa forma, induzir à redução da velocidade de circulação. A sua eficácia resulta da incomodidade imposta ao condutor durante a sua transposição a velocidades superiores à velocidade de projecto (Watts, 1973; Ewing e Brown, 2010).

Segundo o despacho da DGV (DGV, 2004), designa-se por Lomba Redutora de Velocidade (LRV) uma secção elevada da faixa de rodagem construída em toda a largura desta com carácter não temporário, dimensionada com o objectivo de causar desconforto crescente nos ocupantes dos veículos durante o seu atravessamento e com o aumento da velocidade. Tal efeito não pode, porém, ser significativo para velocidades de valor igual ou inferior ao recomendado e, nestes casos, não pode provocar qualquer dano nos veículos.

2.4.2 Evolução do Conceito

Os primeiros trabalhos científicos de procura de soluções de engenharia que permitissem reduzir eficazmente a velocidade do tráfego remontam à década de 70, tendo sido desenvolvidos por G. R. Watts do *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL) na Grã-Bretanha (Watts, 1973). Esses trabalhos incidiram sobre trechos piloto que incluíam um conjunto de lombas com diferentes dimensões as quais foram transpostas por diferentes tipos de veículos. Como o resultado deste estudo surge uma solução “*standard*” de uma lomba com perfil circular de 3,7 m de comprimento e 100 mm de altura, a qual foi aplicado em 9 locais para potenciar o desenvolvimento de trabalhos de investigação complementar (Baguley, 1981). No seu seguimento, a instalação de lombas foi autorizada em Inglaterra, em 1980 através de uma adenda ao *Transport Act 1981* condicionando a sua aprovação às entidades gestoras da rede rodoviária e ao Secretário de Estado (Gifford, 2004). Na sequência de diversas evoluções legislativas, surgiu em Inglaterra, em 1999, regulamentação mais permissiva autorizando a instalação de lombas na rede rodoviária inglesa, sem recurso a autorizações superiores, embora limitada às vias sujeitas à velocidade máxima legal de 50 km/h. Na sua sequência surgem outras formas de lombas (sinusoidais e circulares), particularmente voltadas para apoiar os ciclistas (Gifford, 2004).

A investigação sobre a eficácia deste tipo de medidas acentua-se na década de 90, destacando-se a desenvolvida por Webster e Mackie (Webster e Mackie, 1996), incidente sobre soluções

combinadas em zonas de 20 mph e que motivou a instalação deste tipo de soluções em mais de 200 locais em Inglaterra.

Também nos Estados Unidos houve avanços nesta matéria tendo sido instaladas em Seattle gincanas e lombas, enquanto medida de redução da velocidade, com resultados extremamente promissores, registando-se reduções significativas quer na velocidade quer nos volumes de tráfego (Marek, 1998). Concluiu-se, no entanto, que o nível de eficácia das medidas dependia das características das lombas e da envolvente, designadamente da existência de outras alternativas viárias. Também o baixo custo que lhe estava associado serviu de incentivo (Marek e Walgren, 2003) o que justificou a sua expansão a diversos locais dos EUA, designadamente a espaços residenciais e de utilização reservada. Igualmente em Itália, na década de 90, e à semelhança de outros países da Europa, foi adoptado o uso extensivo de ondulações no pavimento, particularmente nas cidades de média dimensão (Pau e Angius, 2000). Os resultados foram muito pouco consensuais, havendo mesmo estudos italianos que apontam para níveis de eficiência pouco significativos (Pau e Angius, 2000; Pau e Angius, 2001; Pau, 2002).

Foi assim, essencialmente a partir da década de 90, que este tipo de medida se expandiu a muitos outros países da Europa, Estados Unidos e Austrália, o que justificou a elaboração de vários manuais de apoio à sua concepção geométrica e definição de regras de aplicação (DfT, 1996b; Ewing, 1999; MF, 2008). Portugal não foi excepção e desde essa época que a medida tem sofrido um alargamento do seu domínio de aplicação abrangendo vias urbanas, suburbanas e embora de forma menos expressiva vias inter-urbanas. Essa expansão alargada e, por vezes, inadequada acabou por motivar em 2004, a publicação de um documento de índole recomendativa, a qual ao imanar indicações dimensionais e de aplicação (DGV, 2004) representa um forte contributo para a uniformização das soluções e sua sinalização.

2.4.3 Tipologias de Lombas e sua Caracterização Geral

Nas suas primeiras aplicações, as lombas foram subdivididas em dois grupos, em função do seu comprimento. O primeiro tipo, designado nas fontes anglo-saxónicas de *speed hump* inclui elevações do perfil longitudinal entre 5 e 12 cm e comprimentos de 3 a 12 m. O segundo, conhecido por *speed bump*⁴ ou *speed thump* compreende medidas com elevações entre 5 e 15 cm e comprimentos entre 0,3 e 1,0 m (Figura 2.6) (DfT, 1994; Weber, 1998).

⁴ As *Speed Bump* são, segundo um estudo Italiano (Pau e Angius, 2001), pouco eficazes na redução da velocidade dos veículos, produzindo efeitos muito localizados nos perfis de velocidade.

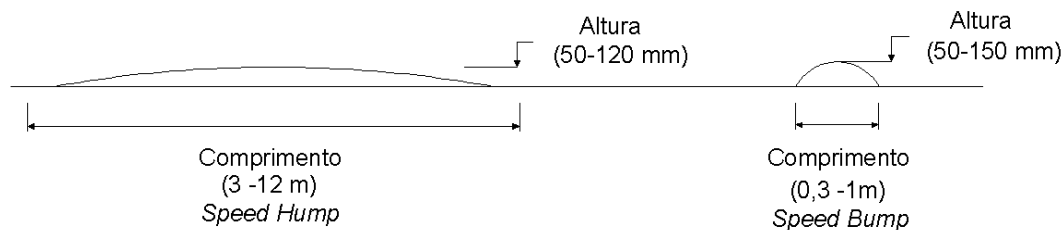


Figura 2.6 – Perfis típicos de *speed hump* e de *speed bump* (Weber, 1998)

Dentro do grupo das *speed humps*, o perfil mais comum é o perfil *Watts* ou circular (Watts, 1973) caracterizado por uma secção de um cilindro com 3,7 m de comprimento e 75 a 100 mm de altura, colocada transversalmente na via. Segundo Watts, este perfil é compatível com a prática de velocidades da ordem dos 25 a 30 km/h tendo sido já aplicado em vários países (ITE, 1993; TAC, 1995), incluindo Portugal (DGV, 2004).

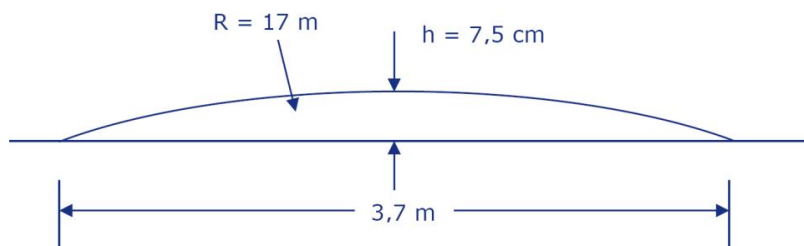


Figura 2.7 – Perfil de lombas circulares tipo Watts (DGV, 2004)

Outros trabalhos de investigação conduziram ao desenvolvimento de outras configurações que variam em comprimento, altura e tipologia do perfil, o que permitiu alargar a sua utilização a velocidades até 50 km/h (Ewing e Brown, 2010).

De entre estas cite-se a lomba tipo *Seminole* desenvolvida em Seminole County, Florida (Nicodemus, 1991) similar ao perfil *Watts* mas integrando um trecho no topo plano com pelo menos 3 m de comprimento, alongando a lomba para valores superiores a 6,7 m. A lomba transforma-se, assim, numa plataforma de topo plano (também designada de *speed table* – Figura 2.8), potenciando a marcação de uma passagem de peões e/ou de ciclistas. A altura das lombas aproxima-se da existente nos passeios (com um máximo de 10 cm, segundo DGV, 2004), garantindo a continuidade dos trajectos pedonais e enfatizando a ideia de que o peão é o utilizador preferencial e prioritário do espaço associado à plataforma, devendo como tal, o veículo adaptar-se às necessidades e comportamento dos peões.

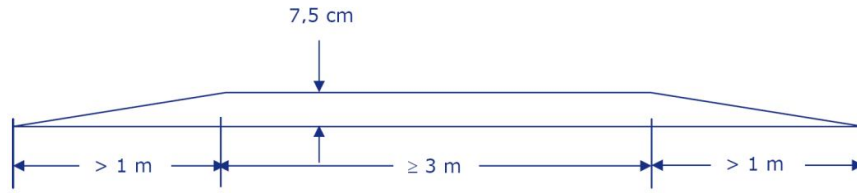


Figura 2.8 – Perfis trapezoidais ou lombas tipo *Seminole Couty* (DGV, 2004)



Figura 2.9 – Lomba trapezoidal em Coimbra (a) e Miranda do Corvo (b)

O mesmo princípio de funcionamento das lombas quando aplicado a intersecções resulta na criação das designadas “intersecções em plataforma” (Figura 2.10) onde a zona elevada abrange toda a área da intersecção, podendo eventualmente abranger a zona de aproximação dos diferentes ramos afluentes (Ewing e Brown, 2010).



Figura 2.10 – Plataforma em intersecção, com alteração de material (Mira)

A utilização de lombas, na sua forma base, pode acarretar perturbações significativas a outro tipo de utilizadores da via pública e a quem não são directamente dirigidas as medidas, como sejam aos ciclistas e veículos longos, designadamente os transportes colectivos e veículos de emergência (Bunte Jr, 2000; Ewing e Brown, 2010). Nessa perspectiva, podem utilizar-se as lombas alongadas com comprimentos compreendidos entre os 9 m e os 12 m, particularmente

recomendadas para vias sujeitas à presença deste tipo de veículos (Alduán, 1996). Em alternativa, pode ser implementada a lomba combinada onde se consideram diferentes inclinações de rampas para os diferentes utilizadores (uma alongada destinada a veículos longos e outra mais agressiva dirigida aos automóveis) (Steen e Hageback, 1999) (Figura 2.11_a). Pode igualmente ser utilizada a lomba do tipo “almofada” (*speed cushion*), onde a elevação se limita à zona central da via permitindo que os veículos pesados (com maiores distâncias entre rodados) a transponham sem a galgar (Ewing e Brown, 2010) (Figura 2.11_b).

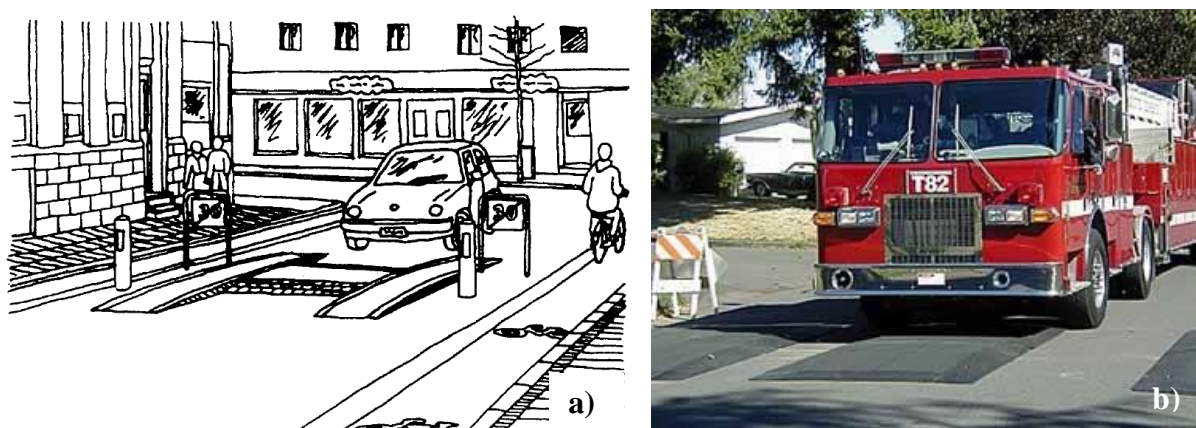


Figura 2.11 – Lombas de apoio à circulação de veículos pesados (a) Lombas do tipo combinado (Steen e Hageback, 1999); (b) *speed cushion* (Streetswiki, 2010)

Por sua vez, as lombas invertidas ou depressões (Figura 2.12) constituem outra forma de impor deslocamentos verticais aos veículos (Steen e Hageback, 1999). Trata-se de uma solução pouco utilizada e que funciona de forma inversa relativamente às soluções tradicionais. É particularmente adequada para responder a climas agrestes, já que facilita o trabalho dos veículos de limpeza de neve. Trata-se no entanto de uma solução visualmente menos notória, associando-se ainda a problemas de drenagem.

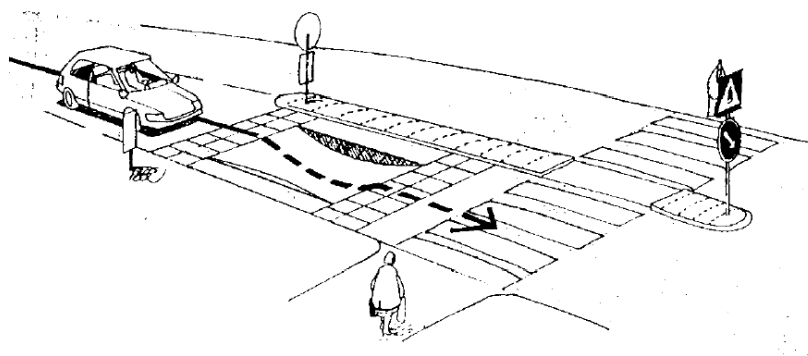


Figura 2.12 – Exemplo de uma lomba invertida (Steen e Hageback, 1999)

Também os ciclistas podem encontrar dificuldades na transposição destes dispositivos, pelo que as medidas de apoio passam, habitualmente, por criar canais especiais para a sua circulação (mediante a interrupção da lomba numa faixa lateral ao passeio) ou rebaixar ligeiramente as rampas nos extremos transversais da lomba. O canal para ciclistas deve disponibilizar 0,9 a 1,2 m de largura devendo esta dimensão ser condicionada, ou serem utilizados elementos de delimitação física, de forma a não incentivar os automobilistas a utilizá-la como corredor de circulação (Ewing e Brown, 2010).

2.4.4 Modo de Funcionamento

O princípio de funcionamento das lombas do tipo *speed hump* resulta da imposição de uma força vertical ao veículo (e ocupantes), à medida que este transpõe a lomba. Esta força traduz-se em aceleração vertical e deslocamento induzindo um movimento de rotação da frente para a traseira dos veículos (Jarvis, 1980; Hillier e Pittuck, 1993; Blundell e Harty, 2004). A baixas velocidades, à medida que aumenta o comprimento das *speed humps*, o veículo tende a subir o desnível altimétrico e rodar de forma suave, sendo que, à medida que a velocidade vai aumentando, as acelerações tornam-se mais agressivas para os ocupantes sob a forma de uma sacudidela (Weber e Braaksma, 2000).

No caso normal, em que as pessoas viajam sentadas, as acelerações verticais são maioritariamente transmitidas através da estrutura óssea da zona da bacia. Face a uma aceleração forte ela é transmitida ao condutor como uma sensação de desconforto. Este grau de desconforto é função do número de passagens e aumenta com o incremento da duração e amplitude dessas passagens (Griffin, 1996). Dado que as acelerações produzidas pelas *speed humps* têm uma duração bastante pequena, o desconforto pode ser atribuído à magnitude da aceleração.

É difícil, senão mesmo impossível, projectar uma lomba que provoque o mesmo tipo de resposta dinâmica em todos os tipos de veículos. Os veículos longos são, geralmente, mais afectados devido à sua maior distância entre eixos embora os condutores destes possam compensar este efeito através de uma maior tolerância a níveis elevados de desconforto (Mak, 1986).

2.4.5 Domínio Privilegiado de Aplicação

As lombas, conforme exposto no ponto 2.4.3, podem assumir várias formas e níveis de restrição física, o que potencia um campo vasto de aplicação. Este depende de vários factores,

entre outros, a hierarquia da via, as condições locais e os utilizadores considerados prioritários. São particularmente indicadas para aplicação em vias de acesso local ou em vias distribuidoras locais integradas em zonas residenciais, comerciais e centrais (Ewing, 1999; MATD, 2001), podendo a sua aplicação incidir no tratamento de trechos mais ou menos extensos, em pontos singulares, em intersecções ou zonas. Podem ainda ser utilizadas em traçados novos ou na beneficiação de trechos existentes, em estradas de um ou dois sentidos. A sua utilização em vias distribuidoras principais, designadamente em trechos de atravessamento de localidades, deve ser encarada com precaução, podendo no entanto justificar-se desde que a velocidade no arruamento seja limitada a 50 km/h (Ewing, 1999; MATD, 2001; DGV, 2004). Para tal, importa que a geometria de aproximação induza, de forma natural e progressiva, à moderação de velocidade para valores compatíveis com a da sua transposição.

Por razões que se prendem com a necessidade de garantir a operacionalidade e fluidez, a sua utilização deve ser limitada a vias sujeitas a níveis de procura relativamente baixos. São compatíveis com TMD_A inferiores a 3000 veículos (Alduán, 1996; DDT, 2000) ou a 4000 veículos em zonas residenciais e 5000 veículos em zonas centrais (MATD, 2001; SCDOT, 2006). Aceita-se, contudo, que as lombas que tenham igualmente a função de passagens de peões elevadas sejam construídas em vias sujeitas a TMD_A inferior a 10000 veículos (no conjunto dos 2 sentidos) desde que, inseridas em zonas de grande actividade pedonal (Alduán, 1996).

Devem ainda ser evitadas em vias que integrem percursos com tráfego intenso de transportes colectivos ou de serviços de emergência, podendo obrigar à adopção de soluções específicas de apoio a este tipo de veículos (ponto 2.4.3) (Ewing e Brown, 2010). A sua adopção deve também ser limitada pela inclinação da via, de forma a evitar que a parte inferior dos veículos pesados colida com a superfície do pavimento da lomba (FHWA, 2002). O ITE aponta para inclinações máximas de 8%, enquanto que a DGV aceita inclinações máximas de 10% (DGV, 2004).

Segundo o *Institute of Transportation Engineers* (ITE) (Ewing, 1999) devem ser igualmente verificados os seguintes aspectos:

- Perfil transversal no máximo com 2 vias;
- Em recta ou em curva horizontal de raio superior a 90 m;
- Em curva vertical desde que assegurada a distância de visibilidade de paragem;
- Percentagem de veículos longos inferior a 5%;

- A via em questão não estar inserida numa rota de emergência ou constituir um eixo relevante dos transportes colectivos;
- Apoio da maioria da população local.

A nível nacional, a nota técnica da DGV (DGV, 2004) impõem condições gerais de aplicação similares, destacando-se as seguintes condições para a sua não aplicação:

- Em vias sem passeios ou noutras situações em que seja possível ao condutor adoptar uma trajectória que contorne a LRV;
- Em locais sem iluminação pública, sempre que a velocidade máxima local seja superior a 30 km/h;
- A uma distância inferior a 30 m ou superior a 150 m de uma passagem de peões;
- A uma distância inferior a 10 m da linha imaginária que delimita a zona de intersecção de um cruzamento ou entroncamento na via em que se pretende instalar a LRV, para salvaguardar a estabilidade dos veículos de 2 rodas.

Apesar do seu domínio alargado de aplicação, as lombas não podem ser consideradas como soluções de uso generalizado. Importa sublinhar que o sucesso da implementação de qualquer medida de tráfego é o envolvimento da população local sendo essencial que esta seja maioritariamente favorável à sua adopção (Ribeiro e Seco, 1999; Silva, 2001).

2.4.6 Aspectos Dimensionais

O dimensionamento das lombas assenta no princípio de que os parâmetros dimensionais devem permitir que a mesma seja transposta de forma relativamente confortável, quando adoptadas velocidades inferiores ou iguais a um valor pré-definido, aumentando esse desconforto à medida que aumenta a velocidade de transposição. Os parâmetros básicos de dimensionamento são o formato, o comprimento, a altura, a inclinação das rampas e a largura das lombas (Ewing e Brown, 2010).

2.4.6.1 *Formato da lomba*

As lombas podem assumir diferentes formatos, destacando-se as lombas de perfil circular, parabólicas, trapezoidais e sinusoidais.

A selecção do formato depende dos objectivos pretendidos, nomeadamente no que concerne à redução de velocidade imposta. Para além deste compromisso devem ser tidos em conta aspectos operacionais, nomeadamente no que se refere ao possível embate da parte inferior dos veículos na lomba (Webster, 1993a).

Em termos de aplicação, os formatos circular, trapezoidal e sinusoidal apresentam-se como os mais comuns. As referências de origem Holandesa indicam o formato sinusoidal como o mais confortável do ponto de vista dos ciclistas (De Wit, 1993).

LOMBAS DE FORMATO TRAPEZOIDAL

O formato trapezoidal caracteriza-se pela disponibilização de uma superfície de topo plana ladeada por rampas de acesso circulares ou rectilíneas. A maioria das referências bibliográficas recomenda a adopção de altura da lomba compreendida entre 7,5 e 10 cm (na superfície plana), com um mínimo de 2,5 cm (DfT, 1996b; DGV, 2004; Ewing e Brown, 2010).

Independentemente da altura máxima e comprimento adoptados, a inclinação das rampas de acesso à lomba trapezoidal é fulcral na definição do (des) conforto imposto pela lomba tendo este assunto suscitado vários trabalhos de investigação (Weber e Braaksma, 2000; Bjarnason, 2004). De uma forma geral, a inclinação das rampas deverá ser tanto maior quanto menor é a velocidade pretendida. O Departamento de Transporte de Delaware (DDT, 2000) recomenda que as rampas rectas não tenham inclinações superiores a 1:10 (10%) nem inferiores a 1:25 (4%). Quando associadas a passagens de peões, as rampas devem ter inclinações compreendidas entre os 4 e os 8% (PennDOT, 2001).

Também Webster (Webster, 1993a) preconiza que, no caso de lombas de maior comprimento, plataformas ou intersecções elevadas, importa evitar embates entre a parte inferior dos veículos e a lomba pelo que a inclinação das rampas deve ser limitada ao máximo de 1:10 (Webster, 1993b). Uma nota técnica Britânica refere que em vias cujo perfil longitudinal apresente inclinações acentuadas (da ordem de 10%) essa inclinação deva ser limitada a 1:15, baixando para 1:10 a 1:12 em condições normais (DfT, 1996a). De forma similar fontes norte-americanas e dinamarquesas indicam diferentes valores para as dimensões da rampa em função da velocidade (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Dimensionamento de lombas trapezoidais

Estudo dinamarquês (adaptado de DDT, 2000)			Estudo americano (adaptado Ewing, 1999)		
Comprimento da rampa (m)	Inclinação da rampa	Velocidade de circulação (km/h)	Comprimento da rampa (m)	Inclinação da rampa	Velocidade de circulação (km/h)
0,7	1:07	19	0,9	1:09	16
0,8	1:08	26	1,2	1:12	24
1	1:10	31	1,5	1:15	32
1,3	1:13	35	1,2	1:16	32
1,7	1:17	40	1,5	1:20	40
2	1:20	45	1,8	1:24	48
2,5	1:25	50	---	---	---

LOMBAS DE FORMATO CIRCULAR

As lombas circulares são compatíveis com velocidades entre 20 e 50 km/h e provocam níveis de desconforto moderados se transpostas à velocidade recomendada. Segundo várias

referências (Watts, 1973; Ewing, 1999; DGV, 2004) devem ter 3,7 m de comprimento e alturas compreendidas entre 7,5 e os 10 cm, no seu ponto central (Figura 2.7_a). As normas dinamarquesas recomendam a adopção de comprimentos e alturas ligeiramente superiores, 4,20 m e 12 cm, respectivamente (Herrstedt, 1993). Segundo a autoridade rodoviária Dinamarquesa a adopção de alturas inferiores a 7,5 cm tem-se revelado pouco eficaz na redução da velocidade, pelo que recomenda a adopção de alturas de 10 cm independentemente da velocidade pretendida (Quadro 2.2) (Vejdirektoratet, 1991).

Quadro 2.2 – Lombas circulares propostas na Dinamarca (adaptado de Vejdirektoratet, 1991)

Velocidade (km/h)		Dimensões da Lomba (m, mm)
Veículos Ligeiros	Autocarros	
20	5	3,0x100
25	10	3,5x100
30	15	4,0x100
35	20	5,0x100
40	25	6,5x100
45	30	8,0x100
50	35	9,5x100

LOMBAS DE FORMATO SINUSOIDAL

De acordo com a DGV (DGV, 2004) o comprimento das lombas sinusoidais deve situar-se entre 4 e os 5 m, devendo o seu desenvolvimento ser definido de acordo com a seguinte expressão:

$$y = 3,75 * (1 - \cos (2\pi x/L)) \quad (2.1)$$

Onde:

y – acréscimo em termos de cota (relativamente à situação inicial) medida ao nível da directriz da estrada (cm)

x – distância segundo o eixo da estrada, medida desde o extremo inicial da lomba (cm)

L – comprimento total da lomba (cm)

PLATAFORMAS E PASSAGENS DE PEÕES ELEVADAS

As plataformas correspondem a lombas alongadas abrangendo trechos de estrada ou intersecções sendo que a passagem de peões elevada corresponde a uma lomba que acomoda uma travessia pedonal na sua superfície plana.

Nas passagens de peões elevadas, a superfície de topo plano deve acomodar a largura da passagem de peões sendo recomendável a adopção de comprimentos compreendidos entre os 3 e os 4,6 m (podendo apresentar um comprimento superior à da travessia) devendo abranger, em termos transversais, toda a faixa de rodagem. A altura desejável é a altura do passeio, embora possam ser utilizadas alturas inferiores desde que associadas a pequenas rampas

pedonais de acesso ao passeio. A inclinação das rampas deve adaptar-se à velocidade pretendida, embora e idealmente se deva situar entre os 4 e os 8 % (PennDOT, 2001).

2.4.6.2 **Comprimento**

Em geral, é consensualmente aceite que o aumento do comprimento das lombas se traduz num aumento do conforto de condução tendendo a criar efeitos dinâmicos mais lineares (Watts, 1973; Moinat, 1991). Nesse sentido, o comprimento da lomba tem-se afirmado como um dos parâmetros que influencia o nível de (des) conforto imposto pela lomba, sendo que, de modo a isolar o efeito de entrada relativamente ao da saída da lomba, o comprimento mínimo da lomba deverá ser igual à distância entre eixos do veículo projecto (Jarvis, 1992). Por essa razão, é normalmente defensável que o comprimento da lomba deva aumentar se for expectável a presença de um número significativo de veículos longos ou sempre que se pretenda aumentar a velocidade aceite (Clement, 1983; De Wit, 1993).

As lombas do tipo Watts são habitualmente utilizadas para reduzir a velocidade dos veículos para valores inferiores a 30 km/h nas proximidades desta (Watts, 1973). Na Dinamarca são utilizadas lombas com comprimentos que atingem os 9,5 m para reduzir a velocidade dos veículos ligeiros até 50 km/h e dos autocarros até 35 km/h (Vejdirektoratet, 1991). Na Holanda e Austrália, o mesmo objectivo tem justificado a adopção de comprimentos que atingem os 12 m (Hass-Klau et al., 1992).

No caso das plataformas, segundo algumas referências, é desaconselhada a utilização de comprimentos superiores a 15 m (DDT, 2000; MATD, 2001) ou a 20 m (DfT, 1996b) de modo a não perderem a sua eficácia (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 – Comprimentos recomendados para os diversos tipos de lombas (DfT, 1996b)

Tipo de Lomba	Comprimento Mínimo (m)	Comprimento Máximo (m)	Comentários
Lomba Circular - <i>Round Top</i>	3,7	3,7	O desempenho de lombas de maior comprimento não foi avaliado mas é provável que a redução de velocidade seja menor.
Plataforma - <i>Flat Top</i>	2,5 (zona plana)	Nenhum	Em percursos onde existam autocarros o comprimento mínimo de 6m da zona plana é recomendado pelos operadores do transporte público. Comprimentos superiores a 20m não são recomendáveis.
Intersecção sobreelevada - <i>Raised Junction</i>	Nenhum	Nenhum	Pode ser apropriado o prolongamento da zona sobreelevada para as vias adjacentes com um mínimo de 5m de modo a permitir que veículos em espera estejam numa superfície nivelada.
Lomba específica para transportes públicos - <i>Cushion</i>	Cerca de 1,9	3,7	Pode ser apropriado utilizar uma largura mínima de 3m de forma a evitar que os veículos ligeiros tentem evitar a lomba.
Lomba Curta - <i>Thump</i>	0,9	1,5	Comprimentos superiores a 0,9m apresetam poucas vantagens.

2.4.6.3 **Altura da lomba**

A altura da lomba influencia a magnitude da aceleração vertical bem como os níveis de desconforto (Kassem e Al-Nassar, 1981). Alturas elevadas podem danificar a parte inferior dos veículos à entrada ou à saída da lomba enquanto que alturas demasiado baixas podem levar a que o dispositivo de redução de velocidade perca eficácia (Weber, 1998).

Os veículos desportivos apresentam alturas livres ao solo da ordem dos 100 a 120 mm reduzindo-se estes valores em cerca de 30 mm em situação de carga máxima do veículo. Veículos do tipo limusina apresentam, igualmente, valores baixos da ordem dos 100 mm, reduzindo-se a 75 mm quando carregados o que aliado à sua distância elevada entre eixos pode originar, mesmo em lombas do tipo *Watts* ou plataformas de comprimento similar (3,7 m), situações de embate inferior do veículo na lomba. Deste modo é, por vezes, recomendada a limitação a 75 mm na altura máxima (Webster, 1993a; DGV, 2004).

2.4.6.4 **Largura**

As lombas devem abranger toda a largura da via onde são inseridas (DGV, 2004) ou então terminar ligeiramente antes da berma ou passeio. Esta última configuração tem a vantagem de facilitar a drenagem superficial da via e a passagem de ciclistas, embora e quando assume grandes dimensões possa levar os condutores a evitar parcialmente a lomba caso outras medidas restritivas não sejam tomadas (Webster, 1993b).

No caso de existir um tráfego pedonal importante a lomba deve preferencialmente garantir uma ligação directa ao passeio (Bastos Silva e Seco, 2006).

2.4.6.5 **Localização e Espaçamento**

As lombas induzem a um efeito localizado no comportamento do condutor. A análise dos perfis padrão de velocidade permite concluir que as velocidades de circulação tendem a aumentar imediatamente após a sua transposição, perdendo o efeito a partir de uma determinada distância (Ewing e Brown, 2010). Deste modo o espaçamento entre lombas deve ser fixado em função do nível de redução de velocidade pretendido, tendo em conta que maiores espaçamentos conduzem a maiores velocidades entre as medidas (Barbosa, 1995).

Estudos de investigação levados a cabo em diversos países, têm sugerido que para atingir velocidades médias da ordem dos 25 a 30 km/h, o espaçamento entre lombas deve situar-se entre 40 a 60 m. Espaçamentos até 100 m podem ser utilizados para velocidades da ordem dos 50 km/h (Zaidel et al., 1992; Weber, 1998; Barbosa et al., 2000). Estes resultados estão em consonância com as recomendações americanas (Quadro 2.1), onde espaçamentos superiores a 150 m potenciam a prática de velocidades superiores a 50 km/h (Ewing, 1999).

Por razões de fluidez e operacionalidade, as normas Britânicas (DfT, 1996b) desaconselham a adopção de espaçamentos inferiores a 20 m, exceptuando-se o caso em que a lomba seja utilizada como passagem de peões elevada. Segundo esta publicação, as velocidades médias praticadas na aproximação à lomba e o seu espaçamento assumem um peso superior na variação diferencial da velocidade, comparativamente ao tipo e altura da lomba (para uma gama de alturas entre 75 e 100 mm) - Quadro 2.4. Para um mesmo espaçamento entre lombas, as velocidades máximas atingidas entre lombas com 75 mm de altura (circulares e trapezoidais) foram superiores (1,6 e 3,2 km/h) às obtidas para lombas com 100 mm de altura.

Quadro 2.4 – Velocidades entre lombas em função do espaçamento e das velocidades anteriores à sua implementação (DfT, 1996b)

velocidades médias antes da implementação das lombas (km/h)	Espaçamento (m)						
	20	40	60	80	100	120	140
	Velocidades após implementação das lombas						
20	13	14	15	16	18	19	20
25	15	16	17	18	20	21	22
30	17	18	19	20	22	23	24
35	19	20	21	22	24	25	26

Em termos nacionais as recomendações da DGV apontam para valores gerais compreendidos entre 40 e 150 m (DGV, 2004) não sendo, contudo, apresentada nenhuma relação entre o espaçamento e a velocidade expectável.

Segundo Stephens (Stephens, 1986) sempre que se pretenda salvaguardar um percentil 85 da velocidade entre lombas superior a 36 km/h, o espaçamento a adoptar deverá resultar da aplicação da seguinte formulação:

$$H_s = 0,15 * V_{85}^2 - 98,4 \quad (2.2)$$

Onde:

H_s – espaçamento óptimo entre lombas (m)

V_{85} – percentil 85 da velocidade desejada para o local (km/h) entre lombas, com $V_{85} > 36$ km/h.

2.4.7 Tipo de Materiais

As lombas devem, preferencialmente, ser revestidas por materiais de cor e textura diferentes e contrastantes com a faixa de rodagem, de forma a permitir a sua fácil identificação por parte do condutor. Quando associadas a travessias pedonais, a imposição de diferentes texturas (nomeadamente entre o passeio e a lomba) assume particular relevância, apoiando os deficientes visuais sobre os locais de atravessamento (Herrstedt, 1993; Marques, 2004). Apesar de existir uma variedade alargada de materiais, importa optar por materiais que salvaguardem níveis de atrito adequados quer para a circulação do peão quer para o veículo (nomeadamente sob condições climatéricas adversas).

2.4.8 Drenagem

As passagens de peões elevadas sem rampa lateral, ou seja com junção directa ao passeio, impõem perturbações ao normal escoamento das águas superficiais, pelo que o sistema de drenagem deve ser adaptado às exigências e condições locais. As soluções mais comuns passam pela colocação de sarjetas a montante do dispositivo ou pela colocação de um dreno na base da lomba que garanta a continuidade do curso de água, encaminhando o escoamento das águas superficiais por debaixo da lomba. Em alternativa, uma solução de baixo custo é a criação de um canal de drenagem junto aos passeios por interrupção da lomba. Nestes casos a rampa deve ter uma inclinação de 1:8 (V/H) e salvaguardar um canal de cerca de 60 cm (Bastos Silva e Seco, 2006). A colocação de grelhas transversais à faixa de rodagem na secção da base da lomba, é considerada aceitável, associando-se no entanto a custos mais elevados.

2.4.9 Sinalização Aplicável

A sinalização é porventura um campo que se reveste de extrema importância, uma vez que alerta o condutor para a existência da lomba e portanto para a necessidade do mesmo alterar a sua conduta. Os esquemas de sinalização (marcas rodoviárias e sinais verticais) dependem da legislação vigente, pelo que diferem entre países. Em Portugal essa indicação encontra-se patente na nota técnica da DGV (DGV, 2004).

A sinalização horizontal das lombas assenta na utilização de uma fila de quadrados alternados e desencontrados (Figura 2.13), devendo ser utilizada a barra de paragem quando esta está associada a uma passagem elevada de peões.

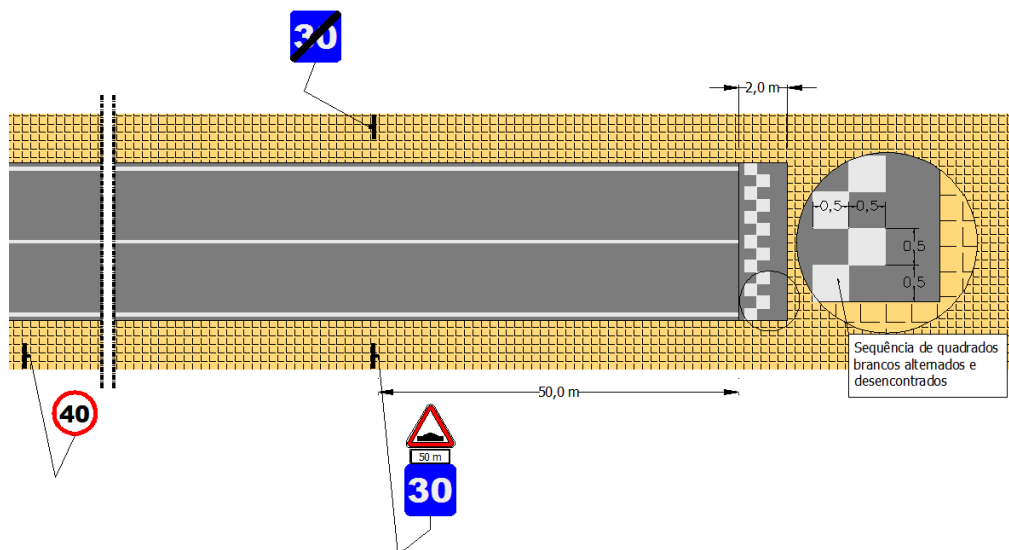


Figura 2.13 – Esquema de sinalização associado a lombas ou plataformas (DGV, 2004)

Em complemento, deverá ser prevista a utilização de sinalização vertical (sinal A2a – lomba, eventualmente associado a um painel adicional modelo 1 indicador de distância e o sinal H6 indicador da velocidade máxima recomendável para a transposição da lomba).

2.4.10 Efeitos Decorrentes da Implementação de Lombas e Plataformas

2.4.10.1 Velocidade, Aceleração Vertical e Conforto

Os primeiros estudos dedicados a esta temática coincidiram com o desenvolvimento da lomba com o perfil *Watts* e datam de 1973. Pretendia-se, nessa altura, o desenvolvimento de um perfil que reduzisse de forma efectiva a velocidade dos veículos a um nível próximo dos 25 km/h, sem contudo constituir perigo para os automobilistas (Watts, 1973). O estudo consistiu na transposição de diferentes geometrias de soluções a diferentes velocidades, por um conjunto pré-seleccionado de condutores, tendo sido atribuído um nível de desconforto a cada passagem, numa escala de zero a seis (confortável a desconfortável). A aceleração vertical máxima foi igualmente registada (Figura 2.14). As análises identificaram a existência de uma correlação positiva entre o desconforto e a aceleração vertical.

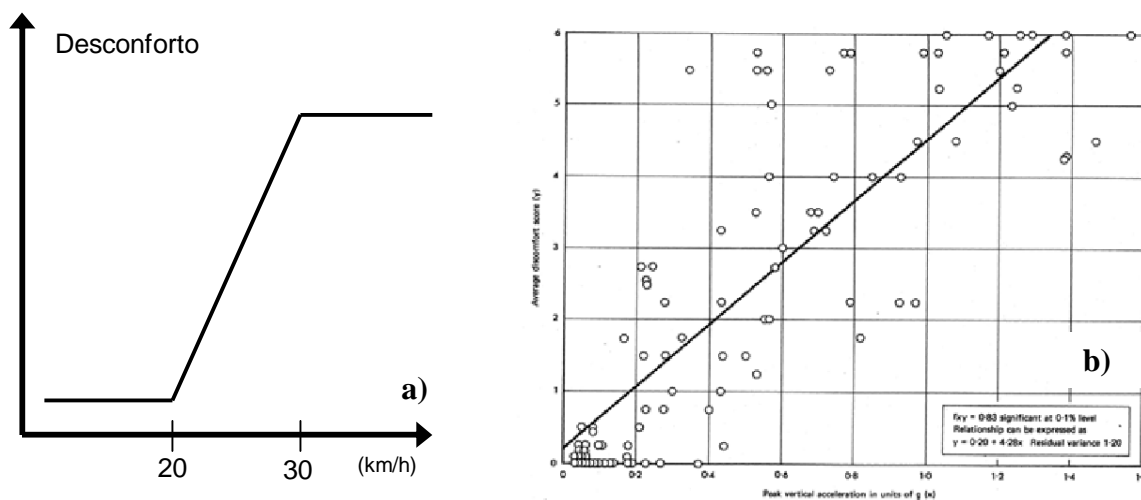


Figura 2.14 – Relação ideal entre desconforto e velocidade numa lomba (a) (adaptado de Watts, 1973); (b) Relação entre a aceleração vertical máxima (abscissas) e o desconforto médio (ordenadas) utilizando um veículo ligeiro (Watts, 1973)

Foi ainda possível perceber que o pico de aceleração vertical induzido pela transposição da lomba estava relacionado com o desconforto percebido e que os condutores tendiam a limitar a aceleração vertical a valores compreendidos entre 0,7 e 0,9 g (Watts, 1973). Concluiu ainda que a transposição da lomba se revela mais desconfortável aos ocupantes de veículos pesados ou autocarros comparativamente aos dos veículos ligeiros ou mini-autocarros (Figura 2.15).

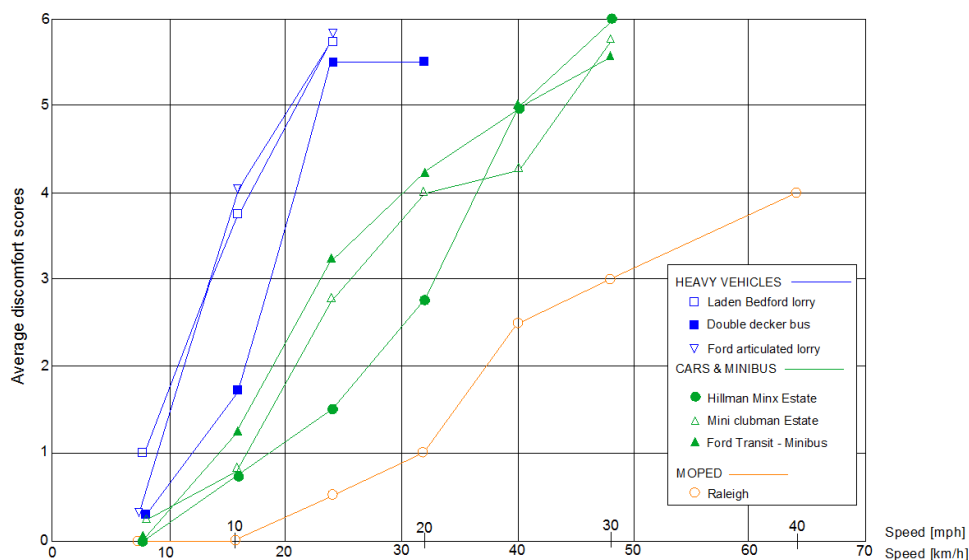


Figura 2.15 – Variação do desconforto (ordenadas) com a velocidade (abcissas) em lombas tipo *Watts* para vários tipos de veículos (Watts, 1973)

Outra conclusão relevante do estudo foi de que a lomba do tipo *Watts* (com 3,7 m de comprimento e 0,10 m de altura) era classificada como desconfortável pela maioria dos condutores quando atravessada a velocidades superiores a 32 km/h, sendo que para velocidades inferiores a 8 km/h, todos os condutores lhe atribuíram um nível de conforto razoável. Este estudo resultou na validação deste perfil para velocidades inferiores a 25 – 30 km/h (Watts, 1973; Baguley, 1981). A sua aplicação sistemática validou os mesmos resultados na Suécia e na Austrália e com níveis de eficiência ligeiramente inferiores, na Finlândia (Stephens, 1986).

Também o *Australian Road Research Board* (ARRB) testou o efeito real das lombas trapezoidais seguindo procedimentos semelhantes aos estabelecidos nos estudos originais do TRRL. Os resultados obtidos foram, mais uma vez, consensuais, obtendo-se ainda o valor de 0,7 g como nível máximo tolerável de desconforto (Jarvis, 1992).

Um estudo realizado em Singapura (Fwa e Tan, 1992) procurou relacionar as características geométricas das lombas com as velocidades a que eram transpostas tendo comprovado a existência de um efeito significativo entre a velocidade e as características geométricas principais da lomba.

Também na América do Norte se tem realizado investigação nesta matéria. Foram estudadas, em Ottawa e em Washington, DC, várias lombas com comprimentos entre 3,7 e 4,9 m (lombas tipo *Watts*), entre 6,7 e 9,1 m (lombas tipo *Seminole*) e alturas de 75 e 100 mm. As lombas foram atravessadas por dois veículos e um autocarro instrumentados, às velocidades

pré-estabelecidas de 30, 40 e 50 km/h. Concluiu-se que à medida que o comprimento da lombas aumentava ou a altura diminuía, os condutores tendiam a aumentar a velocidade mantendo um nível relativamente constante de aceleração vertical (Weber, 1998). No âmbito do mesmo estudo foram desenvolvidas um conjunto de recomendações sobre as dimensões das lombas que estão indicadas Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Lombas recomendadas para percursos de veículos ligeiros e autocarros (adaptado de Weber, 1998)

Velocidade Pretendida (km/h)	Dimensões da Lomba (m, mm)
30	6,1×100
40	8,8×100
50	*

* As lombas podem ser utilizadas em vias com uma velocidade máxima permitida de 50 km/h utilizando as dimensões preconizadas para percursos sem autocarros. Na prática a redução de velocidade será mais severa para estes. As lombas podem ser colocadas junto às paragens de autocarro onde as velocidades já são reduzidas.

No que concerne aos valores de redução de velocidade dos veículos, um estudo Americano refere reduções entre lombas compreendidas entre 20 e 25% (Ewing, 1999). Nos países nórdicos a implementação de lombas resultou em reduções de 5 a 14 km/h (Bendtsen et al., 2004). No Reino Unido (Gifford, 2004) atingiu reduções de 10 mph em zonas de 20 mph enquanto que Webster e Layfield (Webster e Layfield, 1996) demonstraram que a aplicação de lombas em zonas de 20 e 30 mph podem resultar em média, na redução de 10 mph (ou seja 33 a 50%). Segundo um estudo do TRL (Webster e Mackie, 1996) a colocação de lombas em zonas de 20 mph resultou na diminuição das velocidades médias de 9,3 mph (quase 50%). Um estudo Dinamarquês (Engel e Thomsen, 1992), aponta para reduções de 1 km/h por cada 1 cm de altura atribuída à lombas. De forma geral, as lombas mostram-se como uma medida física extremamente eficaz na redução da velocidade (Ewing e Brown, 2010);

Um estudo Italiano realizado por Pau (Pau e Angius, 2001) estudou a eficiência das lombas curtas (tipo *bumps*) por recurso a trabalhos experimentais. O estudo baseou-se na avaliação do funcionamento de 23 *bumps* integradas em arruamentos sujeitos à velocidade legal de 50 km/h. Os resultados apontam que mais de 1/3 das velocidades violam o limite legal. Outra análise, do mesmo autor (Pau, 2002) concluiu que, em média, 30% dos condutores, adoptavam comportamentos erráticos, atingindo em situações extremas os 50%. Essas manobras caracterizam-se maioritariamente (em média 27%) pela transposição da lombas por apenas duas rodas. O mesmo estudo conclui, à semelhança de outros anteriores (Zaidel et al., 1992; Ewing, 1999) que as lombas redutoras do tipo *hump* são mais eficazes na redução das velocidades do que as do tipo *bump*.

Em Portugal, a investigação a este nível é igualmente extremamente escassa. Conta-se, no entanto com alguns estudos recentes (Ribeiro, 1996; Cruz, 2008) que procuraram avaliar o nível de redução da velocidade imposta por um conjunto limitado de lombas ou bandas cromáticas. Cruz concluiu que a sua implantação pode resultar em variações diferenciais de velocidades compreendidas entre 20 e 60%. Concluiu-se ainda que essa variação depende das características prevalentes das lombas e da velocidade de aproximação.

Apesar de todos estes trabalhos, verifica-se que os estudos experimentais que suportaram o desenvolvimento de modelações matemáticas, aplicados a lombas, são ainda em número reduzido.

Os trabalhos desenvolvidos por Barbosa (Barbosa, 1995; Barbosa et al., 2000) representam porventura um dos mais importantes nesta área, e incidiram sobre a modelação dos perfis de velocidade associados a diferentes combinações sequenciais de medidas de acalmia de tráfego (lombas trapezoidais, circulares e em “almofada”), integrados em 3 circuitos em York (UK). Os trabalhos de modelação apoiaram-se na recolha sistemática das velocidades instantâneas (através de tubos pneumáticos) recolhidas em 16 pontos de cada circuito, em condições livres. Os modelos finais foram suportados pela aplicação de técnicas de regressão múltipla e permitiram estimar as velocidades ao longo dos circuitos em função da velocidade inicial, do tipo de medida e espaçamento entre si. A metodologia utilizada neste trabalho, tinha já sido previamente testada no âmbito de outros estudos de investigação aplicada a modelação de velocidade em intersecções prioritárias (Seco, 1991).

O modelo contínuo desenvolvido revelou-se capaz de justificar 55% da variação observada e apresenta a seguinte formulação (Barbosa et al., 2000):

$$\text{Speed} = -8,73 + 0,62V_1 + 0,23dt + 0,78df - 1,2 \times 10^{-3}dt^2 - 1,37 \times 10^{-2}df^2 + 8,52 \times 10^{-5}df^3 - 4,48H - 6,71T - 0,86C - 2,01Ch \quad (2.3)$$

Onde:

V_1 – velocidade inicial no trecho assumida como a velocidade medida no primeiro sensor do circuito (km/h)

dt – distância até à medida seguinte, no sentido do movimento (m)

df – distância em relação à medida precedente, no sentido do movimento (m)

H – variável *dummy* que indica a existência de uma lomba circular (0 ou 1)

T – variável *dummy* que indica a existência de uma lomba trapezoidal (0 ou 1)

C – variável *dummy* que indica a existência de um *speed cushion* (0 ou 1)

Ch – variável *dummy* que indica a existência de uma gincana (0 ou 1)

O desenvolvimento do modelo permitiu hierarquizar a eficácia relativa entre as diferentes medidas avaliadas, no que respeita à redução da velocidade. As lombas trapezoidais revelaram-se como as mais eficazes seguidas das lombas circulares, gincanas e *speed*

cushions. A lomba trapezoidal mostrou-se capaz de impor reduções médias de velocidade de quase 7 km/h, a lomba circular 4,5 km/h, a gincana 2 km/h e a *speed cushion* menos de 1 km/h.

Mais recentemente, um estudo espanhol (García et al., 2010) incidentes igualmente sobre lombas aplicadas em sequência, vem demonstrar que, a velocidade na lomba depende das suas características geométricas. O trabalho de índole experimental assentou sobre uma amostra de condutores reais seleccionados aleatoriamente numa secção de aproximação aos circuitos analisados e que foram convidados a transportar no seu veículo um pequeno sistema GPS. À semelhança de Barbosa (Barbosa, 1995) foram seleccionados 5 circuitos que integravam diferentes medidas de acalmia de tráfego (lombas, rotundas, gincanas e semáforos). No global a amostra incluiu 16 passagens de peões elevadas, com alturas variáveis entre os 6 e os 12 cm e 5 lombas circulares com alturas variáveis entre os 5 e os 9 cm. Os resultados mostram que as passagens de peões elevadas se revelam mais eficazes na redução da velocidade comparativamente às lombas circulares. Foram atingidas reduções de velocidade entre 20 e 25km/h nas travessias pedonais e 5 a 29 km/h nas lombas circulares.

No âmbito deste estudo foram desenvolvidos vários modelos para estimação do percentil 85 da redução da velocidade e da velocidade na lomba, respectivamente, recorrendo a técnicas de regressão múltipla. Os modelos finais aplicados às passagens de peões elevadas mostraram-se capazes de justificar 47,72% (redução da velocidade) e 40,87% (velocidade) da variação observada, ao nível de confiança de 99%:

$$\Delta V_{85} = 6,4636 + 0,9513PE + 0,0287DMA \quad (2.4)$$

$$V_{85} = 24,5665 + 0,0202L - 1,1209PE + 0,0116DMA \quad (2.5)$$

Onde:

ΔV_{85} – redução da velocidade (km/h)

V_{85} – velocidade sobre a medida (km/h)

PE – inclinação de entrada (%)

DMA – distância à medida anterior (m)

L – comprimento da passagem de peões (m)

Por sua vez, os modelos aplicados às lombas circulares mostraram-se capazes de justificar 51,7% e de 85,9%, ao nível de confiança de 99%.

$$\Delta V_{85} = 15,6760 + 0,0030 + 0,0287DMA \quad (2.6)$$

$$V_{85} = 33,33050 + 0,4170OR + 0,0004DMA \quad (2.7)$$

Onde:

ΔV_{85} – redução da velocidade (km/h)

V_{85} – velocidade sobre a medida (km/h)

PE – inclinação de entrada (%)

DMA – distância à medida anterior (m)

OR – ordem da medida no sentido do movimento

Os resultados mostram que a distância ao dispositivo anterior é a variável que se revela estatisticamente mais significativa justificando mais de 70% da variação observada na velocidade das lombas circulares. Também a inclinação da rampa de entrada e a altura do dispositivo se revelaram estatisticamente significativas.

2.4.10.2 **Outros Impactes**

Listam-se de seguida outros efeitos associados às lombas numa compilação resultante de diversas referências bibliográficas, maioritariamente de estudos do tipo “antes e depois”:

- Atrasos impostos aos veículos (em particular aos de emergência) estimados na ordem de 1 a 10 segundos por lomba (lomba do tipo *Watts* e trapezoidais), com a maioria dos atrasos integrados no intervalo dos 3 aos 7 segundos. As lombas *Seminole County* reduzem estes atrasos em 1 segundo (Bunte Jr, 2000);
- Redução dos volumes de tráfego automóvel podendo atingir os 33% (MATD, 2001). Habitualmente essa redução é de cerca de 18% (PennDOT, 2001). Também *Watts* (*Watts*, 1974) confirma esta tendência, sendo que o valor desta redução depende grandemente da variação da velocidade induzida e da disponibilidade de percursos alternativos. Outro estudo Britânico (*Webster e Layfield*, 1996) aponta, na aplicação de lombas em zonas de 20 e 30 mph, para reduções de volume de 25%. Importa ainda ter em consideração que a diminuição do volume de tráfego pode resultar da sua transferência directa para outros circuitos alternativos onde não tenham sido aplicadas medidas de acalmia e, que não disponham de características físicas e paisagísticas para suportar esse acréscimo de procura de tráfego (migração de efeitos);
- Melhoria das condições de visibilidade entre peões e veículos. É referenciado o aumento do respeito pela cedência de passagem ao peão no caso de travessias associadas a lombas (*Ewing*, 1999);
- Redução do número de acidentes rodoviários até 41%, embora muitos organismos indiquem valores substancialmente mais baixos, como é o caso do ITE que aponta para reduções de 13% (*Ewing*, 1999). Segundo *Gifford* (*Gifford*, 2004) essa redução,

em zonas de 20 mph, pode atingir os 60% sendo particularmente relevante em termos de acidentes com crianças e ciclistas;

- Possibilidade de migração de acidentes para circuitos alternativos. Este efeito deve ser sempre avaliado, já que, nem sempre é evidente (Gifford, 2004; Mountain et al., 2005);
- Adopção de comportamentos erráticos, designadamente na procura de trajectórias alternativas sem transposição da lomba. Este efeito é particularmente evidente sempre que a lomba não abrange toda a largura da via (existência de estacionamento, paragens BUS, etc.) (Layfield e Parry, 1998; Pau, 2002);
- Aumento dos níveis de ruído relacionado com a passagem de veículos na lomba, podendo tornar-se incompatível com a sua aplicação em zonas residenciais. No entanto alguns estudos defendem que essa tendência de aumento de ruído pode ser invertida pela diminuição da velocidade. Com a implantação desta medida podem ocorrer variações nos níveis de ruído entre os 2 dBA de decréscimo para a forma circular e os 6 dBA de aumento para a forma trapezoidal (Ewing, 1999);
- Vibração e aceleração vertical no condutor e passageiros do veículo. Um estudo (Khorshid et al., 2007) indica que os efeitos da vibração e aceleração vertical na saúde humana são dependentes da velocidade e tipo de veículo, posição dos ocupantes, número de lombas transpostas por dia e também do método utilizado na avaliação. A vibração é fortemente afectada pela geometria da lomba e, em particular, pela sua altura. À medida que esta aumenta, agravam-se os potenciais riscos de saúde, em particular para os problemas na zona lombar, sendo que os passageiros do banco traseiro estão, em geral, sujeitos a maiores riscos. Este efeito é particularmente agravado no caso do transporte de poli-traumatizados em ambulâncias;
- Danos na suspensão dos automóveis, especialmente nos veículos pesados que têm uma suspensão mais rígida. Devido a este facto há referências que desaconselham a sua implementação em locais onde o tráfego de pesados represente mais de 5% (SCDOT, 2006);
- Um estudo Britânico aponta para um possível aumento do nível de vibração no solo causado pela passagem dos veículos nas lombas referindo porém que apesar da vibração poder originar ansiedades e queixas nos moradores é muito pouco provável que esta venha a causar danos nas construções (Watts e Krylov, 2000). Contudo o

aumento do ruído é frequentemente apontado como um dos efeitos nefastos das lombas, já que é de esperar uma diminuição deste na fase de abordagem e um aumento na fase de aceleração na saída (Kokowski e Makarewicz, 2006) dependendo o efeito global da configuração e tipologia da envolvente viária⁵;

- Aumento das emissões poluentes resultantes de acelerações bruscas após a transposição da lomba embora os valores desse incremento, nem sempre são consensuais entre as diversas referências encontradas (Barbosa, 1995; Ewing, 1999; Höglund e Niittymäki, 1999; Boulter, 2001);
- A reacção das populações locais à implementação de uma lomba pode ser variável indo desde o apoio até à contestação da medida pelo que a solução global deve ser transmitida e debatida em conjunto com os moradores locais (Ewing, 1999; Gifford, 2004).

2.5 Síntese Conclusiva

Ao longo deste capítulo foi apresentada uma panóplia alargada de soluções cujo objectivo central incide na promoção da prática de velocidades moderadas e na procura de formas harmoniosas de compatibilização da ocupação do espaço pelos diferentes utilizadores envolvidos. Ficou igualmente evidenciado o potencial destas medidas na requalificação do espaço urbano e na transformação do ambiente rodoviário, assumindo como tal, um papel por um lado, complementar às soluções de engenharia rodoviária, e por outro, essenciais e centrais à marcação de uma identidade do espaço atravessado e, por consequência, ao sucesso da solução global.

Entre as várias medidas apresentadas, as lombas identificam-se como as que se têm evidenciado mais restritivas ao comportamento do condutor, sendo ainda a medida tendencialmente mais adoptada em Portugal.

Os diversos estudos que têm vindo a ser desenvolvidos ao longo das últimas duas décadas, mostram, de forma consensual, que as lombas redutoras de velocidade se associam a reduções efectivas da velocidade e à diminuição do número de acidentes. Os estudos, maioritariamente do tipo “antes e depois”, apontam contudo para gamas de redução extremamente alargadas, fazendo deduzir que o nível de eficácia das lombas depende de um conjunto vasto de factores. Os trabalhos experimentais e de simulação confirmam essa hipótese, sendo que

⁵ O estudo mencionado foi realizado para o caso de *Speed Bumps* pressupondo-se que para as lombas a situação seja similar.

maioritariamente apontam para a existência de correlações fortes entre a redução da velocidade e as características preponderantes da lombas e da sua envolvente.

A recolha do estado da arte identifica a existência de um número muito limitado de trabalhos incidentes sobre a modelação matemática da velocidade ao longo do atravessamento destes dispositivos. De facto, os trabalhos relevantes nesta área cingem-se aos estudos desenvolvidos por Barbosa (Barbosa, 1995; Barbosa et al., 2000) e García (García et al., 2010), aplicados a contextos semelhantes: circuitos que incluem a sequência de diferentes tipos de medidas de acalmia de tráfego. Através deles é possível avaliar a velocidade no dispositivo em função de características locais, e onde a distância ao dispositivo anterior se revelou como a variável estatisticamente mais significativa. Permanece a dúvida sobre o comportamento previsível do condutor, caso essa medida fosse aplicada isoladamente.

Não foi encontrado qualquer modelo contínuo de velocidade desenvolvido para lombas isoladas, capaz de estimar em função da distância ao dispositivo, o perfil contínuo de velocidades, e dessa forma avaliar a zona previsível de influência das lombas, face às suas características preponderantes. Refira-se que estes modelos são importantes ao nível do planeamento prévio da infra-estrutura de modo a que esta corresponda, em cada situação particular, aos objectivos que lhe estão subjacentes. De igual forma o conhecimento acerca dos efeitos ao nível das emissões poluentes resultantes das lombas é também uma matéria que levanta algumas dúvidas e que, dada a importância que as questões ambientais merecem actualmente, justifica a realização de mais estudos.

Tendo em conta as considerações anteriores é nesta linha de acção que se insere o presente trabalho, procurando, por recurso a trabalho experimental ligado à análise do comportamento do condutor, avaliar o efeito real das lombas redutoras de velocidade e os factores explicativos que podem sustentar a sua estimação em termos de velocidade, acelerações e consequentes emissões poluentes.

3. Poluição Atmosférica Associada aos Transportes Rodoviários

3.1 Introdução

O presente capítulo tem como objectivo descrever, sucintamente, os principais aspectos inerentes à poluição atmosférica originada pelo sector rodoviário efectuando o seu enquadramento e análise evolutiva em cotejo com outros sectores de actividade económica. São identificados os principais poluentes atmosféricos indicando-se os seus principais efeitos e consequências. Faz-se uma breve abordagem à evolução do parque automóvel, das tecnologias associadas a este campo bem como à legislação aplicável no espaço europeu. São igualmente expostas as principais metodologias existentes para cálculo de emissões poluentes por veículos automóveis, dando-se particular ênfase ao modelo de emissões seleccionado para utilização no âmbito do presente estudo.

3.2 Enquadramento Geral do Tema

3.2.1 Composição da Atmosfera

A atmosfera terrestre tem um papel chave nas condições de existência dos seres vivos sendo compreensível a atenção crescente que recentemente tem vindo a ser dada ao papel das acções antropogénicas no equilíbrio deste componente essencial à vida do planeta. Da sua composição constam, essencialmente, gases, vapores e partículas, entre os quais o vapor de água, dióxido de carbono e outros compostos pouco representativos a nível percentual mas extremamente importantes pelo seu papel no efeito de estufa⁶ e efeitos nos diversos ecossistemas naturais (Ahrens, 2008).

3.2.2 Poluentes Atmosféricos e seus Impactos

Poluente atmosférico pode ser definido como sendo “qualquer substância adicionada à atmosfera em concentrações suficientemente altas para causar efeitos mensuráveis nos seres vivos e em materiais” (Freedman, 1995).

⁶ O chamado “efeito de estufa” é um processo que se deve à absorção, por parte de alguns gases presentes na atmosfera, da radiação solar reflectida pela superfície terrestre. Deste modo o calor não é libertado para o espaço ficando retido (Cook, 2007).

A preocupação relativa aos efeitos da poluição atmosférica na saúde humana não é um tema recente⁷. No entanto, a tendência de concentração das populações em espaços urbanos de cada vez maior dimensão e a adopção do veículo privado como modo de transporte preferencial (Fenger et al., 1998) tem conferido a esta temática uma relevância crescente, particularmente no meio académico e científico.

É estimado que, na União Europeia, os veículos ligeiros percorrem 80% dos trajectos em zonas urbanas ou suburbanas estando, em geral, os níveis de congestionamento a aumentar (WHO, 2005) pelo que o controlo da qualidade do ar se tem vindo a tornar essencial à salvaguarda da qualidade de vida nos espaços urbanos. Deste modo a União Europeia tem, desde a década de 70, desenvolvido estudos, normas e enquadramento legislativo (EC, 2010a) no sentido de reduzir as emissões de poluentes nocivos. Estas acções resultaram em múltiplos progressos traduzidos na melhoria da qualidade do ar, na diminuição do número de pessoas expostas e na severidade da exposição. Como exemplo dessa evolução, refira-se que em 1995, cerca de 25 milhões de pessoas viviam em zonas cuja concentração de poluentes ultrapassava os valores limite recomendados, esperando-se que em 2010, esse valor decaia para 4,5 milhões (Krzyzanowski et al., 2005). Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana podem ser bastante abrangentes afectando maioritariamente os sistemas respiratório e cardiovascular. Estes podem ir desde alterações bioquímicas e fisiológicas ligeiras até ao agravamento de doenças respiratórias e cardíacas, podendo em situações extremas resultar em morte prematura (Edlin e Golanty, 2009; EPA, 2010; HC, 2010). Em termos de tempo médio de vida perdido verifica-se que (Figura 3.1) nas regiões mais densamente povoadas da Europa esse valor pode atingir os 3 anos (CAFE, 2005). Estima-se que a poluição atmosférica seja responsável, a nível mundial, por 3 milhões de mortes prematuras (Borrego e Norman, 2007) e, na União Europeia, por 310 000, o que ultrapassa o valor registado pelos acidentes rodoviários (EU, 2010c).

Os custos da poluição, no ano de 2002, foram estimados entre 427 e 790 biliões de euros (EU, 2010c) entre os quais 71 e 277 biliões de dólares correspondem aos Estados Unidos representando 0,7 a 2,8% do produto interno bruto (Mullera e Mendelsohn, 2007).

O Quadro 3.1 sintetiza os principais poluentes originados pelo transporte rodoviário, identificando as suas fontes, efeitos principais e a sua abrangência geográfica. Este foi

⁷ Há registos que indicam que esta matéria terá sido introduzida no *Corpus Hippocraticum* principal elemento de estudo dos médicos do tempo do Império Romano. Conta-se que *Lucius Annaeus Seneca*, filósofo e tutor do imperador Nero, terá sido aconselhado a sair de Roma para restabelecer a sua saúde supostamente fragilizada pelos maus ares da cidade que tinha na altura cerca de um milhão de habitantes e onde a queima de lenha para aquecimento era uma prática comum nos espaços públicos e privados (Fenger et al., 1998).

elaborado na sequência de uma pesquisa bibliográfica abrangente e suportado numa estruturação inicial e conteúdo extensivamente originário de uma publicação recente do *Victoria Transport Policy Institute (VTPI)*.

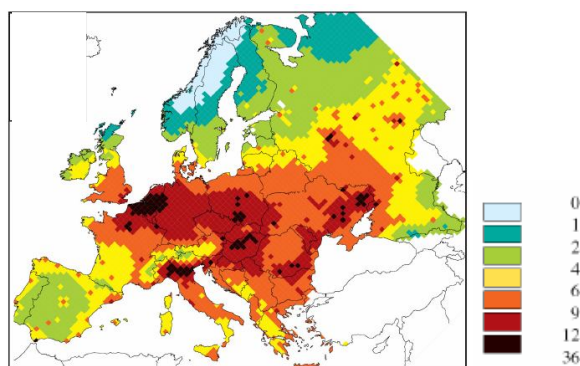


Figura 3.1 – Estimativa da redução do número de meses de vida em 2000 devido à presença de partículas (CAFE, 2005)

Quadro 3.1 – Principais poluentes atmosféricos originados pelo transporte rodoviário (VTPI, 2009)

Poluente	Descrição	Fontes	Efeitos	Escala
Dióxido de Carbono (CO₂)	Produto da combustão	Produção de combustíveis e operação de veículos	Alterações climáticas	Global
Monóxido de Carbono (CO)	Gás tóxico causado pela combustão incompleta (Larssen e Hagen, 1996; Krzyzanowski et al., 2005)	Utilização dos veículos	Saúde, alterações climáticas	Muito local
Hidrocarbonetos (HC)	Gases resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis (Guicherit, 1997; Kourtidis et al., 1999)	Produção de combustíveis e utilização dos veículos	Geralmente, cancerígenos (Guerra et al., 1995; Hu et al., 2007) e formação de <i>smog</i> [1] (Evans et al., 1986)	Local
CFCs (clorofluorcarbonos) e HCFC (hidroclorofluorcarbonos)	Classe de químicos duráveis	Ares condicionados e actividades industriais	Destruição da camada de ozono, mudanças climáticas	Global
Partículas finas (PM_{2,5}; PM₁₀)	Mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, líquidos ou sólidos, como poeira, fumaça, fuligem, pólen e partículas do solo (Nicolopoulou-Stamatí et al., 2005; Frumkin, 2010)	Operação de veículos motorizados (Girard, 2010)	Saúde Humana, estética	Local e regional
Chumbo	Utilizado antigamente como aditivos de combustíveis	Aditivos de combustível e baterias	Saúde Humana, danos ecológicos (Gwilliam et al., 2004)	Local
Metano (CH₄)	Gás inflamável	Produção de combustíveis e operação de veículos	Alterações climáticas	Global
Óxidos de Nitrogénio (NO_x) e Oxido Nitroso (N₂O)	Vários compostos (alguns tóxicos) que contribuem para a formação do ozono (Edlin e Golanty, 2009; EPA, 2010)	Operação de veículos	Saúde Humana, danos ecológicos, chuvas ácidas e <i>smog</i> (Gray et al., 1995; De e De, 2005)	Local e regional
Ozono (O₃)	Poluente relevante de ar urbano causado pelo NO _x e COVs e a luz do sol (Harrison, 2001; APA, 2010)	NO _x e VOC	Saúde humana, danos ecológicos, estética (WHO, 2000; EA, 2010)	Regional
Óxidos de Enxofre (SO_x)	Gás incolor, tóxico com odor forte e irritante. Reage na atmosfera formando ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Veículos a gasóleo	Saúde humana, danos ecológicos, chuvas ácidas, deterioração de monumentos (Watt et al., 2009)	Local e Regional
COV (Compostos Orgânicos Voláteis)	Vários gases hidrocarbonos (HC)	Produção de combustíveis, armazenamento e operação de veículos	Saúde Humana, precursor da formação do ozono efeito de estufa (Harrison, 2001)	Global
Tóxicos (e. g. benzeno)	Tóxicos e cancerígenos VOCs	Produção de combustíveis e operação de veículos.	Riscos de Saúde Humana.	Muito local

[1] A palavra *smog*, de origem anglo-saxónica, resulta da junção das palavras *smoke* (fumo) e *fog* (nevoeiro). Foi inicialmente utilizada em Londres na sequência do grande *smog* de 1952 que resultou na morte de cerca de 4000 pessoas. Este *smog* teve como causa principal a queima massiva de combustíveis fósseis, principalmente carvão, na zona urbana (Chhatwal et al., 1988)

3.3 Evolução Temporal das Emissões Poluentes e seu Enquadramento Legal

3.3.1 Veículos em Circulação

Em 2009 o número de veículos motorizados ultrapassava o bilhão de unidades, prevendo-se que nas próximas duas décadas possa atingir os 2 bilhões (Sperling e Gordon, 2009). A manterem-se as tendências actuais, perspectiva-se que esses dois bilhões de veículos venham a consumir grandes quantidades de combustível fóssil e gerem um aumento das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). A Figura 3.2 ilustra a evolução do automóvel ao nível da produção e número de veículos existentes. No que concerne à densidade do parque automóvel refira-se que Portugal se situa ligeiramente abaixo da média europeia (470 veículos/1000 hab.) apresentando um valor de 415 veículos por cada 1000 habitantes. A idade média do parque automóvel nacional era em 2008 de 9 anos, sendo este valor próximo da média europeia cifrada nos 8,2 anos (ACEA, 2010d). Dado que os veículos mais recentes asseguram, geralmente, menores emissões poluentes (OECD/ITF, 2009) há, sob este ponto de vista, interesse em ter uma frota de veículos recente.

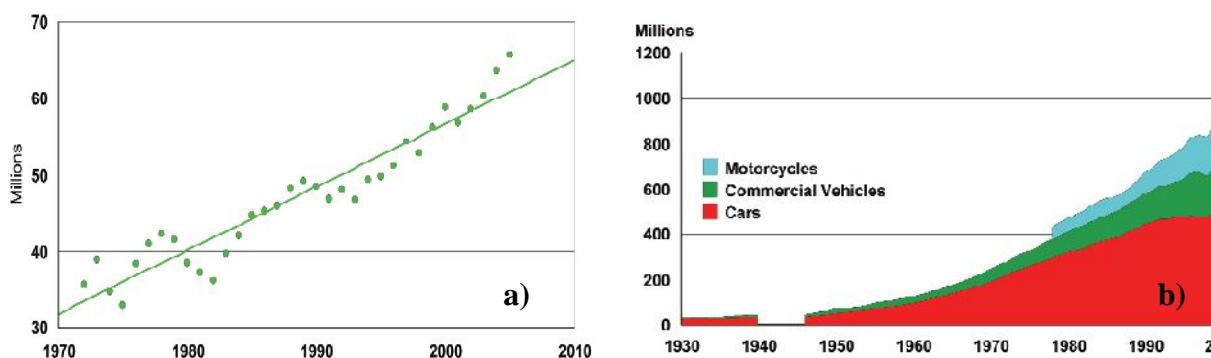


Figura 3.2 – Evolução da produção mundial de veículos ligeiros, pesados e motorizados (a) e da quantidade de veículos existentes (b) (Walsh, 2009)

No que concerne à cilindrada dos veículos verifica-se que, na Europa, esta foi aumentando desde 1990 até 2002 atingindo um valor médio de cerca de 1750 cm^3 (ACEA, 2010d). Desde 2002 até 2007 o valor médio tem sofrido variações pouco notórias diminuindo de forma acentuada desde 2007, até aos últimos dados registados no 1º semestre de 2010, os quais apontam para um valor médio ligeiramente acima dos 1600 cm^3 (ACEA, 2010d). Esta redução de cilindrada, nos últimos tempos, é parcialmente explicada pela procura de veículos menos poluentes tendo em conta o enquadramento fiscal adoptado em vários países Europeus⁸. Por

⁸ Actualmente o valor do CO_2 emitido pelo veículo faz parte da fórmula de cálculo do imposto devido no acto da matrícula em 16 países da União Europeia, incluindo Portugal (ACEA, 2010c).

outro lado, algumas cidades Europeias passaram a impor restrições ao acesso a determinadas zonas em função das emissões poluentes do veículo (EU, 2010b).

3.3.2 Evolução das Emissões Poluentes

Considerando os poluentes atmosféricos principais, verifica-se que na União Europeia, desde 1990, as emissões têm vindo a diminuir de forma considerável, sendo essa evolução igualmente notória no sector dos transportes (EEA, 2010). A título exemplificativo apresenta-se na Figura 3.3 a evolução das contribuições dos vários sectores para as emissões totais de CO e dos óxidos de azoto, onde é claramente visível que a diminuição de emissões no sector rodoviário é a mais acentuada. Deve sublinhar-se que essa diminuição foi conseguida apesar do aumento do número de viagens efectuadas (EU, 2010a). Esta evolução positiva deve-se a um conjunto alargado de factores favoráveis, entre outros, à melhoria da qualidade dos combustíveis, à melhoria dos sistemas de despoluição dos veículos e às restrições legislativas impostas aos veículos novos (Sperling e Gordon, 2009). Apesar disso, os valores absolutos permanecem elevados pelo que se continuam a justificar esforços com o objectivo de continuar a diminuir a poluição proveniente do transporte rodoviário.

Em termos nacionais, e analisando os valores de emissões de CO e NO_x em termos absolutos, verifica-se que a evolução temporal não tem sido tão favorável. No período compreendido entre 1990 e 2008 os valores de NO_x aumentaram em 7% enquanto que na União Europeia diminuíram em 39%. A contribuição Portuguesa para o total passou assim de 1,4%, em 1990, para 2,4%, em 2008. Já o CO registou uma diminuição de 40% no mesmo período ficando, no entanto, aquém da evolução na União Europeia que se traduziu numa diminuição de 58% (EEA, 2010). A Figura 3.4 ilustra a variação registada ao nível de alguns poluentes principais.

Analisando a emissão de gases com efeito de estufa e que supostamente assumem uma contribuição relevante para o aquecimento global do planeta⁹, verifica-se que desde 1970 até 2005, essas emissões antropogénicas subiram 61% (OECD/ITF, 2010). A nível Europeu, o sector dos transportes aumentou as suas emissões de CO₂ em cerca de 26% desde 1990 até 2007, tendo sido nesse ano responsável por quase um quarto (23,1%) do total das emissões de CO₂ enquanto que, na sua globalidade, estas diminuíram cerca de 5% nesse período (EU,

⁹ Não é pacífico, na comunidade científica internacional, que as actividades antropogénicas tenham uma influência decisiva no aquecimento do planeta. Segundo alguns cientistas este aquecimento deve-se a vários factores entre os quais se contam os normais ciclos de aquecimento-arrefecimento da Terra e o aumento da actividade solar (Chhetri e Islam, 2008; Booker, 2009; Plimer, 2009; Nersesian, 2010). Não sendo o objecto deste trabalho o estudo das causas do eventual aquecimento global do planeta serão todavia analisadas as tendências de emissão de dióxido de carbono o que é justificado pela relação que existe entre essas emissões e o consumo de recursos energéticos finitos como é o caso dos combustíveis fósseis (OECD, 2002).

2010a). Analisando os vários modos de transporte (Figura 3.5) verifica-se que o modo rodoviário tem acompanhado o andamento médio do sector (EU, 2010a).

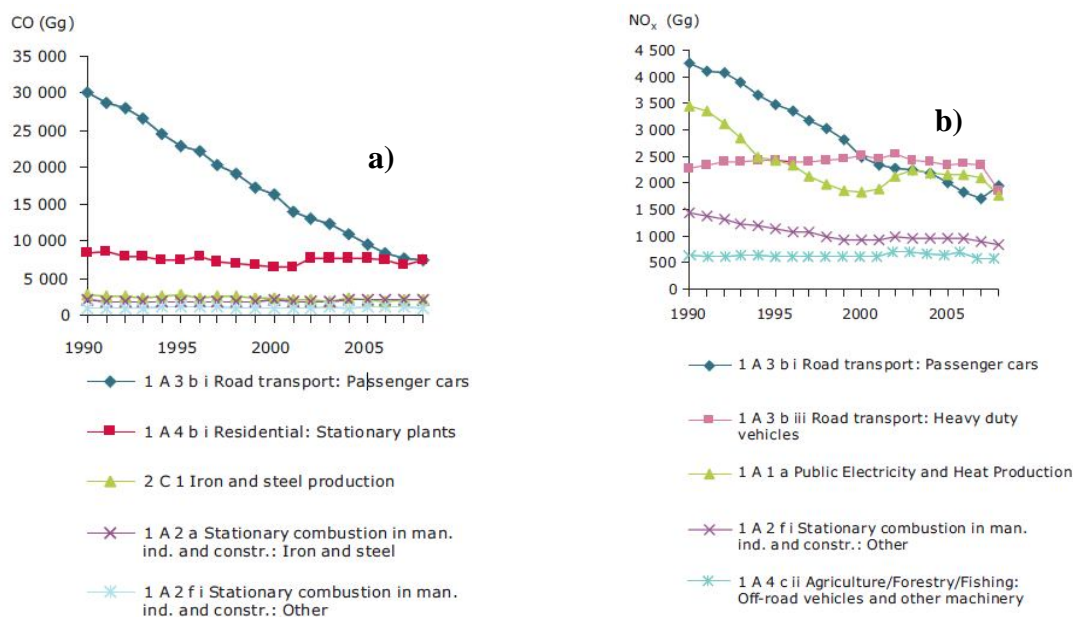


Figura 3.3 – Evolução das emissões de CO (a) e NO_x (b) na União Europeia por sectores de actividade (EEA, 2010)

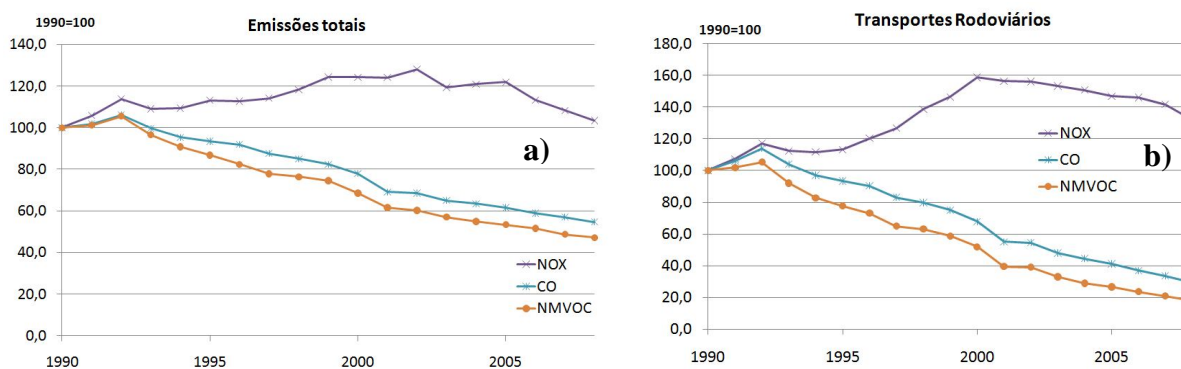


Figura 3.4 – Valores de NO_x, CO e NMVOC emitidos em Portugal em termos de emissões totais (a) e de transportes rodoviários (b) (Pereira et al., 2010)

Também a nível nacional a situação não é favorável tendo as emissões totais de CO₂ sofrido um acréscimo de 37,4%, entre 1990 e 2008. O sector rodoviário teve um aumento de 91,6% nesse período. Assim a contribuição para a totalidade das emissões subiu de 25,2% em 1990 para 35,2% em 2008. Apesar disso registe-se a relativa estabilização das emissões deste sector a partir de 2002 (Pereira et al., 2010). O modo rodoviário contribuiu com 93,2% e 96,5% do total das emissões do sector dos transportes em 1990 e 2008, respectivamente.

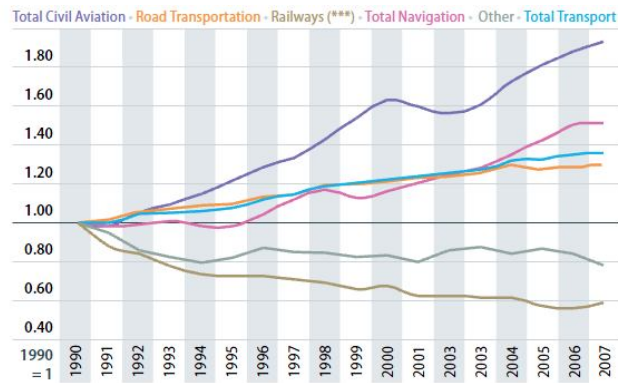


Figura 3.5 – Evolução das emissões de CO₂ na Europa por modo de transporte (EU, 2010a)

3.3.3 Legislação Europeia de Emissões Poluentes em Veículos

À semelhança de outras regiões/países, a União Europeia tem desenvolvido e aplicado um conjunto de disposições normativas que regulam os limites aceitáveis para as emissões poluentes, as quais são diferenciadas consoante a tipologia do veículo. Para os veículos ligeiros, a primeira norma aplicada foi a Euro 1¹⁰ que entrou em vigor em Julho de 1992. Actualmente a norma vigente é a Euro 5. A norma Euro 6 será aplicável a partir de 1 de Setembro de 2014 para a homologação e a partir de 1 de Janeiro de 2015, no que diz respeito à venda de novos tipos de veículos. O cumprimento destas normas é efectuado controlando o funcionamento do motor num ciclo de ensaios normalizado conhecido, habitualmente, por NEDC (*New European Driving Cycle*) (Dieselnet, 2010). De igual forma também no que concerne aos valores de CO₂ emitidos foram encetadas algumas iniciativas tendo-se estabelecido, em 1998, um acordo entre a União Europeia e os construtores automóveis com o objectivo de reduzir até 2008/2009 o valor das emissões de CO₂ da frota automóvel para 140 gr/km (Sportisse, 2009). A 23 de Abril de 2009, o Regulamento (CE) N° 443/2009 passou a definir as normas de desempenho em matéria de emissões dos automóveis novos de passageiros. Assim a média de emissões da frota de um construtor deverá ser de 130 gr/km em 2015 e de 95 gr/km em 2020 (EU, 2009; EC, 2010b).

3.4 Factores que Afectam as Emissões Poluentes

3.4.1 Tipo do Propulsor e Combustível

O propulsor e o combustível são essenciais no tipo e quantidade de emissões geradas. Deste modo serão apresentados, de forma sintética, o tipo de propulsores e combustíveis mais

¹⁰ Directiva Europeia 70/220/EEC (EC, 2010c)

comuns bem como outras alternativas tecnológicas existentes ou em desenvolvimento a este nível. O primeiro grupo de propulsor a ser apresentado é o motor de combustão interna com funcionamento pelo ciclo a quatro tempos *Otto*¹¹. São posteriormente apresentados os motores e combustíveis associados ao ciclo *Diesel*¹² seguindo-se os veículos híbridos e os eléctricos.

3.4.1.1 **Gasolina**

A gasolina juntamente com o gasóleo, é um dos combustíveis mais utilizados em Portugal e no resto do Mundo sendo obtido pela refinação do petróleo. Os maiores poluentes provenientes da sua queima são hidrocarbonetos, CO e NO_x (Faiz et al., 1996).

3.4.1.2 **Hidrogénio**

O hidrogénio (H₂) pode ser produzido a partir de água, gás natural, petróleo e carvão. A sua maior vantagem, advém do facto do produto da sua queima resultar apenas vapor de água e pequenas quantidades de NO_x sendo bastante mais eficiente que os tradicionais motores a gasolina e gasóleo (White et al., 2006; Yacobucci, 2007; Walsh, 2009). No entanto é 4 a 10 vezes mais denso que a gasolina o que aumenta a massa do veículo (Ausubel, 2007). A conversão para o estado líquido requer quantidades consideráveis de energia (Santos e Santos, 2005). Não existem infra-estruturas implementadas no mercado para a distribuição de hidrogénio sendo a segurança uma preocupação importante¹³. Apesar destas limitações, novas tecnologias têm vindo a ser desenvolvidas (White et al., 2006) havendo já vários protótipos em circulação (HFCN, 2010).

3.4.1.3 **Gás Natural**

O gás natural (GN) é uma mistura de hidrocarbonetos leves maioritariamente metano (CH₄). É o combustível fóssil de combustão mais limpa (Liu, 2005; Yacobucci, 2007; APVGN, 2010). Pode também ter uma origem não fóssil (biometano) e nestas condições o CO₂ libertado para a atmosfera é significativamente reduzido (APVGN, 2010). Pode ser utilizado com o ciclo *Otto* ou com o ciclo *Diesel*. Comparativamente à gasolina e ao gasóleo o gás natural produz 23% menos CO₂ por unidade de energia produzida (Gaudio e Volpi, 2009) em termos de NO_x, COV's e CO as reduções são respectivamente na ordem dos 30, 80 e de 65 a 95%, sendo ainda a emissão de partículas praticamente eliminada (Schwaller, 2004; Liu, 2005; Yacobucci, 2007).

¹¹ O ciclo *Otto*, também tecnicamente conhecido pelo ciclo teórico de volume constante, foi na realidade, apresentado inicialmente por *Alphonse Beau de Rochas* em 1862. No entanto foi *Nicolaus August Otto* o primeiro a desenvolver um motor com funcionamento por este ciclo tendo o seu nome ficado associado a este tipo de motores (Bonnick, 2008).

¹² O ciclo *Diesel* deve o seu nome a *Rudolf Christian Karl Diesel* que apresentou um motor com este tipo de funcionamento em 1897 (Wu, 2007).

¹³ Este gás ficou tristemente celebrizado na sequência do incêndio do dirigível *Hindenburg* no momento em que atracava em Lakehurst, New Jersey a 6 de Maio de 1937 depois de uma travessia transatlântica (Sherman, 2010).

3.4.1.4 **Gás de Petróleo Liquefeito (GPL)**

O gás de petróleo liquefeito (GPL) é um subproduto da refinação do petróleo e do processamento do gás natural. Os maiores constituintes são o gás propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}) podendo também ter propileno (C_3H_6) e outros gases similares (Faiz et al., 1996; Speight, 2005). Em termos de emissões tende a ter um comportamento similar ao dos veículos a gás natural com poucas emissões de CO e HC e praticamente nenhuma partícula. As emissões de NO_x são similares aos veículos a gasolina sendo as de CO_2 mais baixas.

3.4.1.5 **Gasóleo**

O gasóleo é um derivado do petróleo bruto usado nos motores com funcionamento pelo ciclo *Diesel*, (Faiz et al., 1996). Estes motores têm a vantagem, relativamente aos motores a gasolina, de serem mais eficientes energeticamente conseguindo geralmente, reduções nos custos de operação (EEA, 2009). Emitem, em geral, valores superiores de NO_x e PM_{10} comparativamente aos seus equivalentes a gasolina embora apresentem emissões de CO_2 inferiores (Walsh, 2009).

3.4.1.6 **Biocombustíveis**

Os biocombustíveis¹⁴ são provenientes de alguns tipos de colheitas agrícolas, de vegetação ou de resíduos (IEA, 2004). Existem dois grandes grupos: os álcoois (etanol e metanol) e o *biodiesel* (FOE, 2000). O processo de produção pode ser energeticamente dispendioso e até produzir o efeito inverso de aumentar as emissões de CO_2 (FOE, 2000; FAO, 2008; VTPI, 2009). Podem funcionar segundo o ciclo *Otto* ou *Diesel* e ser utilizados na sua forma pura ou misturados com os tradicionais combustíveis fósseis. O etanol, em geral, reduz significativamente as emissões de CO podendo no entanto aumentar as emissões de NO_x e compostos orgânicos voláteis (IEA, 2004; Yacobucci, 2007). No que concerne ao *biodiesel* as emissões de quase todos os poluentes são mais baixas comparativamente ao gasóleo tradicional (IEA, 2004; Yacobucci, 2007).

3.4.1.7 **Veículos Híbridos**

Os veículos híbridos¹⁵ são movidos por mais do que um sistema propulsor, geralmente um motor de combustão interna e um motor eléctrico. O veículo pode ser movido por um ou pela totalidade dos sistemas propulsores em função das circunstâncias e estratégias de optimização definidas (Larminie e Lowry, 2003; Anderson e Anderson, 2010). Um dos seus aspectos positivos prende-se com o facto de, em geral, disporem de sistemas de travagem regenerativa

¹⁴ A Directiva Europeia 30/2993 preconiza a progressiva substituição de combustíveis fósseis no sector dos transportes com a incorporação mínima de 5,75% de biocombustíveis em 2010 e de pelo menos 10% em 2010. Esta directiva foi transposta para a legislação nacional pelo Decreto-lei n.º 62/2006 de 21 de Março de 2006.

¹⁵ O primeiro veículo híbrido moderno a ser produzido em série foi o *Toyota Prius* o qual foi lançado em 1997 (Sandalow, 2009).

aproveitando alguma energia cinética (Hillier e Coombes, 2004). A optimização e aproveitamento das vantagens de cada propulsor tem vantagens assinaláveis em termos de emissões poluentes podendo chegar a reduções de 30% e 90%, respectivamente para CO₂ e CO (Alessandrini et al., 2009). Alguns modelos mais recentes dispõem da tecnologia *Plug In* que permite ligar o veículo à corrente eléctrica para carregar as baterias (Sandalow, 2009; Silva et al., 2009). Estes podem reduzir as emissões de CO₂ entre 20 e 60%, em função das fontes utilizadas para a produção de energia eléctrica na rede (Lipman e Delucchi, 2010) podendo o consumo de combustível reduzir-se em 70% (Sioshansi et al.).

3.4.1.8 Veículos Eléctricos

Os veículos eléctricos podem apresentar algumas vantagens comparativamente aos veículos de motor de combustão interna. Não utilizam qualquer energia quando estão imobilizados, ao contrário da generalidade dos veículos tradicionais, e não poluem ao nível da utilização. Frequentemente, grande parte da energia eléctrica advém da queima de combustíveis fósseis (Larminie e Lowry, 2003). Deste modo, os níveis de poluição dependem das fontes de energia utilizadas bem como da eficiência da rede de distribuição. Um estudo recente aponta para reduções de emissões de CO₂ entre 20 e 50% para as condições actualmente existentes nos Estados Unidos podendo chegar a valores próximos dos 90% se forem utilizadas energias renováveis e centrais nucleares na produção de energia (Lipman e Delucchi, 2010).

3.4.2 Características do Veículo

Quando um veículo está em movimento é necessário que este equilibre, através da sua tracção, uma série de forças de atrito que são originadas pela interacção deste com a atmosfera e a superfície da estrada. Essas forças podem ser associadas aos seguintes grupos (OECD, 2004; Kobayashi et al., 2009):

- Resistência aerodinâmica. Depende do formato do veículo característica que lhe confere determinado coeficiente de penetração ao ar habitualmente designado de C_x ou C_d ¹⁶ o qual é multiplicado pela superfície frontal do veículo¹⁷. Esta resistência é proporcional ao quadrado da velocidade e, a potência para a vencer é proporcional ao cubo dessa mesma velocidade (Popp e Schiehlen, 2010);

¹⁶ Este coeficiente quantifica a resistência ao ar de um veículo se movimentar em sentido frontal sendo este o eixo do x. Os coeficientes C_y (lateral ao veículo) e C_z (vertical) são igualmente importantes dado quantificarem respectivamente a forma como o veículo reage a ventos laterais e, se gera ou não forças verticais quando está em movimento.

¹⁷ Área da projecção do veículo num plano vertical perpendicular à direcção do seu movimento.

- Resistência ao rolamento. Depende dos pneus, pressão destes, tipo de pavimento e é proporcional à massa do veículo;
- Forças resistentes relacionadas com a massa do veículo. Inserem-se neste subgrupo duas componentes: a inércia na fase de aceleração que depende da massa do veículo e também de todas as componentes do veículo que têm movimento circular. A outra componente refere-se à gravidade sempre que há uma inclinação a vencer.

Em deslocações urbanas, a massa do veículo é bastante relevante (OECD, 2004) sendo actualmente, comum que esta se aproxime dos 2000 kg em veículos de gama alta ou em SUVs¹⁸.

Em termos de eficiência energética os veículos tradicionais são extremamente ineficientes desperdiçando uma quantidade muito elevada de energia. Assim para além da energia dispendida para vencer as resistências anteriormente mencionadas existem também as perdas no motor, transmissão, ar condicionado (eventualmente) e equipamentos acessórios (Figura 3.6). Deste modo, em geral, num veículo a gasolina, é utilizada menos de 15% da energia presente no combustível para a impulsão do veículo (DOE, 2010).

Outros factores como a idade, quilometragem, manutenção periódica do veículo têm também um papel muito importante no padrão de emissões poluentes sendo estas, habitualmente mais elevadas para veículos mais antigos, com maior quilometragem e que não façam as normais operações de manutenção mecânica (Zachariadis et al., 2001).

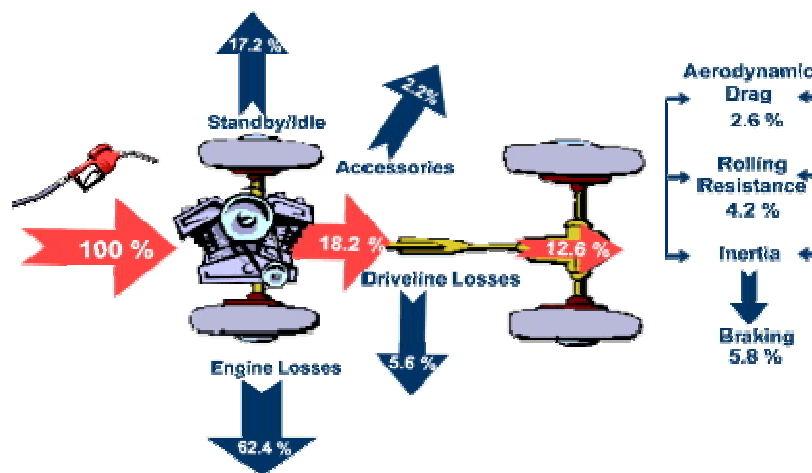


Figura 3.6 – Utilização e dissipação de energia num veículo típico a gasolina, da década de 90 (DOE, 2010)

¹⁸ SUV acrónimo derivada da expressão anglo-saxónica *Sports Utility Vehicle*. São veículos com formato similar a um todo terreno mas, habitualmente, com aptidões para trajectos fora de estrada muito baixas ou inexistentes. Trata-se de um segmento do mercado automóvel cujas vendas têm crescido nos últimos anos (ACEA, 2010d).

3.4.3 Tecnologias para Melhorar a Eficiência dos Veículos

Desde há muito tempo que a eficiência¹⁹ dos veículos automóveis tem vindo a aumentar. No entanto, a partir dos anos 80, esse aumento de eficiência que se traduzia em economia de combustível cessou, muito devido ao tendencial aumento da dimensão e peso dos veículos automóveis (Sperling e Gordon, 2009). Nos EUA e no Japão, desde o ano 2000 que o peso dos veículos aumentou em média 10 a 20% (Kobayashi et al., 2009). No entanto, as questões económicas e a cada vez maior percepção e sensibilização para as questões ambientais têm justificado recentemente um esforço crescente no sentido de diminuir o consumo por recurso a novas tecnologias e/ou aperfeiçoamento das existentes²⁰. De forma não exaustiva as tecnologias/áreas de aplicação são as indicadas no Quadro 3.2 (OECD, 2004; Kobayashi et al., 2009; ACEA, 2010a; DOE, 2010).

Quadro 3.2 – Tecnologias para melhoria da eficiência dos veículos

Sistema/Dispositivo	Descrição Geral
Aumento de rendimento dos motores	Utilização de várias tecnologias inovadoras e optimização das estratégias de funcionamento dos motores
Utilização de materiais mais leves	Diminuição da massa do veículo minimizando a inércia e potência necessária para vencer declives
Sistemas <i>Start-Stop</i>	Desligam o motor quando o veículo está imobilizado
Recuperação da energia da travagem	Permite que se recupere, parcialmente, a energia, habitualmente, dissipada nas travagens
Optimização da transmissão	Melhorar o desempenho de todo o sistema de transmissão de modo a que este tenha menores perdas de energia
Reutilização do calor gerado pelo motor	Utilizar o calor emitido pelo motor para gerar energia
Sistemas de iluminação por LED[1]	Dado o menor consumo dos LED conseguem-se assim mitigar os consumos eléctricos
Computador de bordo	A informação em tempo real sobre os consumos médios e instantâneos pode levar a alterações no estilo de condução adoptado [2]
Pneus de baixa resistência de rolamento	Pneus de baixa resistência de rolamento. Podem reduzir as emissões de CO ₂ em 3% sendo esta percentagem acrescida de 2,5% com a utilização de um sistema de monitorização da pressão dos pneus (T&E, 2007)
Sistemas de orientação por GPS	Ajudam a que condutores não habituais seleccionem o trajecto mais adequado reduzindo o consumo de combustível e emissões poluentes (Ahn e Rakha, 2008)
Melhoria da aerodinâmica do veículo	Consegue-se uma diminuição da potência necessária e energia dispendida particularmente em velocidades mais elevadas
Sistemas de <i>Cruise Control</i>	Conseguem optimizar a quantidade de combustível necessário em função dos níveis de resistência detectados pelos vários sensores instalados no veículo (Rajamani, 2006)

[1] Do acrónimo anglo-saxónico *Light-Emitting Diode* ou seja diodo emissor de luz.

[2] Existem, actualmente, automóveis que permitem o *download* dos dados dinâmicos e de funcionamento do veículo de uma viagem para uma aplicação informática que analisa o estilo de condução e sugere possíveis formas de melhoria no sentido de optimizar os consumos (Fiat, 2010).

¹⁹ A eficiência de um automóvel é medida pelo trabalho mecânico efectuado por quantidade de energia de combustível gasta (Sperling e Gordon, 2009).

²⁰ O Plano Nacional para a Eficiência Energética, aprovado no Conselho de Ministros n.º 80/2008, considera vários equipamentos que podem ser potenciadores de redução de consumos e aumento da eficiência energética dos veículos automóveis, prevendo medidas para fomentar a inclusão desses equipamentos nos veículos novos.

3.4.4 Tipo de Condução

Um dos factores que assume maior relevância no consumo de combustível e, por conseguinte, também nos níveis de poluição gerados é o estilo de condução. Este facto é corroborado por um número elevado de trabalhos de investigação que sublinham que a agressividade na condução que se traduz, sinteticamente em acelerações, travagens fortes e manutenção do motor em rotações elevadas conduz a aumentos significativos não só dos consumos e emissões de poluentes mas também ao maior desgaste dos componentes mecânicos do veículo. Contribui, igualmente para um maior ruído, maior desconforto para os eventuais passageiros e um decréscimo dos níveis de segurança (Ntziachristos e Samaras, 2000; Int Panis et al., 2006; ACEA, 2010b; Carslaw et al., 2010).

Em termos concretos um estudo publicado no ano 2000, aponta para o triplo das emissões de CO e o dobro relativamente a HC e NO_x quando se pratica um estilo de condução agressivo (De Vlieger et al., 2000). Outra abordagem aponta para um acréscimo do consumo de combustível entre 12 e 40%, das emissões de CO entre 1 e 8%, das emissões de COV entre 15 e 400% e dos NO_x entre 20 e 150% (Panisa et al., 2006). Outro estudo estima que a maioria dos condutores gasta 2% do tempo de condução em manobras agressivas, responsáveis por 40% do total de emissões (Pandiana et al., 2009). Com o objectivo de sensibilizar os condutores para esta matéria vários organismos têm promovido campanhas neste sentido, habitualmente, conhecidas por *eco-condução*, *eco driving* ou algo similar (ECODRIVEN, 2006; AAM, 2009; ACAP, 2010; IMTT, 2010).

3.4.5 Dimensão do Percurso

As viagens curtas, percorridas com o motor ainda frio²¹, têm uma influência significativa nas emissões, sendo estas mais elevadas dado que os sistemas mecânicos e de despoluição ainda não atingiram a gama de temperaturas que garante o seu funcionamento otimizado (FHWA, 2000b; André e Joumard, 2005; Favez et al., 2009; Weilenmann et al., 2009). Os poluentes mais afectados por este aumento são o CO e o HC sendo que, em condições normais de circulação e para veículos recentes a gasolina, a maior parte das emissões destes poluentes é gerada na fase de aquecimento do motor e catalisador. Os veículos a gásóleo são menos afectados por este fenómeno sendo as suas emissões na fase de aquecimento significativamente inferiores, comparativamente aos veículos a gasolina (Weilenmann et al., 2009). A adopção de tecnologias e estratégias mais avançadas na gestão dos motores e

²¹ Em geral o motor do veículo terá atingido a temperatura normal de funcionamento ao fim de cerca de 8 minutos ou 3 a 6 km (Joumard et al., 1995)

catalisadores tem conduzido, ao longo da última década, a reduções consideráveis deste tipo de emissões (Favez et al., 2009).

3.4.6 Condições de Circulação e Infra-estrutura Rodoviária

O consumo de combustível e emissões poluentes são afectados, de forma significativa, pelas condições de circulação (OECD, 2004; Coelho et al., 2005a; Int Panis et al., In Press). Tipicamente os veículos emitem mais poluentes a velocidades muito baixas ou muito altas (FHWA, 2000b). Situações de congestionamento que originem paragens e arranques sucessivos são particularmente gravosas dado que a fase de aceleração é aquela que, tendencialmente, regista as maiores emissões poluentes (Rouphail et al., 2001; Gois et al., 2005). Deste modo, a situação mais favorável tende a ser aquela em que se verificam velocidades relativamente constantes e na ordem dos 50 a 70 km/h (Figura 3.7) (Burrington, 1996; OECD, 2004). É assim notório que, na generalidade, as curvas de emissão de poluentes em função da velocidade assumem uma forma similar a uma parábola, com a concavidade voltada para cima, em que o ponto mais baixo se situa próximo daquela gama de velocidades. Nesta conformidade, são de evitar quer as velocidades elevadas (principalmente devido à potência requerida pela resistência aerodinâmica) quer as situações de congestionamento, típicas do nível de serviço F^{22} , (devido à inércia dos veículos).

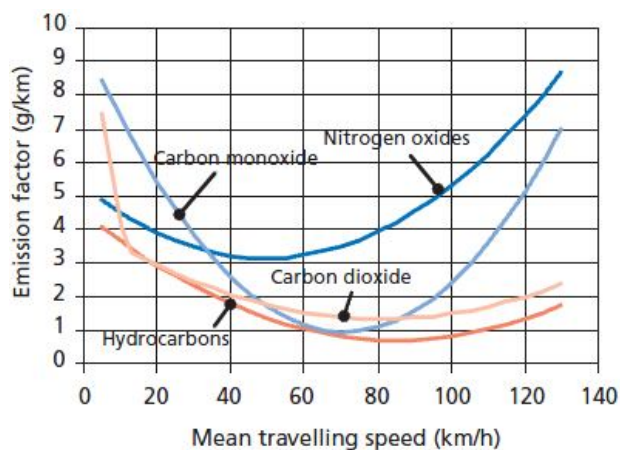


Figura 3.7 – Emissões poluentes típicas de um veículo ligeiro com catalisador da década de 90 (Krzyzanowski et al., 2005)

Em termos de traçado em perfil longitudinal, um estudo de 1996, revela que as emissões de CO e de NO_x podem chegar a duplicar quando se passa de um patamar para um trainel ascendente com uma inclinação de cerca de 4% (Pierson et al., 1996), tendo estes valores sido

²² Este nível de serviço representa situações típicas em que a procura é superior à capacidade de escoamento da via originando paragens frequentes e circulação a baixas velocidades (TRB, 2000).

parcialmente confirmados por um outro estudo posterior (Kean et al., 2003) o qual aponta, no entanto, para valores ligeiramente inferiores.

Vários estudos têm procurado avaliar o efeito do modo de operação dos veículos em termos do tempo que passam nas fases de aceleração, velocidade estabilizada, travagem e imobilização (Saleeb e Hartley, 1968; Hunt et al., 1982; Yamada e Lam, 1985; Rakha et al., 2000; Li et al., 2004). Estes estudos têm incidido, geralmente, em situações em que o tráfego é regulado por sinalização luminosa, com funcionamento isolado ou em sistema coordenado, existindo, desde há algum tempo, também vários programas de cálculo automático que incorporam essa capacidade nas suas metodologias de cálculo e/ou comparação de possíveis soluções (FHWA, 1997; Husch, 1998; Akcelik e Associates, 2002).

Um estudo norte-americano aponta para uma redução significativa dos valores de CO emitidos quando a demora na intersecção é reduzida (Hallmark et al., 2000). Neste estudo os valores de emissões poluentes (HC, NO_x e CO) foram estimados recorrendo aos modelos MEASURE²³ e MOBILE5a²⁴ tendo-se verificado que os valores obtidos pelo modelo MEASURE eram significativamente mais elevados (em particular, nos valores de CO e HC que atingiam mais do dobro). Refira-se que o modelo MEASURE utiliza, no seu cálculo, informação referente à velocidade e aceleração instantânea enquanto que o MOBILE5a calcula os valores de emissões com base em parâmetros, entre os quais, se conta a velocidade média. Os autores do estudo apontam para uma maior credibilidade dos resultados do modelo MEASURE neste tipo de análises facto que é corroborado por Washington et al. (Washington et al., 2000).

Outro estudo indica que uma coordenação eficiente da sinalização luminosa pode reduzir até 50% as emissões poluentes (Rakha et al., 2000). Este estudo defende, igualmente, a utilização de modelos que contemplem a dinâmica do veículo neste tipo de análises.

Também Joumard com base em estudos de modelação baseados em medições de campo realizadas em Toulouse (Joumard et al., 1992), aponta para uma redução de 5% no consumo de combustível recorrendo à optimização da sinalização luminosa, defendendo ainda que em zonas interurbanas a melhoria da gestão da velocidade pode conduzir a reduções de 2 a 3%.

A hierarquia da via tende, igualmente, a influenciar as emissões geradas (Rosqvist, 1999; Nesamani e Subramanian, 2006) sendo que, os maiores valores de CO₂ são registados, em

²³ Acrónimo de *Mobile Emissions Assessment System for Urban and Regional Evaluation* (Washington et al., 2000).

²⁴ Modelo de emissões baseado em factores de emissão desenvolvido pela agência de protecção ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1994).

geral, nas vias locais o que é justificado pelo maior número de acelerações típicas deste ambiente rodoviário (Nesamani e Subramanian, 2006). Em termos de optimização do desempenho a este nível das vias arteriais, um estudo (Noland e Quddus, 2006) aponta para o facto desta poder ser conseguida adaptando a infra-estrutura de modo a que induza os condutores a adoptarem estilos de condução mais suaves, e por consequência nas emissões poluentes mais baixas.

Em termos de escolha da solução de regulação de tráfego em intersecções alguns estudos apontam para alguma vantagem das rotundas relativamente às intersecções semaforizadas. Assim um estudo, levado a cabo na Suécia, aponta para valores de redução de 29, 21 e 28% em termos de CO, NO_x e de combustível, respectivamente quando se substitui uma intersecção semaforizada por uma rotunda (Várhelyi, 2002). Outro estudo mais recente, norte americano, (Mandavilli et al., 2008) aponta, para o mesmo tipo de alteração, para reduções de CO entre 21 e 42%, de CO₂ entre 16 e 59%, de NO_x entre 20 e 48% e de HC entre 17 e 68%.

Relativamente às medidas de acalmia de tráfego a situação em termos de emissões também não é consensual o que, em parte, é expectável dada a variedade de tipologias e condições de aplicação de medidas e metodologias de cálculo bem como a idade e tecnologia presente nos veículos considerados. Apesar disso, a generalidade dos estudos, e particularmente os mais recentes, apontam para um aumento de emissões (Höglund e Niittymäki, 1999; Boulter, 2001; Daham et al., 2005), havendo, no entanto, alguns outros que apontam para uma diminuição (Barbosa, 1995; Rosqvist, 1999). É de notar que esta questão é extremamente complexa dado que existe um número considerável de variáveis tais como o estilo de condução, tipologia do parque automóvel e condições atmosféricas que assumem uma influência significativa nos resultados obtidos cuja quantificação e variabilidade intrínseca faz aumentar, de forma notória, a complexidade deste tipo de análises. Por outro lado, alguns autores (Smit et al., 2010) apontam, num trabalho recente, para o facto de os estudos de validação dos actuais modelos de emissões serem ainda escassos e de frequentemente serem efectuados apenas para determinadas condições específicas pelo que se trata de uma área onde se continua a justificar a realização de trabalhos de investigação.

Face a este contexto efectua-se, de seguida, uma abordagem às principais referências nesta matéria abordando, de forma segregada, algumas das medidas de acalmia de tráfego principais.

3.4.7 Impacto das Medidas de Acalmia de Tráfego

Segundo Coelho (Coelho et al., 2005a) a aplicação de semáforos de controlo de velocidade resulta em aumentos de CO, NO_x e HC na ordem dos 15, 10 e 40%, respectivamente. De forma a reduzir o impacto destes dispositivos no aumento de emissões poluentes resultantes da fase de aceleração posterior à eventual paragem dos veículos é necessário adoptar estratégias de regulação mais tolerantes aumentando, por exemplo, os tempos mínimos de verde a seguir a um accionamento do sistema.

Um trabalho de origem nórdica (Höglund e Niittymäki, 1999) aborda, igualmente, a questão da utilização das lombas como medida de acalmia de tráfego efectuando a análise de um mesmo trecho urbano com e sem lombas, com vários cenários de procura de tráfego e com duas possíveis velocidades máximas legais no trecho (30 e 50 km/h). O recurso a um modelo de simulação permitiu estimar as emissões poluentes baseadas na aceleração e velocidade instantânea dos veículos. Os resultados, para todos os cenários testados, apontam para acréscimos no consumo de combustível e das emissões, em praticamente todos os cenários analisados. Esses aumentos são mais expressivos para o CO apresentando um aumento de 1551,3%, correspondente a um cenário de tráfego típico de hora de ponta e uma velocidade máxima permitida de 50 km/h. Para os outros poluentes analisados, NO_x e HC as variações são menos expressivas. Os autores realçam, no entanto, as incertezas existentes no problema e a influência dos perfis de velocidade e aceleração nos resultados obtidos sendo referido que embora os valores absolutos possam diferir da realidade a metodologia aplicada é passível de ser utilizada em termos comparativos.

Um estudo Britânico (Boulter, 2001) que envolveu uma recolha de dados reais relativamente aos perfis de aceleração e velocidade adoptados pelos condutores na transposição de várias medidas de acalmia de tráfego (lombas tipo *Watts*, lombas trapezoidais, *speed cushions*²⁵ intersecções elevadas, estrangulamentos de via, gincanas e mini-rotundas) revelou que todas as medidas em análise provocaram aumentos nas emissões de CO, HC e CO₂ entre os 20 e os 60%. Os veículos a gasóleo aumentaram as emissões de NO_x e de partículas em 30%. O cálculo das emissões foi, neste caso, efectuado recorrendo a um modelo baseado nos valores da aceleração e velocidade instantânea e outro baseado em factores de emissões relacionados com a velocidade média do percurso. Neste estudo, as medidas de acalmia mais eficazes, do ponto de vista da redução da velocidade, foram as lombas tendo também sido as que provocaram maiores aumentos nas emissões de poluentes. É também referido que, atendendo

²⁵ Ver Figura 2.11.

a que estas medidas tendem a ser utilizadas em vias essencialmente com tráfego ligeiro, é pouco provável que o aumento nas emissões venha a provocar alterações acentuadas na qualidade do ar.

Outro estudo, igualmente Britânico (Daham et al., 2005), analisou um trecho com trecho de estrada que incluía 7 lombas ao longo de uma extensão de cerca de 1 km tendo utilizado, como termo de comparação, outro trecho de comprimento similar em que se praticou uma condução suave. Neste caso, foi utilizado um veículo instrumentado (Euro 1) com equipamento que permitia a medição e classificação, em tempo real, dos poluentes emitidos pelo escape do veículo. As emissões registadas foram 2 a 3 vezes superiores no trecho com lombas tendo-se registado acréscimos de 90, 117 e 195% para o CO₂, CO e NO_x, respectivamente. De acordo com os autores do estudo a elevada massa dos equipamentos bem como o facto de o veículo levar sempre duas pessoas a bordo deverá ter tido a sua contribuição para os valores registados. No entanto é claro, de acordo com o estudo, que a presença das lombas foi a principal responsável pela grandeza dos valores.

Em termos de criação das “zonas 30”, integradas geralmente nos centros históricos ou em zonas exclusivamente residenciais onde a velocidade máxima é limitada a 30 km/h, um estudo, de origem Belga (Int Panis et al., 2006; Int Panis et al., In Press), enumera a complexidade das variáveis dinâmicas e características dos veículos em jogo. Concluiu que é ainda extremamente complexo estabelecer com rigor qual a influência deste tipo de zonas no computo global da quantidade de poluentes emitidos, sendo notória a diferença entre resultados obtidos por aplicação de modelos macroscópicos ou microscópicos (Int Panis et al., In Press). Neste sentido, os autores, recomendam alguma prudência na interpretação de resultados de estudos desta natureza pelo que a componente ambiental não deverá assumir um papel decisivo nas tomadas de decisão em relação aos limites de velocidade devendo estas ser analisadas, maioritariamente, segundo a perspectiva da segurança.

Neste contexto, verifica-se que, apesar de se dispor de alguns resultados de estudos técnico-científicos, ainda é difícil tirar conclusões absolutas e definitivas sobre a influência das medidas de acalmia de tráfego em termos ambientais, face, por um lado, à grande variabilidade dos padrões de circulação e condições de operação, e por outro lado, ao número assinalável de variáveis e condicionantes envolvidas. É, no entanto, relativamente consensual que as medidas que promovam a suavidade de condução e evitem acelerações bruscas são globalmente preferíveis do ponto de vista ambiental, comparativamente às medidas que possam induzir a comportamentos e perfis de velocidade mais heterogéneo.

3.5 Cálculo de Emissões

3.5.1 Tipologias de Modelos de Cálculo de Emissões

Existem vários métodos que permitem estimar a quantidade de emissões poluentes decorrentes da utilização de veículos automóveis. Estes métodos fundamentaram o desenvolvimento de modelos de emissões que podem ser segregados em três grupos principais (Abo-Qudais e Qdais, 2005) modelos de factores de emissões, modelos de velocidade média e modelos modais. Refira-se que o cálculo de emissões poluentes resultantes da operação de veículos automóveis é um tema bastante complexo essencialmente pelo elevado número de variáveis a considerar. Trata-se de uma área de investigação relativamente recente, sendo ainda escassos os estudos de validação dos modelos existentes (Smit et al., 2010).

Os modelos de factores de emissões recorrem a factores únicos para tipos específicos de veículos que operam num determinado padrão de condições de circulação. São modelos adaptados a uma utilização em grande escala. Não são, em geral, muito exigentes em termos de dados de base nem apresentam um rigor muito elevado. São essencialmente vocacionados para análises associadas a grandes escalas (Abo-Qudais e Qdais, 2005).

Os modelos de velocidade média, conforme a sua designação indicia, calculam as emissões com base na tipologia do veículo e na velocidade média num determinado trecho (Tchepel, 2003). São mais exigentes na obtenção de dados que os modelos anteriores e permitem uma análise mais pormenorizada da distribuição das emissões ao longo de uma rede viária.

Finalmente os modelos modais, também designados de modelos instantâneos, estão, essencialmente, vocacionados para estimar as emissões a um nível mais microscópico, necessitando contudo de um grande volume de dados que traduzam a dinâmica de operação do veículo numa escala temporal pequena, habitualmente segundo a segundo. O modelo de emissões instantâneas considera, assim, a cinemática do veículo por meio de parâmetros detalhados tais como a velocidade e a aceleração. Nesta conformidade a utilização deste método de cálculo requer o levantamento do perfil da velocidade e de acelerações correspondente à viagem ou situação que se pretende analisar. Estes modelos podem assim ser utilizados em análises de pequena escala tais como a verificação dos efeitos gerados por alterações na infra-estrutura rodoviária tais como a introdução de medidas de acalmia de tráfego (Boulter, 2001), alterações na temporização semafórica (Tate et al., 2005) ou a alteração no ordenamento geométrico de uma intersecção (Mandavilli et al., 2008). Pelo

grande volume de dados requeridos, a utilização destes modelos em cenários de maior escala é, actualmente, apenas praticável recorrendo a modelos de simulação de tráfego. Refira-se, no entanto, que os modelos de emissões instantâneas têm uma margem de incerteza elevada (Joumard et al., 1999; Smit et al., 2010).

Na óptica do presente estudo, os modelos de emissões modais ou instantâneas revelam-se os mais adequados. Por se pretenderem análises comparativas, relegando-se para segundo plano os valores absolutos, é expectável que os eventuais erros não tenham influência significativa nas análises a efectuar. Esta metodologia foi já adoptada em outras análises similares (Höglund e Niittymäki, 1999; Tate et al., 2005).

3.5.2 Modelo de Cálculo de Emissões CMEM

O modelo de emissões CMEM (*Comprehensive Modal Emissions Model*) foi desenvolvido pela Universidade de California-Riverside (*College of Engineering-Center for Environmental Research and Technology*, CE-CERT) juntamente com investigadores da Universidade de Michigan e do *Lawrence Berkeley National Laboratory* tendo o patrocínio do *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP). O projecto, que decorreu de 1995 até 2000, teve como objectivo desenvolver um modelo de emissões modais que calcule, de forma precisa, as emissões de veículos de passageiros e mercadorias de acordo com o modo de operação do veículo. O modelo tem capacidade para estimar as emissões de uma gama abrangente de veículos ligeiros e comerciais podendo simular as emissões em diferentes modos de operação (*ralenti*, aceleração, velocidade constante e desaceleração) bem como o efeito do ar condicionado e da inclinação da rasante. Os dados facultados são: consumo de combustível, CO₂, CO, HC e NO_x com uma cadência de 1 Hz (Barth et al., 2000).

Segundo um estudo britânico (Tate et al., 2005) apesar de o modelo ter sido desenvolvido nos Estados Unidos a sua abrangência e flexibilidade de configuração em termos de características dos veículos a analisar permitem que este seja utilizado em outros contextos, designadamente o Europeu. Este estudo efectuou a validação dos resultados do modelo face a valores medidos em laboratório. É de esperar, no entanto, face às mais recentes restrições impostas pelas normas Euro, designadamente a 4, 5 e brevemente a 6, que exista alguma sobre estimação nos resultados calculados pelo modelo. Porém dado que a renovação da frota automóvel leva algum tempo e considerando que as análises efectuadas são apenas comparativas concluiu-se, para efeitos do presente estudo, que o modelo era adequado.

A utilização do modelo é bastante simples e pode funcionar nos sistemas operativos habituais dos computadores pessoais. Deste modo, o utilizador tem de facultar ao programa dois tipos de dados de base: (i) os dados referentes ao veículo ou frota de veículos a ser testada; (ii) os dados que caracterizam a viagem ou o percurso efectuado.

No que concerne aos dados do veículo que são solicitados, entre outros, a massa, a potência e o regime a que esta é atingida, regime do binário máximo, cilindrada e tipo de dispositivos antipoluição do veículo permitindo, por sua vez, uma grande flexibilidade na definição do tipo de veículo. Estão, também, disponíveis cerca de quarenta tipos de veículos pré-definidos. O programa permite, igualmente, a simulação de uma frota de veículos, que pode ter características diversas sendo, neste caso, necessário facultar a repartição percentual de cada um dos tipos de veículos constituintes da frota.

Em relação aos dados cinemáticos, o programa requer a preparação prévia de um ficheiro com os dados da velocidade e aceleração horizontal com uma frequência de 1 Hz, juntamente com a inclinação da via em cada instante e indicação binária sobre se o ar condicionado está ou não ligado. Deste modo, optou-se por utilizar este modelo para cálculo dos valores das emissões poluentes, tendo em conta que o mesmo foi já utilizado em análises de natureza similar (Tate et al., 2005; Chen e Yu, 2007) e sobretudo face às suas potencialidades e simplicidade de utilização.

A Figura 3.8 apresenta os valores de CO₂ emitidos em função da velocidade, obtido a partir de dados do modelo CMEM no qual se pode igualmente observar a relação de caixa de velocidades que o modelo considera adequado, em função da velocidade, sendo de registar as discontinuidades nas zonas de transição das referidas relações.

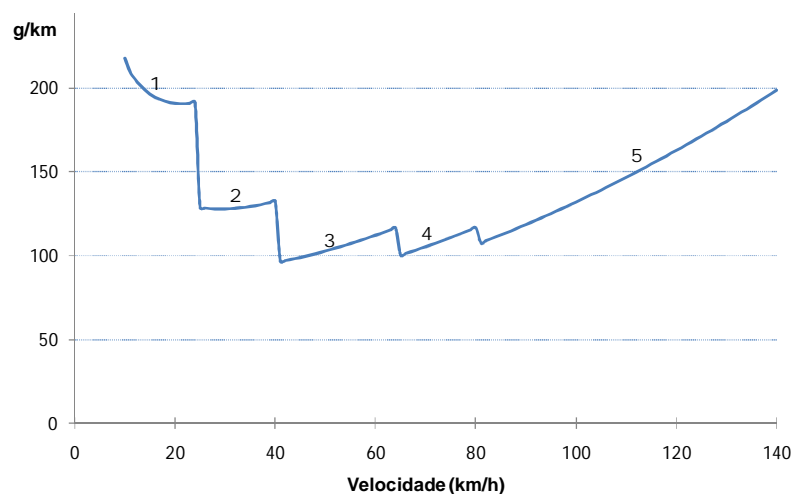


Figura 3.8 – Emissões de CO₂, a velocidade constante, calculadas pelo modelo CMEM

3.6 Síntese Conclusiva

Neste capítulo foram abordados alguns dos aspectos mais relevantes no que se refere aos poluentes atmosféricos emitidos pelos veículos automóveis, sendo estes identificados e caracterizados designadamente ao nível das suas eventuais consequências para a saúde humana.

Foi exposta a evolução histórica das quantidades de poluentes emitidos bem como o enquadramento legislativo relativo a estas questões, no contexto Europeu.

Os principais factores que afectam as emissões foram abordados realçando-se, de entre estes, pela sua relevância, para este estudo, o tipo de condução adoptado e as condições de circulação e infra-estrutura rodoviária sendo notório, que estes dois factores têm uma importância fulcral na grandeza dos valores de poluentes emitidos. Neste contexto é de salientar que, de acordo com a recolha bibliográfica efectuada, é notório que existe ainda um grau de desconhecimento assinalável no que concerne ao impacto da infra-estrutura e em particular, das medidas de acalmia de tráfego nos valores de poluentes emitidos.

Verificou-se que existem diferentes tipos de modelos de cálculo de emissões considerando-se que, para o presente estudo, os modelos de emissões instantâneas que utilizam a velocidade e aceleração instantânea no seu algoritmo de cálculo tendem a ser os mais adequados. Esta temática revela-se, no entanto, extremamente complexa, pelo número e tipo de variáveis presentes, encerrando ainda um nível de incerteza apreciável pelo que a utilização dos valores obtidos pelos modelos deve ser efectuada com alguma ponderação sendo, contudo, possível efectuar análises comparativas.

De entre estes modelos apresentou-se o modelo de cálculo de emissões CMEM o qual foi seleccionado para apoiar as estimativas de poluentes emitidos no âmbito do presente estudo.

4. Recolha e Tratamento de Dados

4.1 Introdução

As dificuldades relacionadas com a descrição e caracterização do comportamento dos condutores têm conduzido à necessidade de recorrer a instrumentos complexos de apoio à recolha de dados que assegurem, com níveis de fiabilidade aceitáveis, o registo de um conjunto de indicadores que traduzam a actuação destes sobre o veículo em condições reais de utilização e, a respectiva resposta dinâmica por parte do mesmo veículo.

Definem-se habitualmente três tipos de procedimentos para observação do comportamento do condutor, cada um possuidor de diferentes graus de controlo exercido sobre as variáveis observadas, e com diferentes gradações ao nível da correspondência entre o comportamento monitorizado e o comportamento natural. São elas: a observação directa, a utilização de simuladores e o recurso a veículos instrumentados.

A observação directa e/ou por recurso a gravações vídeo é habitualmente suficiente para uma caracterização geral das condições de funcionamento do sistema de tráfego, nomeadamente, a posição transversal dos veículos em trechos muito curtos. A observação por recurso a gravações vídeo torna-se, no entanto, extremamente limitativa particularmente ao nível do registo de variáveis cinemáticas que exijam elevados níveis de precisão. Análises de sensibilidade ao erro desenvolvidas por Bastos Silva (Bastos Silva, 1997) e baseadas na medição de espaços e de tempos de percurso entre trechos pouco extensos, demonstraram que a imposição de erros pontuais, alternados, sucessivos ou mesmo aleatórios, ao nível dos tempos de passagem registados em cada uma das diferentes secções de um determinado circuito, se revertem numa falta significativa de fiabilidade e de confiança ao nível das velocidades médias observadas.

Os simuladores de condução desenvolvidos em laboratório procuram reproduzir representações reais e verosímeis da realidade, bem como a simulação de diversas situações de conflito e incomodidade com recurso a elevados níveis de fidelidade na representação virtual da estrada. Apesar de se utilizar esta ferramenta para o desenvolvimento de numerosos estudos (Lee et al., 2003; Bella, 2008; Auberlet et al., 2010), colocam-se, por vezes, problemas de representatividade e de realismo em experiências desenvolvidas em ambientes controlados de laboratório (Cardoso e Castilho A. J., 1990; Malaterre, 1994; Godley et al., 2002).

Os veículos instrumentados procuram ultrapassar estes problemas, recolhendo dados sobre o fluxo de informação do condutor e dos comandos executados por este em situações reais de condução conseguindo-se, assim, ter um ambiente rodoviário normal. Estes veículos, providos de computadores de bordo e de equipamentos mais ou menos complexos, permitem o armazenamento de dados sobre parâmetros operacionais relevantes, tais como a velocidade, acelerações, movimentos do volante, accionamentos dos pedais, etc. (Silva et al., 2002b). Assim comparativamente à utilização de simuladores de condução a recolha de dados recorrendo a um veículo instrumentado acarreta um esforço acrescido nomeadamente no que concerne às questões logísticas. No entanto, o realismo das situações a que os condutores estão sujeitos não é posta em causa e ultrapassam-se as eventuais questões relativas à validade dos resultados obtidos nos simuladores de condução as quais podem ser determinantes para a fundamentação das análises a efectuar (Blana, 1996). Como eventuais aspectos menos positivos, desta metodologia, podem referir-se as normais limitações ao nível do universo de condutores e também o facto de estes poderem alterar o seu comportamento habitual pelo facto de terem conhecimento que estão a ser monitorizados. Este último aspecto deverá ter pouca relevância para eventos de condução de maior duração, como é o caso deste estudo, podendo ainda ser mitigado através da rejeição dos momentos iniciais de condução (Boyce e Geller, 2002; Bastos Silva, 2004; Ko et al., 2010). Refira-se, igualmente, que a utilização de veículos instrumentados no apoio a estudos sobre o comportamento dos condutores está longe de ser inédita quer em estudos mais antigos (Helander e Hagvall, 1976) quer em análises mais recentes (Bastos Silva, 2004; Harvey, 2009; Ko et al., 2010).

No presente estudo optou-se, assim, por um sistema de recolha de dados baseado num veículo instrumentado solução que foi julgada preferencial relativamente aos simuladores de condução pelo facto de não se colocarem tantas objecções quanto ao realismo das situações vividas pelos condutores e também por ser difícil simular com rigor o efeito da aceleração vertical a qual se constitui como uma variável importante neste estudo.

O desenvolvimento da solução de instrumentação do veículo bem como os trabalhos de montagem, compatibilização e calibração dos sistemas foram efectuados no âmbito deste estudo sendo esse processo descrito no presente capítulo. Refira-se que esta tarefa foi efectuada tendo em vista não só o presente estudo mas igualmente a obtenção de uma plataforma de trabalho que permita a realização de outros estudos de investigação na área das interacções entre veículo condutor e infra-estrutura. Este objectivo foi plenamente atingido, estando, actualmente, o veículo a apoiar outros trabalhos de investigação na área da segurança

rodoviária, designadamente o projecto de investigação SAFESPEED²⁶, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

A fase de recolha de dados é também abordada neste capítulo sendo expostas as considerações e metodologias utilizadas, quer para a selecção dos condutores quer dos locais onde tiveram lugar as secções de recolha de dados, e a forma como estas foram organizadas e estruturadas.

O tratamento preliminar dos dados obtidos pelos vários sistemas requereu, também, o desenvolvimento de processos de integração, compatibilização e sincronização de dados recolhidos a partir dos diversos sensores para que os mesmos pudessem ser tratados em várias plataformas informáticas. Nesta fase o desenvolvimento, programação e utilização de alguns algoritmos revelou-se essencial permitindo a automação e integração de tarefas conseguindo-se, deste modo, criar um sistema integrado de tratamento de dados que foi fulcral no aumento de produtividade desta fase sem que esta tenha implicado qualquer decréscimo no rigor do trabalho efectuado. Esses processos, que podem ser replicados em estudos similares, são descritos neste capítulo sendo igualmente efectuada uma caracterização dos dados obtidos.

4.2 O processo de Selecção do Sistema e suas Valências

A instrumentação de veículos requer, tradicionalmente, a constituição de uma equipa pluridisciplinar formada, nomeadamente, por técnicos na área da electrotecnia, mecânica e informática, aliada a um bom suporte económico. A escassez ao nível da oferta de equipamentos comerciais disponíveis torna os preços quase proibitivos, já que se tratam normalmente de soluções desenvolvidas de raiz em laboratório, testadas e adaptadas por técnicos da equipa em função dos equipamentos utilizados, da tipologia do sinal emitido por cada sensor/instrumento ou em função das necessidades da investigação.

A nível nacional, as referências a este tipo de veículos é ainda relativamente limitada, tendo sido encontrada referência a trabalhos na área da Engenharia do Ambiente baseados em veículos instrumentados promovidos pelo Departamento de Engenharia Mecânica do IST (Silva et al., 2002a; Simões et al., 2002; Vasconcelos et al., 2002) e de uma tese de doutoramento, em Engenharia Mecânica, desenvolvida com base num veículo instrumentado propriedade do centro de ensaios da *Renault*, Senonches-França (Afonso, 1997). O Departamento de Engenharia Civil da FEUP desenvolveu também um sistema de recolha da

²⁶ Título do Projecto: *Speed management strategies: an instrument for the implementation of safe and efficient road management solutions*

dados baseado num receptor GPS complementado por acelerómetros e um IMU (*Inertial Measurement Unit*) (Costa et al., 2002). Também o Departamento de Engenharia Civil da FCTUC desenvolveu um veículo instrumentado (Silva et al., 2002b) baseado em sistemas electromecânicos de aquisição de sinal e com um equipamento *multiplexer*²⁷ e vídeo VHS (*Video Home System*) para aquisição de imagem o qual foi utilizado no apoio à recolha de dados de uma tese de Doutoramento (Bastos Silva, 2004). Na sua maioria estas soluções integram instrumentos adaptados em laboratório tendo o *software* de conversão de sinais e de processamento da informação sido desenvolvidos internamente.

No entanto é de referir que o campo da instrumentação dos veículos sofreu na última década uma evolução significativa, quer em termos da oferta comercial de equipamentos, quer em termos de experiência na sua utilização. Esta evolução traduziu-se no surgimento de soluções integradas de recolha de informação particularmente direccionadas para os veículos de competição. Estes sistemas (Maxqdata, 2007; MoTeC, 2010; Racelogic, 2010; RT, 2010), têm a vantagem de integrar um computador de bordo associado a um conjunto alargado de instrumentos e de sensores que geram sinais compatíveis entre si, e cuja combinação salvaguarda um conjunto de soluções alternativas de instrumentação podendo ser utilizadas em estudos de investigação. Englobam, geralmente, *software* de processamento e visualização dos dados que captura e armazena os sinais recolhidos pelos diferentes sensores instalados fazendo a compatibilização dos tempos e frequências de recepção dos mesmos. A dimensão do mercado de competição automóvel, incomparável relativamente ao mercado de investigação, faz com que os custos destes sistemas sejam bastante mais acessíveis comparativamente às soluções desenvolvidas de raiz.

Estes dois tipos de sistemas apresentam vantagens e desvantagens:

- O sistema desenvolvido em laboratório exige a formação prévia de uma equipa pluridisciplinar e, face à solução integrada, a disponibilização de recursos humanos, temporais e económicos elevados. A selecção dos instrumentos a adquirir deve salvaguardar a compatibilização dos sistemas. Por vezes, e face a equipamentos mais sofisticados, as sessões de recolha de dados podem exigir a presença de alguns técnicos no local e, conseqüentemente, a compatibilização e a disponibilidade dos técnicos envolvidos. Por exigir trabalho em equipa e a constante resolução de problemas específicos, o sucesso do projecto depende claramente da experiência

²⁷ Um *multiplexer* de imagem é um equipamento que codifica as informações de duas ou mais fontes de vídeo num único canal (Lee et al., 1992).

prévia da equipa interveniente, tratando-se de uma solução que exige prazos temporais alargados. No entanto, consiste numa solução flexível e expansível, salvaguardando processos evolutivos, quer para integração de novos sensores quer para adaptação e melhoria do sistema existente (aumento da capacidade de armazenamento do *hardware*, reformulação dos *outputs* em função da investigação em curso, etc.). O facto da adaptação dos sistemas ser efectuada em laboratório, viabiliza ainda a pesquisa das melhores soluções oferecidas pelos diferentes fornecedores e, conseqüentemente, a definição de soluções optimizadas.

- O sistema integrado é pouco flexível, sendo a sua expansibilidade limitada ao conjunto de sensores disponíveis pelo fabricante e compatíveis com o sistema adquirido. Trata-se, no entanto, de um sistema simples, geralmente fiável, de fácil instalação e que é testado por um conjunto alargado de utilizadores.

A gestão dos recursos humanos e económicos, disponíveis no presente trabalho, aliada às limitações temporais associadas a uma investigação desta natureza, pesaram naturalmente na selecção do processo de recolha dos dados, tendo-se optado por adquirir um sistema integrado de recolha de dados.

4.3 Processo de Instrumentação do Veículo

4.3.1 Tipo de Veículo

Foi instrumentado um veículo ligeiro, tipo carrinha, da marca *Volvo*, modelo *V40* (ano 2000) com um motor a gasolina de 1,6 litros de cilindrada e caixa de velocidades manual de cinco relações. Esta viatura, pela sua relação peso/potência e características de condução/utilização, está perfeitamente enquadrada no típico automóvel ligeiro do parque automóvel nacional. O veículo, no início das sessões de campo, apresentava uma quilometragem bastante baixa (20 000 km) e estava em perfeitas condições de conservação e manutenção, constituindo, deste modo, uma excelente plataforma de base à instrumentação realizada e, conseqüentemente, às sessões de recolha de dados.

A instrumentação do veículo resultou de uma colaboração entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/Instituto da Construção (proprietário do veículo), a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e o Instituto Politécnico de Leiria.

4.3.2 Variáveis Recolhidas

Em termos estratégicos optou-se por dotar o veículo com um conjunto de equipamentos que não só permitisse a recolha de variáveis e dados para o presente trabalho mas que simultaneamente pudesse constituir uma plataforma que potenciase a realização de outros estudos comportamentais, designadamente para o estudo das inter-relações entre as três componentes do sistema de tráfego. Nessa óptica considerou-se essencial dispor de um sistema que permitisse a recolha do seguinte conjunto de variáveis:

- Posição;
- Velocidade instantânea;
- Aceleração segundo um sistema de eixos triaxial ortonormado (Figura 4.1);
- Rotação angular segundo o sistema de eixos anterior (*Pitch*, *Roll* e *Yaw* de acordo com a nomenclatura anglo-saxónica, (Grewal et al., 2007));
- Accionamento do acelerador do veículo;
- Rotação do motor.

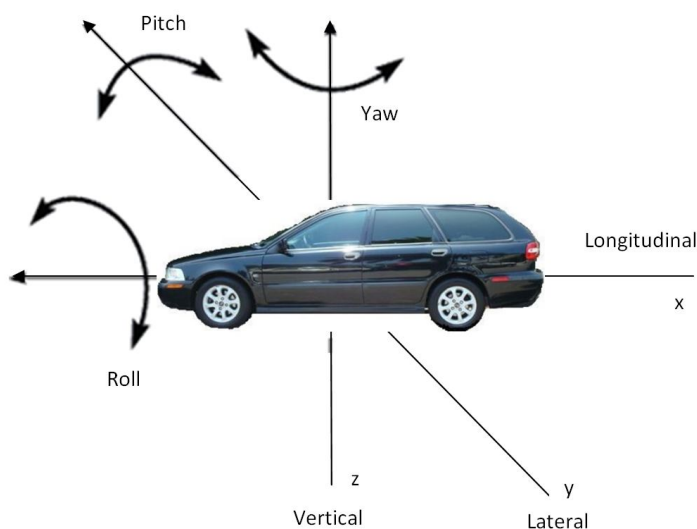


Figura 4.1 – Sistema de eixos adoptado

No âmbito do presente estudo, a posição do veículo, a velocidade, a aceleração segundo a direcção do movimento do veículo e o *Pitch* (a rotação angular em torno de um eixo horizontal perpendicular à direcção do movimento do veículo), são consideradas como as mais relevantes. As restantes variáveis, acima elencadas, não foram aqui consideradas.

Em complemento, foi ainda desenvolvido um sistema de recolha de imagens de modo a permitir caracterizar o enquadramento do veículo no ambiente rodoviário e avaliar eventuais

condicionamentos impostos pela presença de outros veículos na sua proximidade, ou ainda o nível de serviço do arruamento registado numa determinada situação.

4.3.3 Instrumentação do Veículo

De forma a manter toda a funcionalidade do veículo e a sua discrição no meio rodoviário envolvente, factor considerado essencial para não influenciar o comportamento dos outros utilizadores da estrada, toda a instrumentação foi seleccionada de modo a ser discreta e a não interferir com os comandos do veículo ou obstruir a visibilidade do condutor.

Após uma extensa pesquisa e análise de mercado relativamente a equipamentos e metodologias de recolha da informação, já referida no ponto anterior, foi decidido dotar o veículo com dois sistemas de recolha independentes embora sincronizáveis entre si.

A recolha das variáveis referentes ao movimento do veículo foi conseguida por recurso a um equipamento de recolha de sinais dotado de um receptor GPS (*Global Positioning System*), três acelerómetros perpendiculares entre si, um giroscópio para registo dos valores de *Pitch*, *Roll* e *Yaw* e uma ligação à OBD (*On Board Diagnosis*) do veículo. Designado de *Maxqdata MQ 200RT* (Maxqdata, 2007), o equipamento foi originalmente desenvolvido com o objectivo principal de constituir um sistema de recolha de dados para apoio à competição automóvel. Este sistema possui um *software* próprio que permite a visualização dos dados obtidos bem como a sua exportação para outros formatos compatíveis, nomeadamente folhas de cálculo.

Todos os dados coligidos a partir das várias fontes são transmitidos em tempo real e de forma bastante fiável (Prabhu e Reddi, 2006), através do protocolo *Bluetooth*, para um PDA (*Personal Digital Assistant*) e gravados para um cartão de memória do tipo SD (*Secure Digital*), recorrendo ao *software* facultado pelo fabricante do equipamento. Dada a grande capacidade dos cartões de memória SD este sistema permite, assim, uma autonomia de gravação de dados muito grande tendo revelado uma elevada fiabilidade e facilidade de utilização.

A Figura 4.2 resume a arquitectura geral adoptada para a recolha de variáveis dinâmicas.

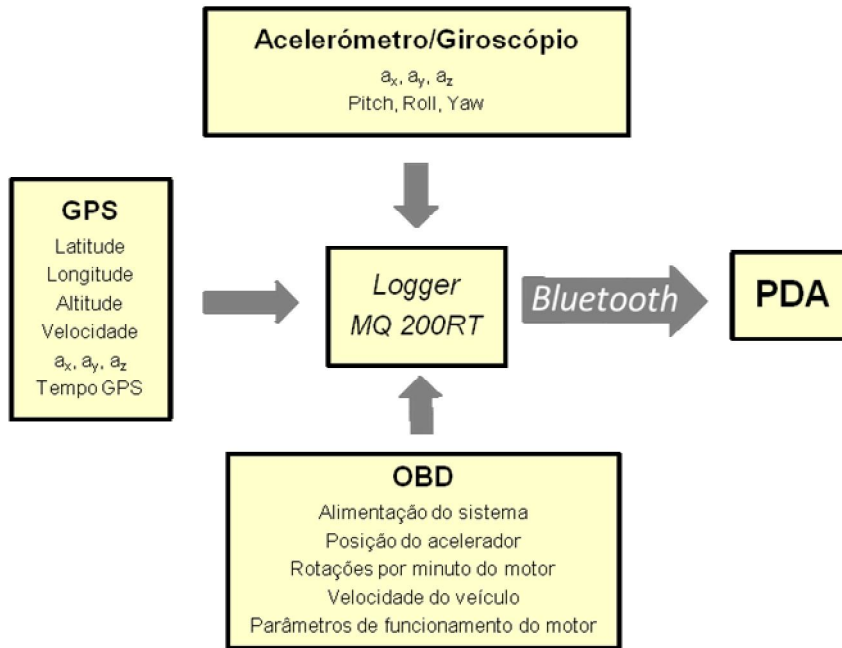


Figura 4.2 – Fluxograma ilustrativo da recolha de dados dinâmicos

O equipamento de recolha foi montado no veículo por baixo do lugar do passageiro frontal (Figura 4.3). Esta localização foi seleccionada de forma a responder a vários requisitos designadamente:

- Proximidade com o PDA colocado no pára-brisas do veículo (Figura 4.3) de modo a assegurar uma boa ligação *Bluetooth* e, conseqüentemente, uma gravação fiável dos dados coligidos;
- Proximidade em relação à interface OBD do veículo, dado que esta se situa acima do pedal do acelerador;
- Necessidade de garantir uma base plana de modo a assegurar o correcto posicionamento dos acelerómetros e giroscópio;
- Necessidade de resguardar o local de modo a assegurar a integridade do equipamento e operacionalidade e funcionalidade do veículo. Este requisito foi devidamente assegurado dada a flexibilidade de ajuste longitudinalmente do banco sem interferir com o equipamento (na Figura 4.3(a) o banco está totalmente recuado);
- Salvar a construção de uma plataforma que possibilite estudos posteriores relativos ao comportamento do condutor, pelo que o equipamento foi colocado o mais próximo possível do posto de condução de forma a assegurar que as acelerações e variações angulares registadas sejam similares às sentidas pelo condutor. A localização adoptada foi assim, deste ponto de vista, considerada como a mais adequada dado que o condutor e o passageiro frontal estão sujeitos ao mesmo tipo de

acelerações e movimentos do veículo. Optou-se por não instalar o equipamento por baixo do banco do condutor pelo facto deste poder ser ajustado em altura e na sua posição mais baixa não ser possível salvaguardar espaço suficiente para a instalação.



Figura 4.3 – Equipamento de recolha de sinais *MQ 200RT* montado no veículo (a) e PDA (b)

O receptor GPS funciona a uma cadência de 5 Hz facultando para além da posição e velocidade do veículo, as correspondentes acelerações laterais e longitudinais calculadas pelo sistema GPS. Em termos posicionais, a precisão deste tipo de receptores é da ordem dos 3 m, com um grau de certeza de 95%, para valores de precisão horizontal ou HDOP (*Horizontal Dilution of Precision* de acordo com o acrónimo anglo-saxónico) inferiores a 1,5 (Ghilani e Wolf, 2008). Refira-se que o *MQ-200RT* facultava este dado igualmente a 5 Hz, e que no decurso das sessões de recolha de dados ele esteve sempre abaixo desse valor. O desempenho dos sistemas GPS ao nível da posição está dependente de um conjunto de potenciais fontes de erro, nomeadamente erros de relógio ou de efeméride (posição dos satélites), erros de origem atmosférica (ionosfera e troposfera), erros do receptor e erros relacionados com fenómenos de multitrajecto (Ghilani e Wolf, 2008). Tendo em conta o objectivo central do presente estudo, considerou-se que a precisão assegurada (3 m) é suficiente.

A antena do GPS foi instalada por colagem magnética no tejadilho do veículo (Figura 4.4), assegurando a melhor visibilidade possível em relação aos satélites da constelação GPS.



Figura 4.4 – Antena do GPS no tejadilho do veículo

Relativamente à velocidade do veículo esta pode ser determinada por derivação da posição registada através do GPS. No entanto, e por se considerar que esta metodologia pode ter erros de dimensão desajustada para o objectivo do estudo (Zhang, 2003), a velocidade foi calculada a partir do efeito *Doppler* da onda portadora do sistema GPS (Samama, 2008). De acordo com a generalidade dos fabricantes os níveis de fiabilidade e precisão conseguidos, recorrendo a esta metodologia, são excelentes apresentando erros da ordem dos 0,1 a 0,2 m/s independentemente do valor da velocidade (RT, 2008; Racelogic, 2009). Testes independentes confirmaram a robustez deste procedimento tendo-se verificado que em trajectos rectilíneos 82% dos resultados estavam a menos de 0,4 m/s do valor real (Witte e Wilson, 2004). Embora acima do indicado pela generalidade dos fabricantes, este nível de desempenho pode considerar-se bastante satisfatório e perfeitamente adequado para estudos de comportamento de condutores face às características da infra-estrutura rodoviária e/ou condições de circulação.

A aceleração vertical foi obtida a partir de um dos acelerómetros internos do *MQ 200RT* com uma resolução máxima de 0,01 g a uma frequência de 50 Hz (Maxqdata, 2007). Dada a natureza do estudo este é um parâmetro extremamente importante uma vez que é, geralmente, utilizado como um indicador do desconforto percebido pelo condutor (Watts, 1974; Blundell e Harty, 2004; DfT, 2007; Ewing e Brown, 2010) e conseqüentemente tem uma influência notória no seu comportamento em termos de selecção da velocidade de passagem nas lombas.

No que se refere às restantes acelerações, a aceleração longitudinal e a aceleração lateral, a_x e a_y respectivamente (Figura 4.1) estas são facultadas pelo sistema por duas vias distintas. Assim estas podem ser obtidas por derivação da velocidade calculada pelo GPS (calculado originalmente a 5 Hz e extrapolado para 50 Hz) ou através de acelerómetros internos do

sistema com uma frequência de 50 Hz. A comparação dos valores obtidos pelas duas metodologias citadas permitiu verificar que, como seria expectável, os resultados são praticamente idênticos. Nesta conformidade, optou-se por utilizar os valores fornecidos pelo GPS dado que os valores facultados pelos acelerómetros internos são dependentes da horizontalidade do veículo. Deste modo, em situações de travagem o afunilamento típico do veículo tende a provocar um erro ligeiro nos valores registados. De igual forma, com o veículo imobilizado a eventual inclinação da via é “interpretada” como uma aceleração quando na realidade esta não existe. Em contrapartida a aceleração (lateral e longitudinal) calculada pelo GPS é independente da inclinação do veículo, sendo assim a fiabilidade e robustez dos dados é tendencialmente superior recorrendo a esta metodologia. No caso concreto deste trabalho a aceleração longitudinal é claramente a mais relevante dado que o traçado de aproximação e saída da lomba ou travessia elevada é efectuado com um traçado em planta rectilíneo ou com curvas de grande raio.

Por sua vez, os valores de *Pitch*, *Roll* e *Yaw* são disponibilizados pelo giroscópio triaxial do sistema *MQ 200RT* com uma resolução de 0,1 grau/s. Para a presente análise o único relevante é o valor do *Pitch* o qual apresentou oscilações bastante acentuadas sempre que o veículo “embatia” na lomba (Figura 4.5 obtida recorrendo ao *software* do equipamento *MQChart*).

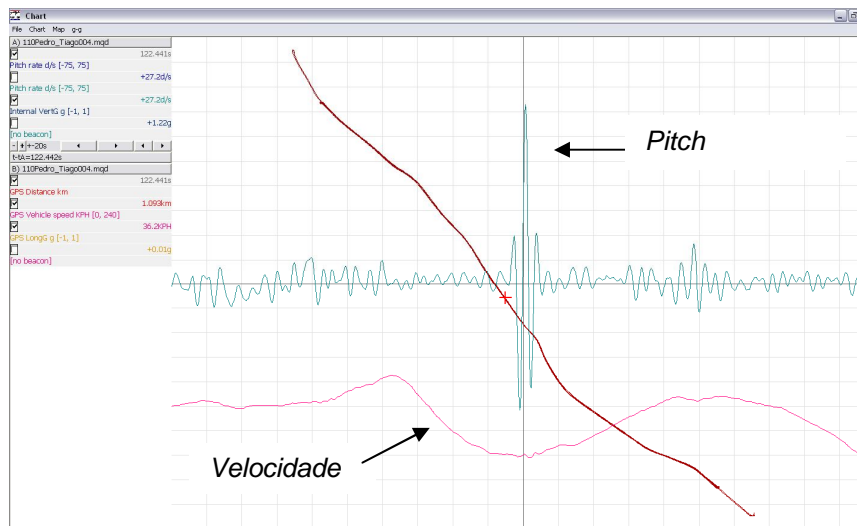


Figura 4.5 – Exemplo da variação do valor do *Pitch* no decurso da transição de uma lomba

A ligação à OBD (Figura 4.6) forneceu a alimentação do sistema e permite coligir mais um conjunto considerável de variáveis, nomeadamente a velocidade de acordo com o velocímetro do veículo, rotações por minuto do motor, posição do acelerador, temperaturas do líquido refrigerante do motor, bem como outros parâmetros de funcionamento dos diversos sistemas

do veículo (Denton, 2004). A velocidade obtida recorrendo a este método tem uma precisão bastante baixa comparativamente à obtida pelo receptor GPS (Witte e Wilson, 2004) pelo que este valor não foi utilizado. Relativamente aos restantes dados disponibilizados pela OBD, optou-se igualmente por não os considerar no estudo fundamentalmente por duas razões. Em primeiro lugar, por se considerar que as mesmas não tinham relevância para o presente estudo. Em segundo por apresentarem uma frequência baixa de aquisição de sinais que é função do tipo de ECU (*Engine Control Unit*) e conseqüentemente, da capacidade de resposta deste (Erjavec, 2009) e não do equipamento de recolha *MQ 200RT* adoptado. De facto, os testes piloto levados a cabo com o veículo evidenciaram que a frequência de resposta via OBD não ultrapassava os 3 Hz que terão de ser divididos pelo número de variáveis solicitadas (ou seja para duas variáveis a frequência de cada variável baixa para 1,5 Hz).

Refira-se, complementarmente, que uma das vantagens do equipamento adoptado comparativamente a sistemas constituídos por um conjunto de sensores e sistemas de gravação independentes, é a total compatibilização em termos de tempo e frequência de gravação de cada uma das variáveis recolhidas. Deste modo o tempo foi “controlado” pelo GPS tendo-se registado o tempo GPS associado a cada um dos registos de dados obtidos. Este facto permitiu não só facilitar o manuseamento e compatibilização de todos os dados obtidos como permitiu que, após a conversão do tempo GPS de segundos para a notação habitual, se fizesse a sincronização das imagens com os correspondentes dados recolhidos.

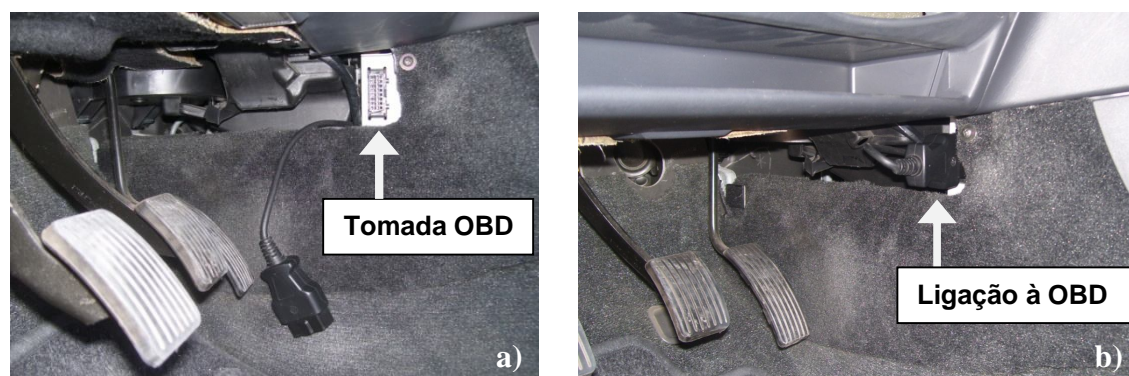


Figura 4.6 – Ligação à OBD do veículo, (a) desligado; (b) ligado

No que concerne à recolha de imagens relativas ao enquadramento do veículo o sistema adoptado baseou-se na montagem de um computador na bagageira (Figura 4.7) dotado de uma placa de aquisição de imagem do tipo *GV 800-4* que permite a aquisição e gravação de imagens de quatro câmaras a uma cadência de 30 imagens por segundo (por câmara) bem como de dois canais de áudio (Geovision, 2006). Este tipo de equipamento é, habitualmente, utilizado nos sistemas de vigilância, embora nestes casos seja, normalmente, configurado para

um número de imagens por segundo baixo. Juntamente com a imagem é sobreposta a informação relativa à data e hora de recolha da informação sincronizada de acordo com o relógio do computador. No decurso das sessões de recolha de dados houve sempre o cuidado de verificar (e caso necessário acertar) se a hora deste estava sincronizada com o tempo GPS permitindo, deste modo, a sua fácil identificação e coordenação com a informação recolhida pelo sistema *MQ 200-RT*. A montagem do computador, cuja interface gráfica foi colocada na traseira do banco do passageiro frontal, obrigou à montagem de um inversor para assegurar a sua alimentação bem como de uma bateria auxiliar que tinha como missão garantir a estabilidade da corrente em situações críticas de funcionamento do veículo tais como quando o motor é posto em funcionamento ou quando este trabalha a baixa rotação (*ralenti*).

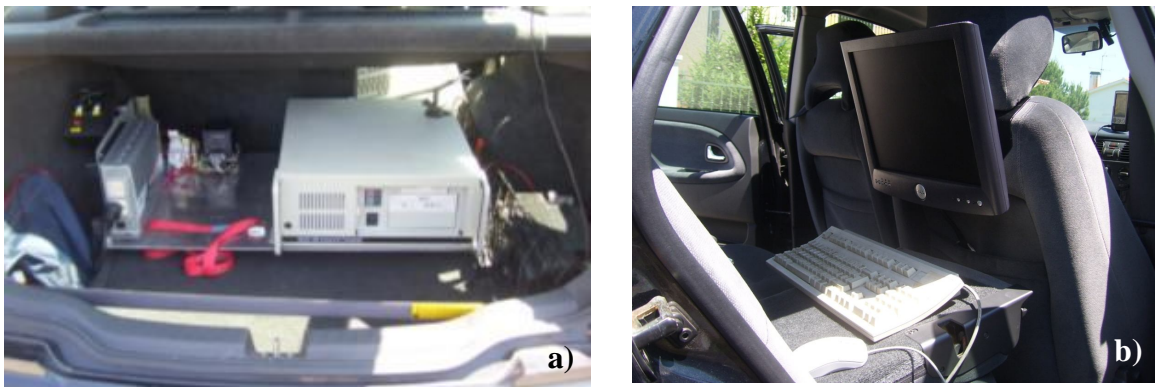


Figura 4.7 – Computador e sistemas de apoio na bagageira do veículo (a) Interface do computador instalado (b)

Foram instaladas, no veículo, três câmaras sendo uma delas voltada para a frente do veículo outra para a retaguarda e uma terceira voltada para o condutor e que permitia, igualmente, visualizar a parte lateral esquerda exterior ao veículo (Figura 4.8). A visualização destas imagens, que é efectuada através do *software* próprio do equipamento, permitiu detectar nomeadamente se o condutor circulava ou não em regime livre de circulação. Não foi instalado qualquer microfone dado se ter considerado desnecessário para a presente análise.



Figura 4.8 – Câmara frontal e lateral (a) e traseira (b)

Na Figura 4.9 é possível observar a visão obtida a partir das câmaras frontal e traseira.

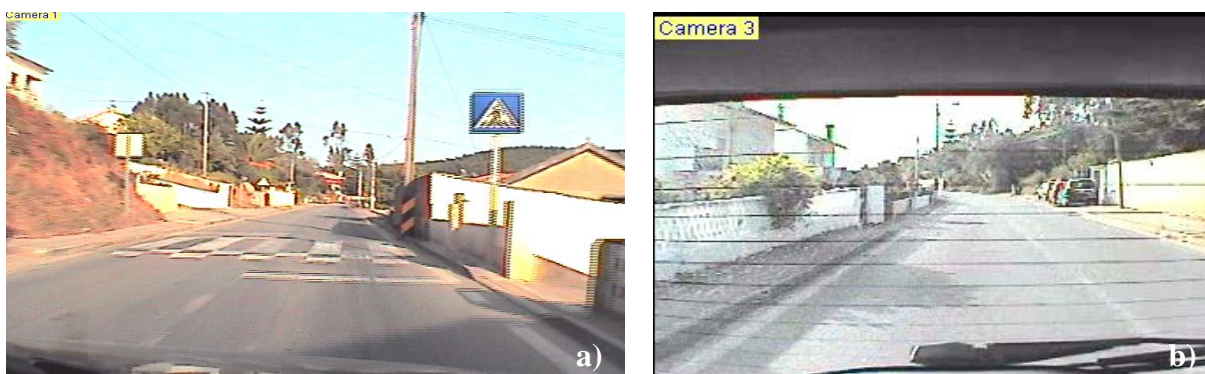


Figura 4.9 – Exemplo da visão frontal (a) e traseira (b)

4.4 Seleção dos Locais e Condutores

4.4.1 Locais Seleccionados

A escolha dos locais objecto de estudo requereu uma procura de locais providos de lombas, ou sequência de lombas, integradas na rede rodoviária e que respondessem aos objectivos pré-estabelecidos para o estudo. Por razões logísticas, e que se prendem essencialmente com a facilidade/custos de deslocação do equipamento e dos condutores envolvidos, optou-se por limitar a selecção dos locais à região centro do país. Complementarmente foram ainda considerados os seguintes critérios de selecção:

- Características físicas da medida de acalmia. A lomba foi considerada relativamente bem concebida do ponto de vista geométrico, tendo por referência recomendações das referências bibliográficas mais conceituadas (ITE, 1993; Webster, 1993b) bem como o enquadramento técnico nacional (DGV, 2004);
- Traçado em planta e perfil longitudinal do trecho. De forma a minimizar influências externas na velocidade foram considerados trechos de aproximação e de inserção da lomba com traçados em planta relativamente rectilíneos e com inclinação longitudinal pouco significativa (inferior a 2%);
- Visibilidade. Foram consideradas as medidas inseridas num trecho com boas condições de visibilidade;
- Localização relativa no trecho. Foram seleccionadas medidas localizadas fora da área de influência de outras singularidades do traçado (cruzamentos, locais de estacionamento, estreitamentos de via, outras medidas, etc.) de modo a restringir as variáveis que influem na velocidade seleccionada pelo condutor;

- Fluxos de tráfego. Todos os locais seleccionados estão sujeitos a fluxos de tráfego baixo ou médio de modo a viabilizar secções de recolha de dados em regime livre de circulação;
- Número de lombas no trecho. De modo a otimizar os recursos humanos e financeiros, foi considerada condição favorável a existência de lombas sucessivas em cada trecho mas respeitando uma separação mínima de acordo com o critério acima referido.

Tendo por base estes critérios foram seleccionados três trechos: a N110 no trecho localizado entre Antanhol e Valongo, a EM589 junto a Casal do Barril e a N362 junto a Porto de Mós. Por facilidade de identificação dos trechos estes serão designados por N110, Casal do Barril e Porto de Mós, respectivamente.



Figura 4.10 – Locais de recolha de dados (Fonte: Google Earth e Google Maps)

O trecho da N110, situa-se a cerca de 10 km de Coimbra e inclui 6 lombas construídas e sinalizadas de acordo com as recomendações da DGV (2004). Optou-se por percorrer o trecho nos dois sentidos, criando-se assim 12 situações distintas. As lombas são do tipo trapezoidal conforme exposto no ponto 2.4.3. A altura destas varia entre 0,05 e 0,07 m enquanto o comprimento está compreendido entre 5,7 e 11,4 m. Trata-se de um trecho inserido numa zona suburbana de baixa densidade e, conseqüentemente, é ladeado por várias habitações maioritariamente unifamiliares. O perfil transversal tipo é constituído por uma faixa de

rodagem contendo uma via em cada sentido sendo ladeado por passeios. Em termos globais o trecho seleccionado tem cerca de 4 km de extensão resultando uma “volta” completa num percurso de 8 km.

As zonas de inversão de marcha foram seleccionadas de forma a, por um lado, minimizar o comprimento do circuito e garantir a segurança da manobra e, por outro lado, salvaguardar uma distância suficiente longa para que o veículo atinja uma velocidade estável, antes de atingir a primeira lomba integrada no circuito em cada sentido. Em termos de notação cada lomba é identificada por um número sequencial e a letra “a” ou “b” consoante o sentido em que esta é percorrida. Estes critérios foram também utilizados nos outros dois locais de teste.

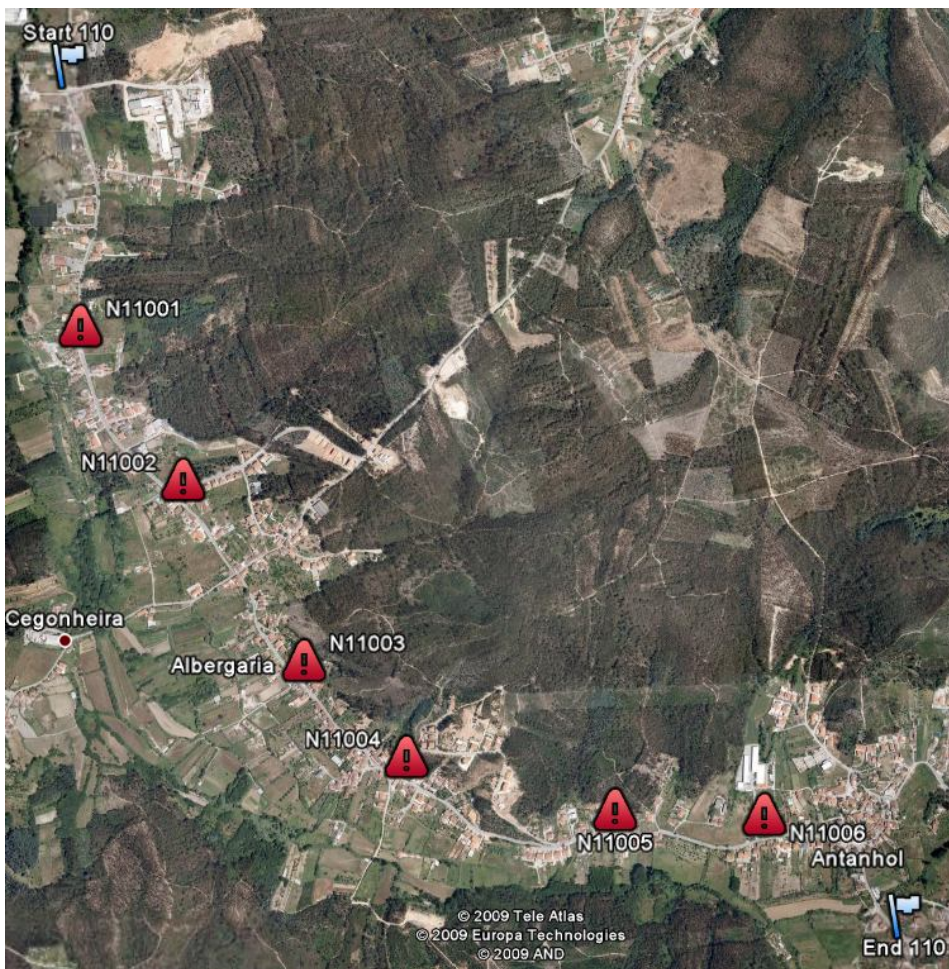


Figura 4.11 – Trecho da N110 utilizado nas secções de recolha de dados (Fonte: Google Earth)

O circuito do Casal do Barril situa-se a cerca de 1,5 km de Soure e compreende 4 lombas. Estas são do tipo circular, de acordo o descrito em 2.4.3, tratando-se de um perfil idêntico ao da lomba tipo *Watts* originalmente desenvolvido no início da década de 70 (Watts, 1973) e adoptado na nota técnica da DGV (DGV, 2004). Do ponto de vista construtivo, este tipo de lombas é de execução mais complexa, comparativamente às trapezoidais, sendo

provavelmente essa a justificação para o facto de serem adoptadas menos frequentemente. As lombas apresentam alturas máximas compreendidas entre 0,075 e 0,080 m sendo que o comprimento varia entre 4,2 e 4,6 m. O trecho em questão abarca a rua principal da aldeia de Casal do Barril sendo constituído por uma faixa de rodagem com uma via em cada sentido sem passeios laterais. O trecho entre o ponto de início e o final tem um comprimento total de 2,3 km resultando num circuito global com 4,6 km de extensão.

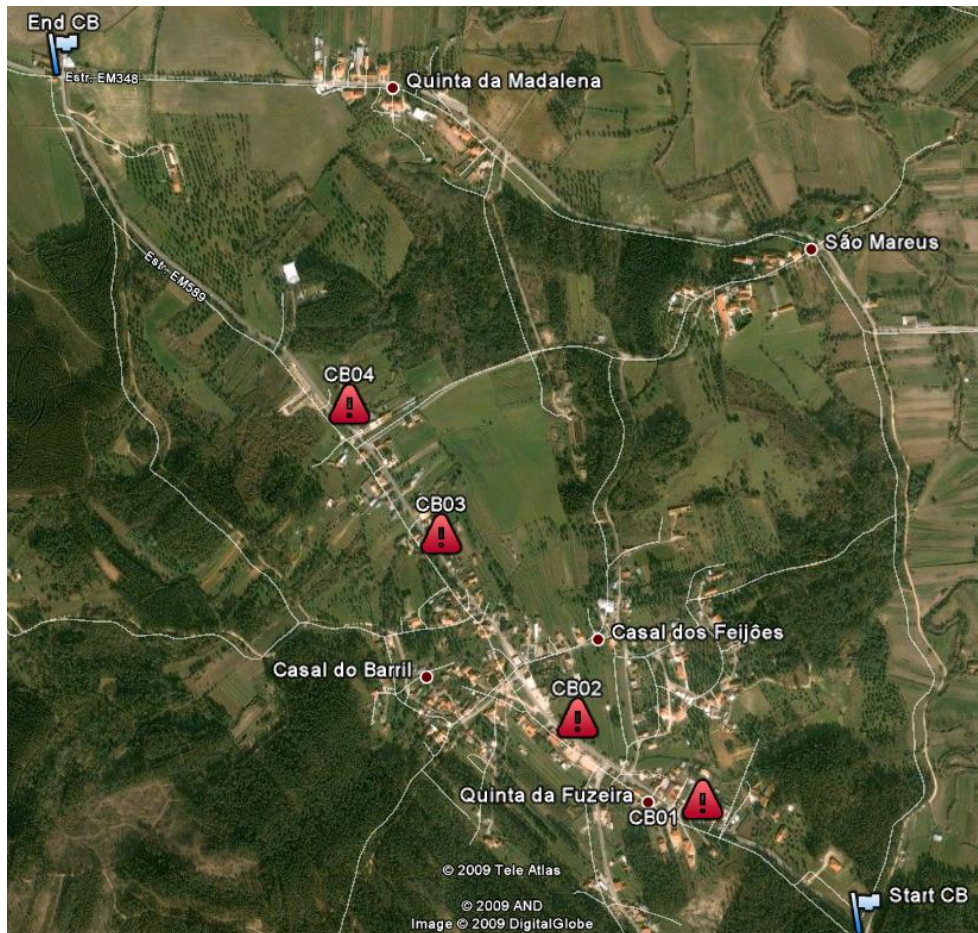


Figura 4.12 – Trecho da EM589-Casal do Barril utilizado nas secções de recolha de dados (Fonte: Google Earth)

Por fim, o trecho de ensaios na N362, designado de Porto de Mós, integra 7 lombas sendo estas do tipo trapezoidal associadas a atravessamentos pedonais. As passagens de peões têm uma altura compreendida entre 0,065 e 0,095 m e comprimentos que variam entre 6,4 e 7,1 m. Este trecho atravessa várias localidades tendo, por conseguinte, uma ocupação marginal predominantemente constituída por moradias unifamiliares de forma dispersa. É constituído por uma faixa de rodagem com uma via em cada sentido a qual é ladeada por passeio apenas de um dos lados. O comprimento do trecho utilizado é de 2,5 km.

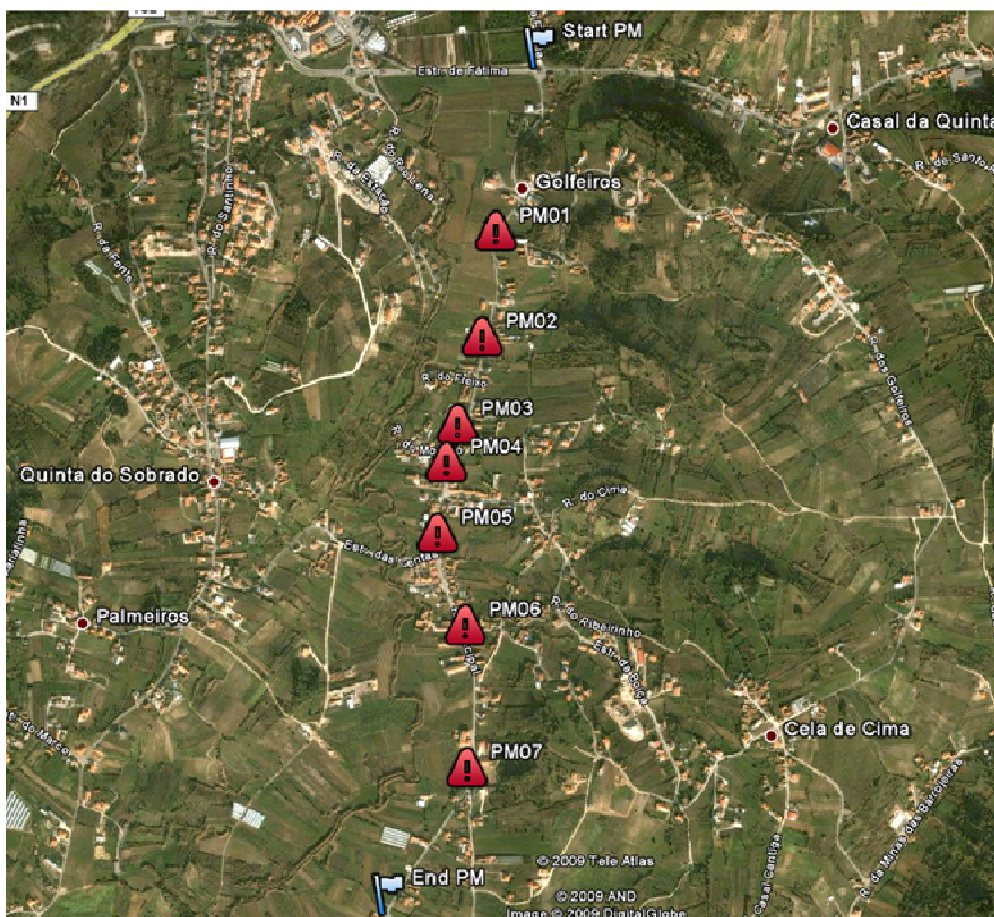


Figura 4.13 – Trecho da N362-Porto de Mós utilizado nas secções de recolha de dados (Fonte: Google Earth)

O Quadro 4.1 apresenta uma síntese das características geométricas prevaletentes das lombas integradas no presente estudo, segundo a nomenclatura exposta na Figura 4.14, entre as quais a existência ou não de passeio à direita da via de acordo com o sentido de circulação. As distâncias de visibilidade, quer à entrada quer à saída, são igualmente facultadas.

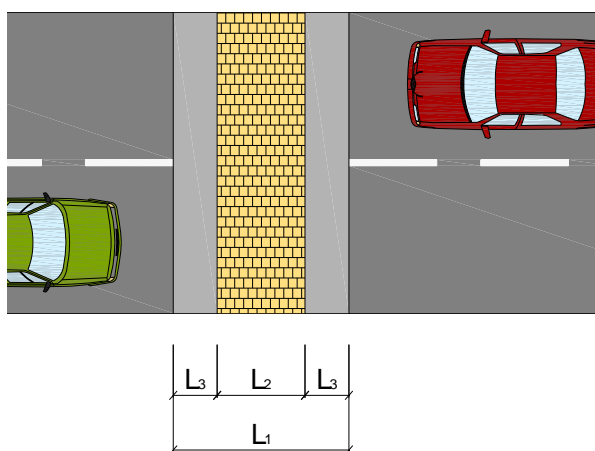


Figura 4.14 – Nomenclatura adoptada nas passagens de peões elevadas

Quadro 4.1 – Características prevaletentes das lombas

Local	Nº	Dimensões da Lomba (m)				Existência de Passeio (à direita)	Visibilidade (m)		
		Rampas (L3)	Zona plana (L2)	Total (L1)	Altura		Largura da Faixa de rodagem	Entrada	Saída
Casal do Barril	1a		Circular	4,6	0,075	5,7	não	130	280
	1b		Circular	4,6	0,075	5,7	não	280	130
	2a		Circular	4,2	0,080	7,4	não	280	120
	2b		Circular	4,2	0,080	7,4	não	120	280
	3a		Circular	4,6	0,075	6,0	não	170	260
	3b		Circular	4,6	0,075	6,0	não	260	170
	4a		Circular	4,3	0,075	5,9	não	140	210
	4b		Circular	4,3	0,075	5,9	não	210	140
N110	1a	1	4,0	6,0	0,060	7,5	sim	200	220
	1b	1	4,0	6,0	0,060	7,5	sim	220	200
	2a	1	4,7	6,7	0,060	6,0	sim	280	110
	2b	1	4,7	6,7	0,060	6,0	sim	110	280
	3a	1	4,0	6,0	0,050	5,9	sim	200	140
	3b	1	4,0	6,0	0,050	5,9	sim	140	200
	4a	1	3,7	5,7	0,065	5,5	sim	100	140
	4b	1	3,7	5,7	0,065	5,5	sim	140	100
	5a	1	9,4	11,4	0,070	6,2	sim	80	120
	5b	1	9,4	11,4	0,070	6,2	sim	120	80
	6a	1	5,6	7,6	0,060	6,0	sim	100	100
	6b	1	5,6	7,6	0,060	6,0	sim	100	100
Porto de Mós	1a	1	4,4	6,4	0,065	6,8	não	60	120
	1b	1	4,4	6,4	0,065	6,8	sim	120	60
	2a	1	5,1	7,1	0,065	6,6	não	170	190
	2b	1	5,1	7,1	0,065	6,6	sim	190	170
	3a	1	5,1	7,1	0,085	7,3	não	80	100
	3b	1	5,1	7,1	0,085	7,3	sim	100	80
	4a	1	4,9	6,9	0,075	6,9	não	100	120
	4b	1	4,9	6,9	0,075	6,9	sim	120	100
	5a	1	5,1	7,1	0,085	7,1	não	100	250
	5b	1	5,1	7,1	0,085	7,1	sim	250	100
	6a	1	5,1	7,1	0,095	6,4	não	260	90
	6b	1	5,1	7,1	0,095	6,4	sim	90	260
	7a	1	5,1	7,1	0,075	6,3	não	50	380
	7b	1	5,1	7,1	0,075	6,3	sim	380	50

4.4.2 Condutores Seleccionados

Foi considerada uma amostra de 18 condutores. O grupo era maioritariamente constituído por condutores masculinos integrando, no entanto, também cinco condutoras. Todos tinham pelo menos dois anos de experiência de condução, conduziam um mínimo de 10 000 km anuais e tinham idades compreendidas entre os 24 e os 29 anos. Estes critérios centraram-se na definição de uma amostra razoavelmente homogénea de condutores, procurando reduzir ao mínimo um nível de variabilidade dos dados que era impossível caracterizar em profundidade, já que a tentativa de representação da população portuguesa se revelava, do ponto de vista humano, financeiro e temporal, impraticável. Os critérios utilizados na formação da amostra de condutores são similares aos utilizados em outros estudos comportamentais de natureza similar (Bastos Silva, 2004).

4.5 Metodologia Adoptada na Recolha de Dados

Previamente às sessões de recolha de dados todos os condutores tiveram oportunidade de conduzir livremente o veículo instrumentado durante um período que cada um deles considerou suficiente para estar completamente familiarizado com os comandos e as características de operação deste. Complementarmente, em cada um dos locais de teste os condutores fizeram ainda pelo menos duas voltas completas com todos os sistemas de recolha em funcionamento de forma a se inteirarem de todo o percurso bem como dos locais de inversão de marcha e troca de condutores. Todos estes dados foram rejeitados da amostra o pelo que os dados adoptados no estudo podem ser considerados como correspondentes a utilizadores habituais e conhecedores das características das estradas e das medidas de acalmia.



Figura 4.15 – Exemplos de passagens do veículo instrumentado numa lomba

Cada sessão envolveu simultaneamente dois condutores, sendo que cada um deles conduziu o veículo no máximo durante meia hora, de modo a evitar fenómenos de fadiga. No final desse período havia troca de condutores e eram gravados os ficheiros de dados e de imagem correspondentes a cada sessão, permitindo que o tamanho dos ficheiros se mantivesse pequeno facilitando o tratamento posterior e minimizando o risco de perda de dados. Este procedimento foi repetido até que cada um dos condutores fizesse entre 16 a 18 passagens em cada circuito.

No final de cada secção os dados recolhidos foram transferidos para um computador. Essa transferência foi efectuada através do cartão SD no caso das variáveis dinâmicas e de um disco externo no caso das imagens vídeo.

Todas as secções de recolha de dados foram efectuadas durante o dia, e sob condições climatéricas favoráveis, do modo a não incorporar outros efeitos na análise. No global, o

veículo instrumentado percorreu cerca de 5500 km em recolhas de dados, correspondentes a cerca de 170 horas de condução repartidas por 30 dias de trabalhos que decorreram ao longo de cerca de sete meses²⁸ de trabalho de campo. Este período alargado não foi condicionado pelo equipamento de recolha utilizado mas sim pelas disponibilidades de todos os intervenientes e das condições atmosféricas.

4.6 Transformação e Validação de Base dos Dados

Depois de efectuada a recolha de dados, de acordo com o exposto no ponto anterior, foi necessário proceder à organização dos dados num formato apropriado à sua análise estatística viabilizando, deste modo, a prossecução das fases seguintes do trabalho nomeadamente a análise do comportamento do condutor face ao ambiente rodoviário. Deste modo, foi desenvolvida uma metodologia para organização dos ficheiros de origem coligidos pelos sistemas de recolha de dados (variáveis dinâmicas e imagem) que envolve o recurso a diversos programas informáticos e o desenvolvimento de diversas macros em linguagem “*Visual Basic for Applications*” (VBA) a funcionar em ambiente Excel 2007. Tendo em conta o grande volume de dados recolhidos, as macros desenvolvidas foram essenciais na obtenção e tratamento base dos dados e também na conversão dos ficheiros de forma a compatibilizar estes com as diferentes aplicações informáticas utilizadas. Os principais programas utilizados foram o *MaxQData Chart*, *MaxQData Flight*, *MaxQData Setup*, *Microsoft Excel 2007*, *Comprehensive Modal Emissions Model* (CMEM) e *Trackvision*.

O *MaxQData Chart* bem como o *MaxQData Flight* e *MaxQData Setup* fazem parte do conjunto de programas necessários à parametrização, recolha de dados e visionamento dos dados recolhidos pelo sistema *MaxQData*. O CMEM foi já apresentado no ponto 3.5.2, tratando-se de um *software* que permite a estimação das emissões instantâneas de veículos com base nas suas características e tipo de condução praticada. Finalmente o programa *Trackvision* (Trackvision, 2006), utilizado maioritariamente por entusiastas do desporto automóvel possibilita a sobreposição das imagens recolhidas com os dados registados através de *dataloggers*. Foi assim possível visualizar as imagens conjuntamente com os dados considerados relevantes num mostrador virtual permitindo uma análise integrada. Este *software* constitui, aplicado à investigação em curso, uma forma de “armazenar” e analisar cómoda e eficientemente os dados recolhidos.

²⁸ Este período foi também dilatado pelo facto do veículo ter tido, no decurso deste período, uma avaria que, embora simples, levou algum tempo a diagnosticar e resolver.

A Figura 4.16 apresenta a sequência de operações envolvidas no processo de tratamento dos dados em forma de fluxograma. Os pontos seguintes são dedicados a uma apresentação dos diversos procedimentos e, em particular, das funcionalidades das macros VBA desenvolvidas. A ordem seguida reflecte a sequência de operações e procedimentos adoptados tendo o código da programação desenvolvida, sido colocado no ponto 2 do anexo.

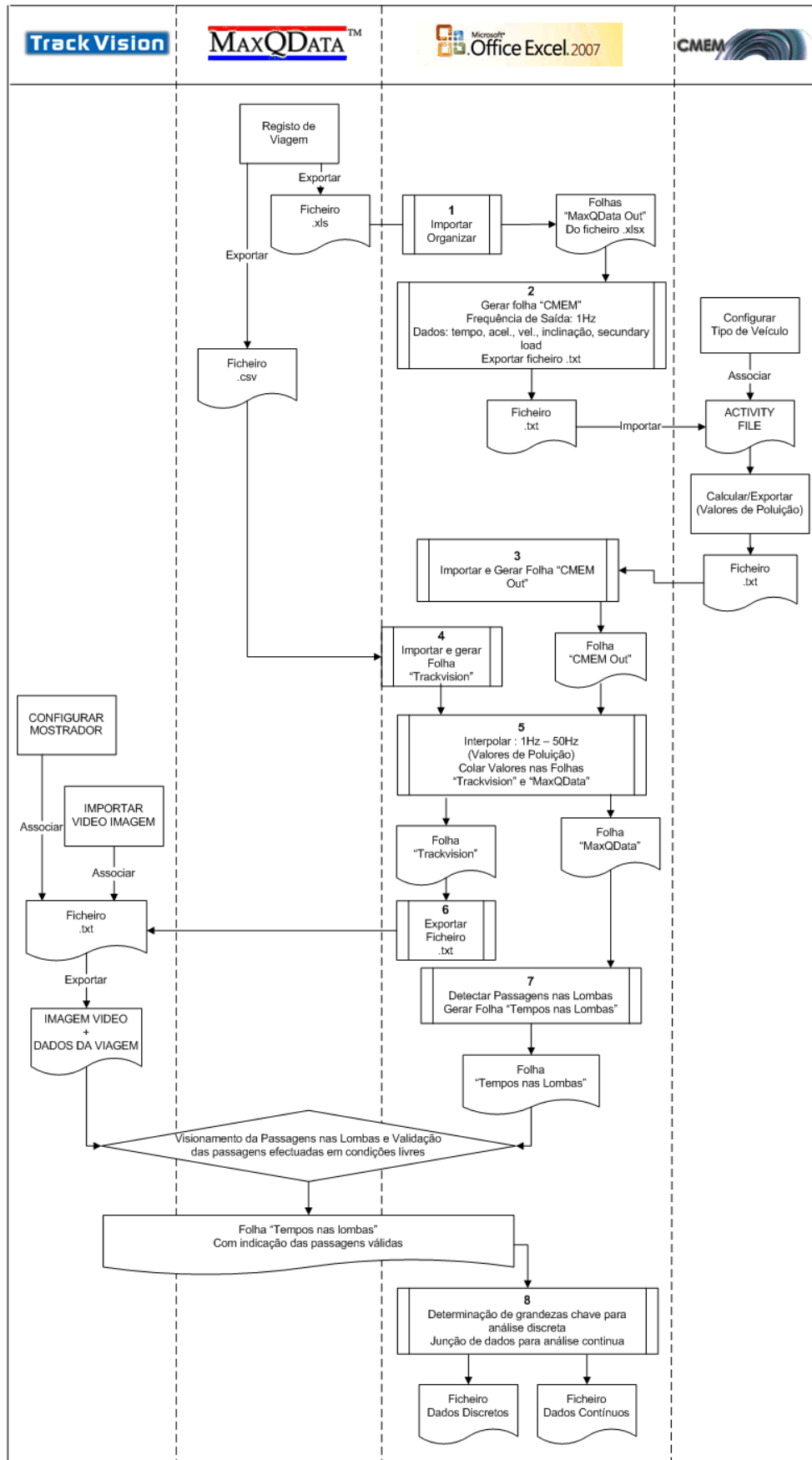


Figura 4.16 – Fluxograma relativo ao tratamento da base de dados

4.6.1 Transformação dos Ficheiros de Origem

Os ficheiros relativos às variáveis dinâmicas, coligidos no decurso das secções de recolha de dados, foram gravados pelo *software MaxQdata Flight* em formato *mqd*. Este formato possibilitou a sua abertura por um outro *software* do sistema, *MaxQData Chart*, permitindo uma visualização rápida de todas as variáveis recolhidas juntamente com um gráfico indicativo do percurso percorrido pelo veículo. A Figura 4.17 apresenta um exemplo de duas passagens em lombas no circuito designado de “Casal do Barril”. Nessa figura é possível observar na zona inferior, a cor-de-rosa, a velocidade, sendo notória a sua redução na zona das lombas. Na zona central e a magenta está a variação da aceleração vertical, podendo-se observar que este valor oscila em torno de 1 g com excepção de duas variações mais acentuadas referentes à passagem pelas lombas. É notória a correspondência entre a variação da velocidade e a zona onde ocorre a variação brusca da aceleração vertical. A linha vermelha representa o trajecto percorrido pelo veículo sendo a cruz a posição deste. Este *software* foi frequentemente utilizado ao longo do estudo essencialmente pela sua facilidade em permitir a visualização de um conjunto de variáveis num determinado episódio de condução. Outra das funções importantes do *MaxQData Chart* é a sua capacidade de exportar ficheiros para formatos compatíveis com outros programas. Foi assim possível exportar a partir deste ficheiros em formato *xls* (Excel 2003) e *csv*²⁹ permitindo então o tratamento dos dados em outras plataformas.

A primeira das macros VBA desenvolvidas (assinalada com o número 1 no fluxograma da Figura 4.16) tinha como tarefa a importação e rearranjo da informação para uma fácil visualização em Excel 2007. Esta informação foi colocada em folhas denominadas “maxQData Out”. O rearranjo da informação tornou-se necessário dado que por limitações inerentes ao Excel 2003, este tem um número máximo de linhas de 65536 (Korol, 2006) e para contornar esse facto o *MaxQData Chart* dispõe a informação até chegar às 16000 linhas. Depois desse valor deixa uma coluna em branco e continua ao lado repetindo o procedimento sempre que necessário. Dado que no Excel 2007 o número máximo de linhas é de 1.048.576 (Walkenbach, 2007), mas sobretudo para facilitar o desenvolvimento das próximas macros VBA, a primeira tarefa centrou-se na colocação de todos os registos de forma sequencial.

²⁹ Acrónimo anglo saxónico de *Comma Separated Variables*.

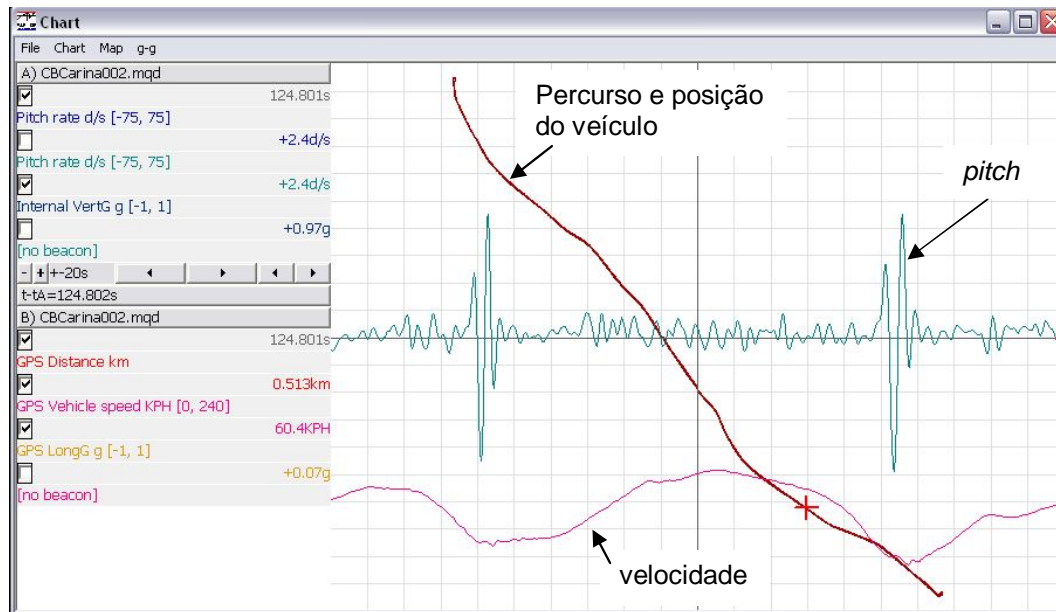


Figura 4.17 – Exemplo da visualização de duas passagens em lombas no programa *MaxQData Chart*

4.6.2 Cálculo dos Valores de Poluição

Conforme exposto anteriormente a estimação dos valores referentes à geração de emissões poluentes baseou-se no programa CMEM já apresentado no ponto 3.5.2. Este permite o cálculo dos valores de CO_2 , CO, HC, NO_x e combustível gasto em cada segundo de operação do veículo. Este cálculo é feito a partir de dois conjuntos de factores (Barth et al., 2000). O primeiro integra a informação que se manteve constante em todos os cálculos efectuados referente às características mecânicas principais do veículo utilizado. O segundo refere-se ao ficheiro de actividade (*Activity File* nos termos do programa) que integra as variáveis dinâmicas da viagem a calcular. Esta informação é a velocidade e a aceleração longitudinal em cada segundo a qual é organizada em colunas sendo que cada linha correspondente a um segundo. O ficheiro de actividade integra ainda campos com informações complementares tais como a existência de uma carga adicional no motor (como por exemplo, a activação do ar condicionado) ou a inclinação longitudinal da via (Figura 4.18). Estes campos não foram considerados no âmbito do presente estudo, uma vez que se pretendia estimar todos os consumos e correspondentes valores de emissões poluentes sem o efeito adicional do ar condicionado. Também a inclinação longitudinal da via, na zona das lombas, era sempre bastante baixa dado que este tinha sido um dos critérios de selecção das mesmas.

The screenshot shows the CME Model 3.01 Beta software interface. The title bar reads 'CME Model 3.01 Beta'. The menu bar includes 'File' and 'Data'. The main window title is 'CMEM COMPREHENSIVE MODAL EMISSIONS MODEL'. Below the title, there are tabs for 'Activity', 'LD Vehicle', 'HDD Vehicle', 'Fleet', and 'Group'. The 'Activity' tab is selected, and a dropdown menu shows 'CMEM.txt'. Below this, there is a table with the following columns: 'Time (second)', 'Velocity (mph)', 'Acceleration...', 'Grade (deg)', 'Sload', and 'column'. The table contains 13 rows of data. At the bottom of the window, it says 'Row Count: 1925'.

Time (second)	Velocity (mph)	Acceleration...	Grade (deg)	Sload	column
602	42.98114777	-0.141606047			0
603	41.61255264	-0.124908915			0
604	39.54116058	-0.269191307			0
605	37.12456512	-0.222934674			0
606	33.94091415	-0.371970536			0
607	30.59122276	-0.273345625			0
608	27.67988968	-0.311892763			0
609	24.00127983	-0.438399635			0
610	18.61845016	-0.556318006			0
611	12.73348808	-0.610723544			0
612	6.754305363	-0.553322241			0
613	2.93873024	-0.338456456			0

Figura 4.18 – Exemplo de um ficheiro de actividade no programa CMEM

Para a parametrização do tipo de veículo foi necessário configurar um conjunto de factores, tendo sido inseridos valores que correspondem a um veículo ligeiro com caixa de velocidades manual de cinco relações, movido a gasolina com um catalisador de três vias e uma relação peso/potência similar ao veículo médio do parque automóvel nacional. Deve referir-se que o programa não permite a modelação de veículos a gásóleo ou outros combustíveis. Assim foram adoptados os valores da cilindrada, potência e massa de 1,6 l, 67,7 kW e 1300 kg, respectivamente. Deve ser mencionado que, dado que os valores calculados pelo programa CMEM se destinam a análises comparativas entre estilos de condução e características geométricas e de enquadramento de um dispositivo da infra-estrutura rodoviária, os valores em termos absolutos não são, no caso deste estudo, particularmente importantes. No entanto de modo a assegurar a verosimilhança dos valores calculados com a realidade foram adoptados parâmetros médios do parque automóvel nacional.

Deste modo, a macro 2 foi desenvolvida com o objectivo de, a partir das folhas “MaxQData Out”, gerar as folhas denominadas “CMEM” e exportar um ficheiro em formato *txt* de modo a que este possa ser utilizado como *Activity File* pelo programa CMEM. Para tal a macro teve de inicialmente transformar as variáveis velocidade e aceleração longitudinal de uma frequência de 50 Hz para os 1 Hz requerido pelo programa CMEM e converter a velocidade e aceleração para as unidades requeridas pelo CMEM, milhas/hora e milhas/hora/segundo, respectivamente. Após esta operação foi gerado um ficheiro de formato *txt* (*activity file*) com cinco colunas: tempo, velocidade, aceleração longitudinal, inclinação longitudinal da via e

carga secundária no motor do veículo. Este ficheiro de dados associado à parametrização do tipo de veículo permitiu finalmente gerar os valores de CO₂, CO, HC, NO_x e combustível gasto em cada segundo de operação do veículo para cada uma das viagens em particular. Estes valores foram posteriormente agregados num ficheiro de resultados em formato *txt*. A análise posterior destes dados centra-se no valor de CO₂ dado que este poluente é igualmente um bom indicador do consumo de combustível (Sportisse, 2009). Por outro lado, conforme abordado no capítulo 3, o efeito conjunto do avanço tecnológico e das restrições à emissão de poluentes impostas pelas sucessivas normas Euro, têm levado a que os valores dos outros poluentes, tais como o CO e o NO_x, tenham diminuído de forma assinalável perspectivando-se que esta tendência se mantenha.

A macro **3** tem como tarefa a importação para Excel do ficheiro de dados de poluição gerado pelo programa CMEM sendo este colocado numa folha denominada “CMEM Out”.

4.6.3 Geração de Imagens com Informação sobre Dados de Condução

A macro **4** respondeu a uma tarefa semelhante à anterior tendo sido responsável por importar para o ficheiro Excel, o ficheiro formato *csv* criado pelo “MaxQData Chart” e colocá-lo numa folha designada de “Trackvision”.

A macro seguinte, a **5**, teve como objectivo extrapolar os valores da poluição de 1 Hz para 50 Hz e colar estes nas folhas “Trackvision” e “MaxQData Out”. Deste modo tornou possível o visionamento das imagens recolhidas pelo sistema de gravação vídeo com sobreposição de toda a informação dinâmica recolhida, inclusivé os dados relativos à poluição instantânea estimada pelo programa CMEM. Por outro lado, potenciou o tratamento de toda a informação dinâmica recolhida conjuntamente com a informação referente à poluição.

A macro **6**, a partir da folha “Trackvision”, gera um ficheiro formato *csv* o qual é importado pelo programa *Trackvision*. Este, por sua vez, após a importação do ficheiro referente às imagens captadas no decurso da secção de condução faz a junção e sincronização de toda a informação, resultando daí um ficheiro de imagens vídeo com informação numérica num mostrador previamente configurado conforme se pode observar na Figura 4.19.



Figura 4.19 – Exemplo da junção entre imagens vídeo e dados recolhidos e calculados

4.6.4 Detecção e Validação das Passagens em Lombas

A macro 7 teve a função de, a partir dos dados da folha “MaxQData-Out”, detectar os tempos de passagem na aproximação, transposição e saída de cada uma das lombas percorridas em cada um dos trechos percorridos pelos condutores. Essa determinação foi efectuada recorrendo a um algoritmo especificamente desenvolvido para o efeito, que se baseou, em primeiro lugar, no efeito de alteração significativa dos valores do *Pitch* (ver 4.3.2) sempre que o veículo transpunha uma lomba (Figura 4.5). Deste modo a macro assinalou, numa primeira fase, todos os eventos correspondentes a uma variação do valor de *Pitch* superior a 15 grau/s, em módulo. Este valor foi determinado após uma extensiva análise dos dados como sendo um valor que seguramente indica que o veículo transpôs uma irregularidade no pavimento tendo esta provocado uma variação angular significativa em torno de um eixo imaginário pertencente a um plano paralelo ao eixo da estrada e perpendicular à direcção do movimento do veículo (Figura 4.1). Elencado, desta forma, um primeiro conjunto de “possíveis lombas”, a segunda parte da verificação consistiu em comparar as coordenadas do veículo, nos momentos assinalados, com as coordenadas conhecidas das diversas lombas do circuito em análise e que foram previamente inseridas numa folha do ficheiro Excel. Se estas fossem coincidentes ou estivessem dentro de uma tolerância estabelecida de 20 m então a macro assumia que tinha “encontrado” uma lomba (e não uma irregularidade no pavimento) sendo registados numa nova folha do ficheiro Excel, designada de “Tempos das lombas” os valores dos tempos de passagem na lomba bem como na aproximação e saída desta (Quadro 4.1 onde os sentidos assinalados estão de acordo com a nomenclatura exposta em 4.4.1.). A tolerância

de 20 m foi utilizada tendo em conta a provável existência de erros de determinação das coordenadas das lombas e do veículo e também pelo facto das lombas serem percorridas nos dois sentidos logo fazendo com que as coordenadas de entrada em cada um dos sentidos sejam ligeiramente diferentes (uma das lombas analisadas tem um comprimento de 11,4 m). É de salientar que os eventuais erros de posição do GPS não se revertem em perda de qualidade dos dados dado que as distâncias relativamente à lomba em cada passagem são determinadas posteriormente de forma contínua tendo por base as coordenadas obtidas pela macro 7 para essa mesma passagem. A determinação do sentido de circulação, essencial para distinguir as lombas “a” das “b” (ponto 4.4.1), foi efectuada a partir da análise da sequência de lombas “validadas”. Dado que nas proximidades das lombas analisadas não existiam irregularidades no pavimento esta metodologia revelou-se, em simultâneo, extremamente útil e robusta, resultando num ganho de tempo considerável para esta fase de tratamento base dos dados.

As colunas “x antes” e “x depois” constantes do Quadro 4.1 foram fixadas na sequência de exaustivos visionamentos dos perfis de velocidade de cada lomba e têm como objectivo fixar um intervalo seguro no qual as velocidades quer, à aproximação da medida de acalmia de tráfego quer, no afastamento desta, revelam alguma estabilização. Deste modo, procurou-se um compromisso, sempre do lado da segurança, entre a necessidade de limitar o comprimento do trecho antes e após a lomba garantindo o rigor das análises posteriores. Em termos práticos e do ponto de vista do condutor estas distâncias estão relacionadas com um alargado conjunto de factores relacionados com o enquadramento rodoviário nos quais o traçado em planta da via e as condições de visibilidade deverão, à partida, assumir um papel preponderante.

Ainda no Quadro 4.1 a última coluna à direita, designada de “Validade” e preenchida com valores 0 e 1, refere-se às condições de circulação de cada passagem. Assim se a passagem na lomba foi efectuada em regime livre de circulação, atribuiu-se o valor de 1 caso contrário o valor 0. Estes valores resultaram de um trabalho, extremamente importante mas igualmente bastante laborioso e demorado de visionamento das imagens de vídeo recolhidas relativas a todas as passagens efectuadas. Foram assim rejeitadas as passagens em que o condutor não dispôs de condições para seleccionar livremente a sua velocidade e consequentemente optar por um comportamento não condicionado. Maioritariamente estas situações decorriam do facto de o condutor seguir um outro veículo que lhe condicionava a sua liberdade de selecção de velocidade embora tenham sido registadas situações de estacionamentos/paragens nas imediações da lomba ou saídas bruscas de acessos laterais impondo alterações quer à trajectória quer à velocidade adoptadas. Um exemplo deste tipo de situações está representado na Figura 4.20, onde um dos cinco perfis de velocidade (em ordenadas) - a representada a

verde, correspondente ao tempo de 796,965 s - relativos a passagens sucessivas numa mesma lomba (situada no zero em termos de abcissas) teve a sua velocidade condicionada na transposição da lomba pela presença de um veículo lento (informação retirada das imagens vídeo) tendo, por conseguinte, sido rejeitada da amostra. À saída esta passagem tem um comportamento perfeitamente similar às restantes. É também curioso observar, na Figura 4.20, as passagens de caixa de velocidades em fase de aceleração, após a transposição da lomba de segunda para terceira e de terceira para quarta cerca de 80 e 170 m após a lomba, respectivamente. Importa ainda sublinhar que este condutor apresentou um comportamento extremamente consistente, em termos de velocidade, nas várias passagens pelo que a simples observação do perfil de velocidades denunciou o condicionamento da trajetória. Contudo e face a graus de inconsistência mais acentuados, característicos de alguns dos condutores envolvidos, a visualização das imagens revelou-se mesmo indispensável à identificação das condições de circulação. Esta visualização de imagens, apesar de algo facilitada uma vez que as macros anteriores ao determinarem os tempos de passagem agilizavam o processo de busca, revelou-se bastante exigente em termos de tempo dispendido para o seu tratamento. Em termos gerais, um dia de recolha de dados no qual, em média, dois condutores percorriam um dos três circuitos utilizados, necessitou de cerca de 15 a 20 horas para esta tarefa. Refira-se que, o número de passagens em lombas para dois condutores varia entre cerca de 140 no Circuito do Casal do Barril e 250 no Circuito de Porto de Mós.

Quadro 4.2 – Excerto de uma folha de tempos nas lombas referente ao circuito de Casal do Barril

Nº Lomba	Tempo antes (s)	Tempo na lomba (s)	Tempo depois (s)	x antes (m)	x depois (m)	Sentido	Validade
1	111,733	116,113	129,815	130	200	a	0
2	128,375	135,615	150,101	110	210	a	1
3	158,903	165,125	178,849	90	210	a	1
4	178,509	184,909	199,555	120	210	a	1
4	292,919	299,075	312,76	120	210	b	1
3	313,34	319,161	336,968	90	210	b	0
2	347,792	354,852	368,434	110	210	b	1
1	369,534	373,634	388,002	130	200	b	1
1	465,858	470,22	482,687	130	200	a	1
2	481,387	488,069	502,395	110	210	a	1
3	510,159	515,279	527,803	90	210	a	1
4	527,383	533,154	546,172	120	210	a	1

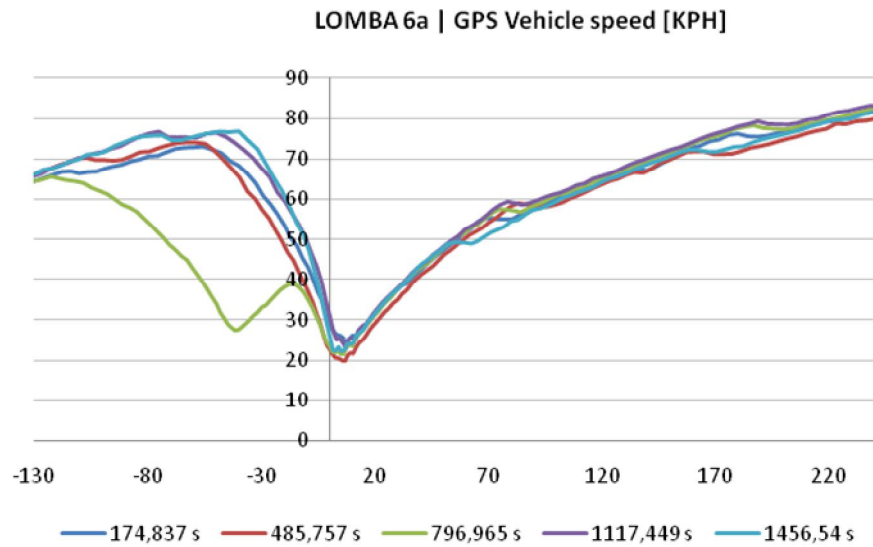


Figura 4.20 – Exemplo de perfis de velocidade de passagem numa lombas

4.6.5 Obtenção da Base de Dados de Variáveis Discretas

A macro 8 foi desenvolvida com o objectivo de, novamente a partir da folha “MaxQData-Out”, numa primeira fase retirar das passagens nas lombas determinadas pela macro 7 e validadas pelo visionamento das imagens vídeo, algumas grandezas discretas referentes a variáveis comportamentais. Numa segunda fase a macro isolou e colocou numa outra folha do Excel os dados, de forma contínua, correspondentes às diferentes passagens válidas entre as distâncias “x antes” e “x depois” anteriormente mencionadas. Ao mesmo ficheiro foi associada a informação correspondente ao condutor e à lombas em questão (características geométricas relevantes indicadas no Quadro 4.1). Os condutores foram referenciados utilizando a notação C_i sendo que o i vai de 1 até 18. No que concerne às lombas a notação adoptada recorre à terminologia L_{ijz} sendo que, neste caso, o i representa o número da lombas em cada um dos três circuitos, o j o sentido em que esta é percorrida e o z o correspondente ao circuito, tendo para esse efeito, sido adoptadas as abreviaturas CB, PM e 110 respectivamente para Casal do Barril, Porto de Mós e Nacional 110, (tal como no ponto 4.4.1). Assim a “L4aCB” refere-se à lombas “4” percorrida no sentido “a” no circuito de Casal do Barril.

As variáveis discretas adoptadas foram as seguintes:

1 – CARACTERIZAÇÃO DA GEOMETRIA

- **Sent**, Comprimento de análise considerado antes da lombas ou seja secção;
- **Ssai**, Igual ao anterior mas referente à secção após a transposição lombas (**S**ecção de **s**aída);

- **Dist**, Comprimento medido entre qualquer ponto da trajectória do veículo e a lomba. Considerou que esta variável seria positiva para pontos após a lomba e negativa caso contrário. Tem assim um comportamento similar ao tradicional eixo horizontal do “x”;
- **Dabr**, Distância de **abrandamento** corresponde ao comprimento medido entre o ponto onde se verifica a velocidade máxima (**Vmax**) e a lomba. Ou seja, é a distância que separa a lomba do ponto onde à partida o condutor altera a sua velocidade;
- **T**, Tipo de lomba. Neste caso existem apenas dois tipos considerados que são as lombas trapezoidais existentes nos circuitos de Porto de Mós e N110 e lombas do tipo circular existentes no circuito de Casal do Baril (Quadro 4.1). Tendo em conta que se trata de uma variável binária foi assumido o valor “zero” para o circuito do Casal do Barril e “um” para os restantes;
- **h**, Altura da Lomba. Trata-se da altura máxima da lomba medida relativamente à superfície da faixa de rodagem. Esta grandeza foi determinada recorrendo a métodos topográficos;
- **lt**, Comprimento total da lomba. Inclui, por conseguinte, no caso de lombas trapezoidais as rampas de entrada e saída bem como a parte plana central;
- **Re**, Rampa de entrada. Comprimento da rampa de entrada na lomba;
- **Rs**, Rampa de saída. Idêntico ao anterior mas, neste caso, na saída;
- **lfr**, Largura da faixa de rodagem. Esta largura foi medida na zona de implantação da lomba;
- **P**, Passeio. Trata-se de uma variável binária que representa a existência ou não de passeio do lado direito da faixa de rodagem, de acordo com o sentido de circulação do veículo instrumentado. O valor “zero” indica a inexistência de passeio e o valor “um” a sua existência;

2 – VARIÁVEIS CINEMÁTICAS

- **Vmax**, Velocidade **máxima** na entrada. Trata-se da velocidade máxima entre a secção de entrada (sb) e a lomba;
- **V-75**, Velocidade a **75 m** da lomba³⁰;
- **V-50**, Velocidade a **50 m** da lomba;
- **V-25**, Velocidade a **25m** da lomba;
- **VI**, Velocidade do veículo no momento em que aborda a lomba;

³⁰ A secção considerada na lomba foi a entrada nesta de acordo com a metodologia de detecção de lombas exposta no ponto 4.6.4.

- **V25**, Velocidade **25** m depois de transpor a lomba;
- **V50**, Velocidade **50** m depois de transpor a lomba;
- **V75**, Velocidade **75** m depois de transpor a lomba;
- **V100**, Velocidade **100** m depois de transpor a lomba;
- **V125**, Velocidade **125** m depois de transpor a lomba;
- **V150**, Velocidade **150** m depois de transpor a lomba;
- **V-75VIV150**, Soma das variáveis **V-75**, **V1** e **V150**;
- **Avmax**, Aceleração vertical **máxima**. Valor máximo, em módulo, da aceleração vertical registada na passagem da lomba menos a aceleração da gravidade;
- **Ahent**, Aceleração horizontal média nos últimos 25 m anteriores à **entrada** na lomba. Variável calculada a partir das velocidades **V-25** e **V1** registadas na travagem de abordagem da lomba. Mais uma vez, dado que estamos em presença de uma desaceleração, o valor será sempre negativo;
- **Ahsai**, Aceleração horizontal média nos 50 m subsequentes à saída da lomba. Variável calculada a partir das velocidades **V1** e **V50**;
- **AhentAhsai**, Soma, em módulo, das variáveis **Ahent** e **Ahsai**;
- **Pitch**, Valor máximo, em módulo, do **Pitch** (ponto 4.3.2) na entrada da lomba.

3 – EMISSÕES POLUENTES

- **CO2ent**, Valor total de CO₂ emitido nos 75 m anteriores à abordagem da lomba. Dado que o CMEM calcula as emissões segundo a segundo este valor resultou da integração do valor de CO₂ entre o tempo de passagem a 75 m da lomba e o tempo de chegada a esta;
- **CO2sai**, Valor total de CO₂ emitido nos 150 m posteriores à passagem pela lomba. Aplicam-se as mesmas considerações tecidas para a variável anterior;
- **CO2tot**, Valor total de CO₂ emitido correspondendo à soma das duas variáveis anteriores.

Em termos de unidades foi sempre adoptado o metro para as variáveis dimensionais, metros por segundo para as velocidades, metros por segundo ao quadrado para as acelerações, graus por segundo para o **Pitch** e gramas para o CO₂. A Figura 4.21 contém uma representação esquemática que facilita a exposição do significado e localização relativa dos pontos de obtenção de algumas das variáveis anteriormente apresentadas.

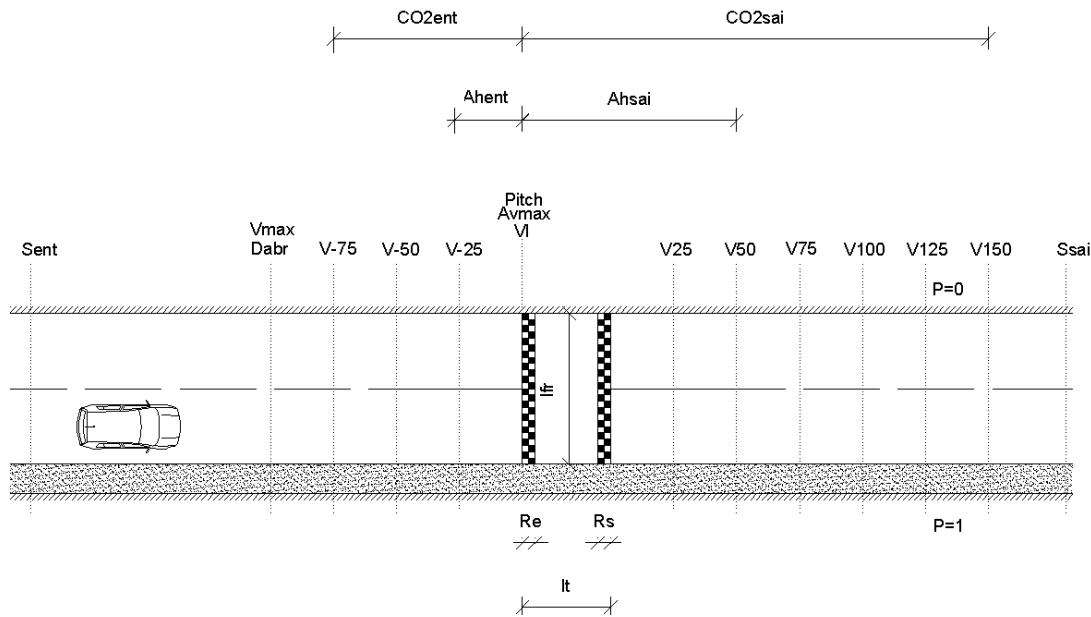


Figura 4.21 – Representação esquemática das variáveis discretas utilizadas

Foi assim obtida uma base de dados em formato compatível para a sua importação por ferramentas de análise estatística. No caso concreto deste trabalho essa análise estatística foi levada a cabo recorrendo ao *software SPSS “Statistical Package for the Social Sciences”* e também ao *“STATISTICA”* os quais são habitualmente utilizados neste tipo de análises (Hill e Lewicki, 2006; Mendenhall e Sincich, 2006; Pestana e Gageiro, 2008; Nisbet et al., 2009).

4.6.6 Obtenção da Base de Dados de Variáveis Contínuas

A macro 8, numa segunda fase, permitiu agrupar, num novo ficheiro Excel 2007, os dados referentes à velocidade entre os pontos de entrada e saída (**Sent** e **Ssai**) da zona de influência das lombas em análise. Esta operação teve como objectivo permitir a posterior modelação desta informação e o desenvolvimento de um modelo que pudesse prever, em função das características prevalentes da lomba, a velocidade quer no trecho de aproximação a esta quer à saída. De forma a ter os tempos e as distâncias de todas as passagens numa escala comparável estas duas variáveis foram sujeitas a uma alteração de referencial fazendo com que o tempo de “entrada” na lomba fosse igual a zero tendo a mesma notação sido adoptada para as distâncias. Assim o trecho de aproximação apresenta sempre valores negativos para estas grandezas e a zona posterior à transposição da lomba valores positivos.

Face ao volume de dados coligidos e de forma a manter os ficheiros com dimensão “manuseável” a frequência de registo das velocidades foi reduzida para 5 Hz. Mesmo recorrendo a esta estratégia o ficheiro de dados contínuos resultou num total de 794.071 linhas e 111 MB.

O Quadro 4.3 contem um pequeno excerto deste ficheiro sendo, neste caso visível, a redução de velocidade na aproximação à lombas e aceleração à saída desta. As características físicas principais são igualmente indicadas com excepção do comprimento das rampas de entrada e saída dado que assumem sempre o valor de 1 m no caso de lombas trapezoidais e de zero no caso das lombas circulares do Casal do Barril.

Quadro 4.3 – Excerto do ficheiro de dados contínuos ilustrando a aproximação e saída de uma lombas

Condutor	Lomba	Tempo (s) (normalizado)	Distância da lomba (km) (normalizada)	GPS Vehicle speed (km/h)	Características Físicas da Lomba (m)				
					Tipo	Altura	Comprimento total	Largura FR	Passo
					time	dist	V	T	h
1	L1aCB	-2,538	-0,0341	56,526	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-2,338	-0,0310	55,924	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-2,138	-0,0279	54,657	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-1,938	-0,0250	53,379	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-1,738	-0,0221	52,009	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-1,538	-0,0193	50,641	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-1,338	-0,0165	49,223	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-1,138	-0,0138	48,110	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-0,938	-0,0112	47,073	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-0,738	-0,0087	45,901	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-0,538	-0,0062	44,559	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-0,338	-0,0038	43,030	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	-0,138	-0,0015	41,098	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	0,062	0,0007	39,359	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	0,262	0,0028	38,297	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	0,462	0,0049	38,035	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	0,662	0,0070	38,239	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	0,862	0,0092	38,360	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	1,062	0,0112	37,283	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	1,262	0,0133	36,843	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	1,462	0,0154	37,579	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	1,662	0,0175	38,370	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	1,862	0,0197	39,527	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	2,062	0,0219	40,653	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	2,262	0,0243	41,796	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	2,462	0,0267	42,906	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	2,662	0,0291	44,137	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	2,862	0,0317	45,169	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	3,062	0,0342	46,222	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	3,262	0,0368	47,469	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	3,462	0,0395	48,772	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	3,662	0,0423	50,121	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	3,862	0,0452	51,247	0	0,075	4,6	5,65	0
1	L1aCB	4,062	0,0480	52,211	0	0,075	4,6	5,65	0

4.7 Caracterização dos Dados Recolhidos

4.7.1 Passagens Válidas por Tipo de Condutor

O desenvolvimento dos diversos passos descritos anteriormente resultou na validação de um total de 6234 passagens. No ponto 3.1 do anexo, encontra-se um quadro onde são segregadas as passagens válidas segregadas por condutor e por lombas.

Pelo facto da amostra de condutores incluir elementos masculinos e femininos (adiante designados de condutoras) optou-se por efectuar a caracterização da amostra também a esse nível. Foram atribuídos os códigos C1, C2, C7, C8 e C18 às condutoras, referindo-se os restantes aos condutores. Refira-se que a ordem atribuída corresponde à cronologia de realização das secções de recolha de dados. O Quadro 4.4 contém o número de passagens válidas em cada local, por sexo do condutor, podendo ser analisado no ponto 3.1 do anexo um quadro mais detalhado. Nele é possível ver que, o número de passagens válidas no Casal do Barril tem uma ordem de grandeza similar ao verificado na N110, apesar deste circuito dispor de um número de lombas superior. Este facto deve-se ao volume de tráfego elevado registado na N110 o qual obrigou à rejeição de um número elevado de passagens. O circuito de Porto de Mós, conforme esperado, registou um maior número de casos válidos.

No que se refere à repartição entre géneros, verifica-se que o número de passagens válidas efectuadas pelas condutoras é superior ao que seria expectável face à sua representatividade no grupo (5 condutoras e 13 condutores). Neste caso a justificação advém do facto de que nem todos os condutores, por razões logísticas e de agendamento, realizaram as sessões de recolha de dados no circuito de Porto de Mós.

Quadro 4.4 – Número de passagens válidas em cada local, por sexo do condutor

		Local de Teste			Total	
		Casal do Barril	Porto de Mós	N110	Número	Percentagem
Sexo do condutor	Homem	1263	1553	1408	4224	67,8
	Mulher	502	928	580	2010	32,2
Total		1765	2481	1988	6234	100,0

4.7.2 Características Geométricas das Lombas

4.7.2.1 Tipologia

No que concerne à tipologia da lomba foram incluídos na análise dois tipos. As lombas de perfil circular conhecidas por tipo *Watts* (Figura 2.7) e as lombas do tipo trapezoidal (Figura 2.8). As primeiras localizavam-se apenas no circuito de Casal do Barril tendo os restantes circuitos adoptado a tipologia trapezoidal.

Quadro 4.5 – Número de passagens válidas segundo a tipologia da lomba e local

		Tipo de Lomba		Total
		Circular	Trapezoidal	
Local de teste	Casal do Barril	1765	0	1765
	Porto de Mós	0	2481	2481
	N110	0	1988	1988
Total		1765	4469	6234
Percentagem		28,3	71,7	100

4.7.2.2 *Altura das Lombas*

De acordo com a informação anteriormente exposta a altura das lombas medida em relação à superfície do pavimento, varia entre um mínimo de 0,05 m e um máximo de 0,095 m resultando, assim, numa variação máxima de 0,045 m, entre as situações extremas. Verifica-se também que a média se situa em 0,072 m sendo a moda e mediana muito próximas desse valor com 0,075 m. Dadas as indicações da nota técnica da Direcção Geral de Viação (DGV, 2004), entretanto extinta, constata-se que, a amostra é perfeitamente consentânea com o estipulado no referido documento.

A distribuição das observações é assimétrica positiva ou enviesada à esquerda de acordo com o quociente obtido entre o valor de *skewness* e o seu erro padrão³¹. O quociente entre o valor de *kurtosis* e o seu erro padrão³², que assume o valor de -3,85, denota uma distribuição platicúrtica ou seja mais achatada que a curva normal.

No ponto 3.1 do anexo encontra-se um quadro detalhado que assinala o número de passagens válidas em função da altura da lombas e local bem como outra informação complementar de caracterização estatística relativamente a esta variável.

Quadro 4.6 – Caracterização da altura da lombas, para o número de passagens válidas

	Statistic	Std. Error
Mean	,07204	,000134
Mode	,075	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,07178
	Upper Bound	,07231
5% Trimmed Mean	,07198	
Median	,07500	
Variance	,000	
Std. Deviation	,010552	
Minimum	,050	
Maximum	,095	
Range	,045	
Interquartile Range	,010	
Skewness	,089	,031
Kurtosis	-,239	,062

4.7.2.3 *Comprimento da Lomba*

Em termos de comprimento, as lombas analisadas variam entre um mínimo de 4,4 e 11,4 m situando-se a média em 6,3 m e a moda em 4,6 m, sendo esta diferença de valores devida ao facto de existir na amostra, uma lombas (L5N110) que apresenta um comprimento claramente

³¹ Para um erro tipo I do analista ($p=0,05$) se o quociente em módulo do valor de *skewness* sobre o seu erro padrão for menor que 1,96 a distribuição será simétrica. Se o resultado for inferior a -1,96 a distribuição é assimétrica negativa ou enviesada à direita. Para valores superiores a 1,96 a distribuição será assimétrica positiva ou enviesada à esquerda (Pestana e Gageiro, 2008).

³² Para um erro tipo I do analista ($p=0,05$) se o quociente, em módulo, do valor de *kurtosis* sobre o seu erro padrão for menor que 1,96 o achatamento mesocúrtico não pode ser rejeitado. Se o resultado for inferior a -1,96 a distribuição é mais achatada que o normal ou seja platicúrtica. Para valores superiores a 1,96 a distribuição diz-se menos achatada que o normal ou seja leptocúrtica (Pestana e Gageiro, 2008)

superior às restantes. O desvio padrão assume um valor de 1,65 m. Comparativamente à curva normal os valores de *skewness* e *kurtosis* (Quadro 4.8) indicam uma configuração enviesada à esquerda e leptocúrtica.

Quadro 4.7 – Caracterização do comprimento da lomba segundo o número de passagens válidas

		Statistic	Std. Error
Mean		6,275	,0209
Mode		4,600	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6,234	
	Upper Bound	6,316	
5% Trimmed Mean		6,106	
Median		6,400	
Variance		2,733	
Std. Deviation		1,6531	
Minimum		4,2	
Maximum		11,4	
Range		7,2	
Interquartile Range		2,3	
Skewness		1,323	,031
Kurtosis		2,713	,062

4.7.3 Enquadramento Rodoviário

4.7.3.1 Largura da Faixa de Rodagem

Em termos de largura da faixa de rodagem, os locais seleccionados para as recolhas de dados variavam entre os 5,5 e os 7,45 m sendo que para as passagens válidas a média e a moda se cifram nos 6,4 e 6 m, respectivamente. A média aparada a 5%³³ é praticamente igual à média pelo que os valores extremos não têm influência significativa. O desvio padrão, como seria expectável, apresenta um valor relativamente baixo (0,62 m) conforme exposto no Quadro 4.8. Os valores de *skewness* e *kurtose* indicam uma configuração assimétrica positiva ou seja enviesada à esquerda e leptocúrtica.

Quadro 4.8 – Caracterização estatística do número de passagens válidas segundo a largura da faixa de rodagem

		Statistic	Std. Error
Mean		6,4361	,00780
Mode		6,0000	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6,4208	
	Upper Bound	6,4513	
5% Trimmed Mean		6,4317	
Median		6,3000	
Variance		,379	
Std. Deviation		,61565	
Minimum		5,50	
Maximum		7,45	
Range		1,95	
Interquartile Range		,90	
Skewness		,338	,031
Kurtosis		-1,189	,062

³³ Média calculada ignorando 5% dos registos mais afastados do centro.

4.7.3.2 *Existência de Passeio*

No que concerne à existência ou não de passeio lateral para peões (**P**) verifica-se, de acordo com o Quadro 4.1, que 19 lombas têm passeio e 15 não têm. Refira-se que, em algumas secções, os locais eram providos de passeio em apenas um dos lados da faixa de rodagem pelo que o critério utilizado foi o de considerar (ou não) a existência de passeio do lado direito segundo o sentido do movimento do veículo pelo que, contrariamente às características analisadas anteriormente, existem agora 34 situações a analisar. Este critério foi estipulado dado se ter considerado que a existência de passeio no sentido oposto ao da condução, tende a assumir uma influência pouco significativa sobre o comportamento do condutor, particularmente quando comparado com a sua existência do lado direito.

Analisando a totalidade das passagens válidas constata-se que a repartição percentual é, neste caso, bastante equilibrada conforme se pode observar no Quadro 4.9. No ponto 3.1 do anexo é apresentada informação mais detalhada.

Quadro 4.9 – Número de passagens segundo a existência de passeio lateral (lado direito)

	Número de passagens	Percentagem
Sem passeio	3015	48,4
Com passeio	3219	51,6
Total	6234	100,0

4.7.3.3 *Visibilidade/Distância Livre*

Em termos de visibilidade ou distância livre na abordagem (**Visent**) e saída da lomba (**Vissai**) verifica-se, de acordo com o Quadro 4.10, que os valores variam entre 50 e 380 m sendo o valor mais comum de 100 m e a média cerca de 165 m. É de registar que dado que as lombas foram percorridas nos dois sentidos as variáveis **Visent** e **Vissai** são iguais em cada lomba quando invertidos os sentidos (ver Quadro 4.1). A justificação para o facto dos valores estatísticos serem ligeiramente diferentes prende-se, portanto, com diferenças no número de passagens válidas em cada sentido. O desvio padrão é de cerca 78 m sendo os valores de curtose negativos e os de *skewness* cerca de 0,8.

Quadro 4.10 – Caracterização estatística do número de passagens válidas segundo a visibilidade/distância livre

		Visibilidade/Distância livre à entrada		Visibilidade/Distância livre à saída	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		162,65	,989	162,56	,980
Mode		100,00		100,00	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	160,71		160,64	
	Upper Bound	164,58		164,48	
5% Trimmed Mean		158,77		158,94	
Median		140,00		140,00	
Variance		6098,906		5982,198	
Std. Deviation		78,095		77,345	
Minimum		50		50	
Maximum		380		380	
Range		330		330	
Interquartile Range		110		110	
Skewness		,815	,031	,800	,031
Kurtosis		-,073	,062	-,093	,062

4.8 Síntese Conclusiva

Neste capítulo, foram descritas as fases mais relevantes que conduziram à recolha da base de dados tendo sido feita uma caracterização preliminar das observações registadas.

Os equipamentos, metodologias e considerações tecidas no decurso do processo de instrumentação do veículo que suportou o trabalho foram apresentados no início do capítulo. O veículo foi dotado de dois sistemas independentes, embora sincronizáveis entre si, que possibilitaram a recolha de um conjunto de variáveis dinâmicas bem como de imagens do enquadramento rodoviário. Este trabalho envolveu uma pesquisa exaustiva relativamente aos equipamentos disponíveis no mercado bem como das suas valências. Após a sua selecção e aquisição foi levada a cabo a fase de montagem e preparação do veículo, seguida da realização de sessões preliminares de testes e parametrização do equipamento. É de realçar que este trabalho permitiu a obtenção de uma plataforma fundamental para o presente estudo mas que também está perfeitamente apta a suportar outros trabalhos de investigação de natureza similar constituindo-se, pelas suas características e flexibilidade de utilização, uma ferramenta com algumas características inovadoras no contexto nacional.

A fase da recolha de dados, nomeadamente no que concerne à selecção dos locais, condutores assim como às metodologias adoptadas nos trabalhos de campo é também descrita neste capítulo. Trata-se de uma etapa essencial e que requereu um esforço particular de planeamento no sentido de garantir a operacionalidade de todos os intervenientes, nomeadamente dos condutores, do veículo e seus equipamentos.

Os processos inerentes ao tratamento base e validação dos dados recolhidos foram sinteticamente descritos sendo de salientar que para viabilizar e agilizar esta etapa foram desenvolvidas vários algoritmos que foram programados em linguagem VBA e que conduziram a aumentos assinaláveis na produtividade. Obteve-se assim um sistema integrado de tratamento de dados que pode ser replicado com ligeiras adaptações para outros estudos de natureza semelhante. A validação dos dados passou pelo visionamento exaustivo de imagens vídeo determinando-se a existência ou não de condições de circulação livres nos momentos cruciais para este trabalho.

O final do capítulo contém uma caracterização preliminar dos dados validados e que foram agrupados em duas bases de dados em formato compatível com o seu tratamento pelas habituais ferramentas de tratamento estatístico.

5. Caracterização do Comportamento do Condutor

5.1 Introdução

Este capítulo centra-se na caracterização e análise do comportamento dos condutores na zona de influência das lombas. A análise incide inicialmente na amostra global, constituída por todos os condutores, apresentando-se alguns indicadores estatísticos associados às principais variáveis dinâmicas observadas. Essas análises foram, sempre que se justificou, segregadas em função do factor *sexo*.

Face aos valores observados para as variáveis dinâmicas, procurou-se constituir grupos de condutores em função de condutas tipificadas e geralmente adoptadas neste tipo de análise. Para o efeito, são analisados três parâmetros: a velocidade nas várias etapas do trecho, a agressividade na condução e a tolerância ao desconforto na passagem da lomba.

A caracterização da velocidade é baseada nos registos pontuais dos valores recolhidos nas secções consideradas determinantes à aproximação, transposição e saída da lomba. Complementarmente foi ainda utilizada uma variável combinada correspondente à soma das velocidades nas três secções determinantes (**V-75VIV150**).

Por sua vez, a caracterização da agressividade na condução foi baseada em três variáveis dinâmicas que reflectem a variação, em módulo, da aceleração longitudinal nas zonas adjacentes à lomba: a aceleração longitudinal adoptada à entrada (**Ahent**) e à saída (**Ahsai**) e a soma do módulo das duas (**AhentAhsai**). Esta abordagem é habitualmente adoptada em estudos desta natureza (Toledo et al., 2009; Farmer et al., 2010; Paleti et al., 2010) embora a agressividade seja, por vezes, associada a um sentido mais abrangente onde a prática de velocidades elevadas é interpretada como representativa de um comportamento agressivo (Liu e Lee, 2005).

A tolerância ao desconforto é baseada no valor da aceleração vertical seguindo a linha de orientação de outros estudos desta natureza (Watts, 1973; Jarvis, 1992; Bjarnason, 2004). São analisadas as correlações entre a velocidade de passagem na lomba (**VI**) a aceleração vertical (**Avmax**) e o valor de *Pitch*. Este facto decorre não só da análise de trabalhos precedentes (Weber, 1998; Bjarnason, 2004) mas igualmente dos conceitos de base da mecânica Newtoniana. No entanto esta questão pode não ser inteiramente linear dado que é necessário ter em conta o papel do sistema de suspensão do veículo e da rigidez estrutural deste neste tipo de fenómenos (Erjavec, 2009) pelo que estas três variáveis foram analisadas em conjunto.

A consistência dos condutores foi aferida recorrendo à observação dos valores da velocidade, em algumas secções, relativas a passagens consecutivas.

Por fim é feita uma avaliação da forma como os estilos de condução adoptados afectam o nível de emissões poluentes geradas. De acordo com numerosos trabalhos neste campo (Young et al.; Ericsson, 2001; El-Shawarby et al., 2005; Hung et al., 2005) é expectável que condutores que adoptem um estilo de condução caracterizado por maiores acelerações longitudinais e velocidades elevadas, apresentem valores de CO₂ emitidos igualmente superiores.

As análises apresentadas foram suportadas pela base de dados discreta, ou um subconjunto desta, desenvolvida no âmbito do presente estudo constituída pelos valores referentes a 6234 passagens nas diversas lombas seleccionadas. Segundo alguns autores, a elevada dimensão da amostra final ao abrigo do teorema do Limite Central leva a que seja possível, para algumas análises, dispensar a verificação da normalidade (Park, 2008; Pestana e Gageiro, 2008).

De modo a tornar o texto expedito e legível, e face ao elevado número de elementos gráficos e em tabelas produzidos no âmbito das diferentes análises estatísticas, optou-se por remeter alguns destes para os pontos 3.3 e 3.4 do anexo, limitando ao corpo do texto os elementos essenciais à interpretação dos dados.

5.2 Análise Agregada das Variáveis Dinâmicas

5.2.1 Distância de Abrandamento

A variável “distância de abrandamento” (**Dabr**) representa a distância existente entre a lomba e o ponto em que o veículo inicia a redução de velocidade no trecho que precede a lomba. Trata-se assim de uma variável relevante para a caracterização do comportamento do condutor, na medida em que identifica a zona de influência da lomba.

As medidas de tendência central (média, moda e mediana) aproximam-se de 89 m o que indicia uma distribuição simétrica (Quadro 5.1). O valor de *skewness* é relativamente baixo apontando para uma distribuição assimétrica positiva ou enviesada à esquerda. Em termos de achatamento o valor de *kurtosis* e erro padrão associado indicam que a distribuição é achatada, relativamente à curva normal ou seja platicúrtica. É também de registar a grande amplitude existente entre os valores mínimos e máximos sendo o desvio padrão de 30,2 m.

Não foram identificados *outliers*³⁴ nos valores observados, facto que é confirmado na caixa de bigodes (Figura 5.1).

Quadro 5.1 – Caracterização estatística da variável **Dabr** (distância de abrandamento)

	Statistic	Std. Error
Mean	89,6958	,38207
Mode	89,77	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	88,9468
	Upper Bound	90,4448
5% Trimmed Mean	89,3432	
Median	89,6500	
Variance	910,018	
Std. Deviation	30,16650	
Minimum	15,05	
Maximum	169,97	
Range	154,92	
Interquartile Range	44,21	
Skewness	,119	,031
Kurtosis	-,561	,062

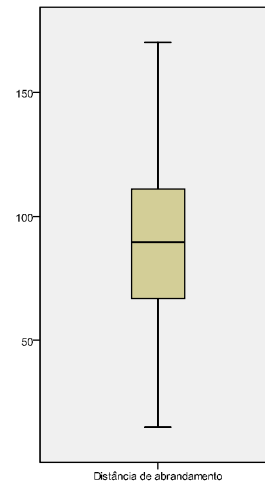


Figura 5.1 – Caixa de bigodes da variável **Dabr**

5.2.2 Velocidades

As velocidades representam porventura as variáveis mais relevantes a um estudo desta natureza, uma vez que a implementação de medidas de acalmia de tráfego tem, geralmente, como objectivo condicionar este parâmetro. Deste modo, foram analisadas as velocidades de forma pontual em algumas secções do trecho de aproximação e saída da lombra conforme apresentado no ponto 4.3.2. Foram analisadas as velocidades 75, 50 e 25 m antes da lombra e desde a transposição da lombra até 150 m, repartidas nas secções de 25 m. Estas distâncias foram fixadas após visionamento exaustivo dos perfis de velocidade que permitiu concluir que a zona de influência da lombra estava maioritariamente compreendida dentro desse intervalo. Para além destas foi igualmente registada a velocidade no momento em que o condutor inicia o abrandamento na aproximação à lombra (**Vmax**).

O Quadro 5.2 apresenta as medidas de tendência central aplicadas às amostras de velocidades sendo que os valores obtidos indiciam um registo de observações simétrico, dado que a média e a mediana apresentam sempre valores bastante semelhantes. Esta indicação é integralmente confirmada pela observação dos histogramas, diagramas de caule e folhas, *normal Q-Q plots* e *detrended Q-Q plots*. A título exemplificativo apresenta-se, na Figura 5.2, um histograma e

³⁴ Valor discrepante ou atípico em relação a um conjunto. Um valor designa-se por *outlier* moderado quando supera, em uma vez e meia, a amplitude interquartil (quartil 3 menos quartil 1). Se superar três vezes a amplitude interquartil o valor é considerado *outlier* severo (Pestana e Gageiro, 2008).

normal Q-Q plots referente à **V-75**, encontrando-se os restantes elementos no anexo 3.2. Os valores de *skewness* e *kurtosis*, com algumas excepções, são igualmente baixos. Deste modo a configuração dos histogramas é muito similar à da distribuição normal³⁵ o que era expectável de acordo com o teorema do limite central (Mendenhall e Sincich, 2006). Contrariando, embora de forma ligeira, esta tendência os histogramas relativos à **V100** e **V125** revelam alguma assimetria positiva ou seja um enviesamento à esquerda assemelhando-se a duas distribuições distintas. Esta situação é justificada pelo facto de existirem no circuito de Porto de Mós duas lombas bastante próximas pelo que a fase de aceleração horizontal positiva à saída, nesse caso específico, é quebrada dando lugar a um novo abrandamento para a abordagem à lomba seguinte. Esta constatação, aliada ao facto de o objecto central deste trabalho ser o estudo de lombas isoladas, levou a que estas observações não fossem consideradas em algumas análises.

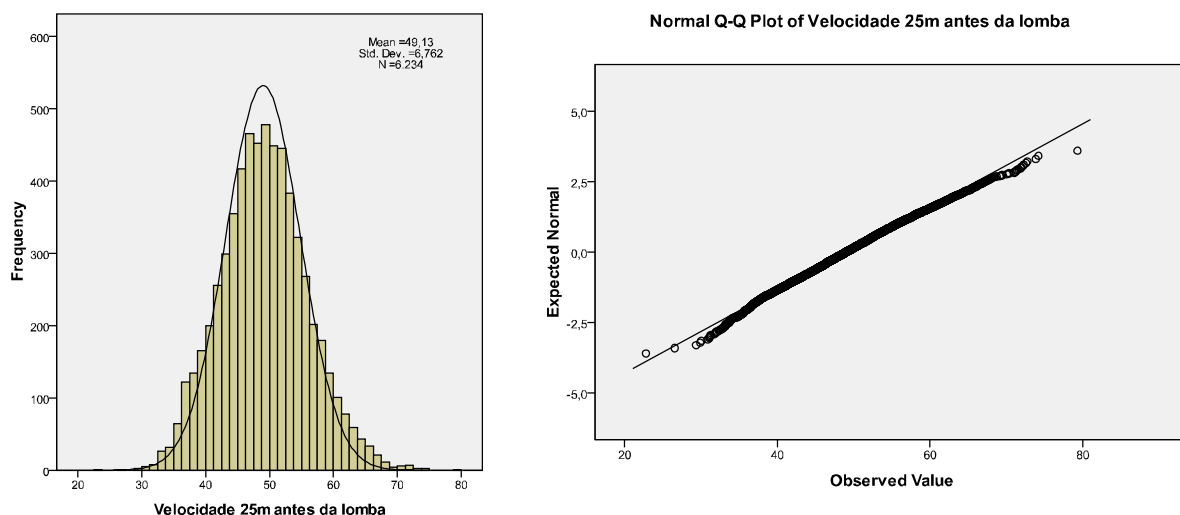


Figura 5.2 – Histograma e *normal Q-Q plots* referentes à **V-25**

Todas as secções analisadas apresentaram registos considerados de *outliers*, conforme se pode constatar na Figura 5.3. No entanto verificando o valor da média aparada a 5% constata-se que estes têm uma influência mínima ao nível da média obtida mas contribuem, certamente, para um aumento do valor do desvio padrão. Este parâmetro oscila entre 5,32 e 9,70 km/h verificando-se que, genericamente, as maiores dispersões estão associadas às velocidades mais elevadas. Verifica-se, assim que, para além da esperada redução de velocidade, a lomba assegura cumulativamente um efeito de homogeneização das mesmas.

³⁵ Também designada, por vezes, de distribuição de Gauss ou Gaussiana.

Em termos médios, a velocidade de aproximação à lomba (**V_{max}**) é de 61,11 km/h com o percentil 85³⁶ desta variável a assumir o valor de 70,80 km/h. Na lomba, a velocidade (**V_I**) é, em termos médios, de 31,57 km/h tendo o percentil 85 o valor de 39,08 km/h, o que se traduz numa redução global média de cerca de 48%. Na secção 150 m após a transposição da lomba (**V₁₅₀**) a média das velocidades atingiu os 56,80 km/h e o percentil 85 os 65,27 km/h, representando um aumento de cerca de 80% em relação à **V_I**.

Em termos de evolução dos valores da velocidade constata-se, pela observação das caixas de bigodes da Figura 5.3 e Quadro 5.2, que a maior quebra de velocidade é registada nos últimos 25 m antes da lomba (-35,74%) e que a velocidade original de entrada (**V_{max}**) é praticamente recuperada nos 150 m posteriores à transposição da lomba. É igualmente notório que a redução da velocidade na aproximação se efectua de forma mais brusca do que a recuperação desta à saída. Em termos de aceleração positiva, o maior valor verifica-se no intervalo entre os 25 e os 50 m após a lomba com um ganho médio de velocidade de cerca de 24%. Este resultado viola o que seria aparentemente expectável, na medida em que seria previsível que o maior ganho fosse obtido nos primeiros 25 m após a lomba. A explicação para este resultado poderá estar no facto de, geralmente, os condutores a seguir à lomba estarem a engrenar a relação de transmissão mais adequada e assim perderem algum tempo até colocar o veículo a retomar velocidade. Refira-se que da observação extensiva dos perfis de velocidade se constata que, geralmente, a menor velocidade no trajecto em análise não se verifica na lomba mas sim alguns metros após a transposição desta o que confirma as indicações de outro estudo similar (García et al., 2010). As diferenças não são, no entanto, relevantes.

Importa contudo reter o carácter generalista desta abordagem, tendo em conta que foram considerados todos os condutores e todas as lombas de forma agregada. No entanto dada a dimensão da amostra esta metodologia não tem implicações relevantes nas inferências efectuadas.

³⁶ De acordo com décadas de experiência internacional a V_{85} , velocidade que apenas é excedida por 15% dos condutores, é habitualmente utilizada como limite de velocidade óptimo para assegurar a segurança na via (HCTC, 2008).

Quadro 5.2 – Caracterização estatística das velocidades registadas nas secções analisadas

		Velocidade máxima na abordagem	Velocidade 75m antes da lombada	Velocidade 50m antes da lombada	Velocidade 25m antes da lombada	Velocidade na lombada	Velocidade 25m após a lombada	Velocidade 50m após a lombada	Velocidade 75m após a lombada	Velocidade 100m após a lombada	Velocidade 125m após a lombada	Velocidade 150m após a lombada
		Vmax	V-75	V-50	V-25	VI	V25	V50	V75	V100	V125	V150
N	Valid	6234	6234	6234	6234	6234	6234	6234	6234	6234	6234	6234
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		61,111	58,605	56,664	49,134	31,572	35,583	44,152	49,070	52,401	54,804	56,800
5% Trimmed Mean		61,088	58,845	56,707	49,050	31,290	35,188	43,940	48,948	52,646	55,432	56,971
Median		61,124	59,137	57,025	49,005	31,045	34,905	43,872	48,888	52,896	55,845	57,376
Std. Deviation		9,466	9,698	8,151	6,762	7,883	5,990	5,322	5,830	7,389	9,171	8,573
Variance		89,598	94,048	66,435	45,724	62,139	35,880	28,322	33,994	54,594	84,101	73,498
Skewness		,040	-,367	-,097	,182	,585	1,099	,684	,321	-,506	-1,076	-,324
Std. Error of Skewness		,031	,031	,031	,031	,031	,031	,031	,031	,031	,031	,031
Kurtosis		1,299	-11,830	-3,116	5,853	18,846	35,419	22,052	10,352	-16,314	-34,703	-10,456
Std. Error of Kurtosis		-,094	,139	-,142	,128	,882	2,152	1,480	,597	1,078	2,089	,118
Range		59,838	60,424	55,025	56,522	59,719	49,165	43,363	54,424	58,687	69,363	69,090
Minimum		32,802	26,655	26,982	22,788	9,917	18,669	26,817	21,612	22,514	15,615	16,842
Maximum		92,640	87,079	82,007	79,309	69,637	67,835	70,180	76,036	81,201	84,978	85,932
Percentiles	15	51,327	49,012	47,893	42,102	23,692	29,765	38,871	43,026	45,594	47,443	47,999
	25	54,708	52,830	51,300	44,633	26,313	31,391	40,611	45,013	48,254	50,678	51,629
	50	61,124	59,137	57,025	49,005	31,045	34,905	43,872	48,888	52,896	55,845	57,376
	75	67,580	65,205	62,267	53,421	36,018	38,565	47,133	52,814	57,313	60,630	62,737
	85	70,802	68,384	64,946	55,911	39,075	40,928	49,211	54,852	59,492	62,988	65,296

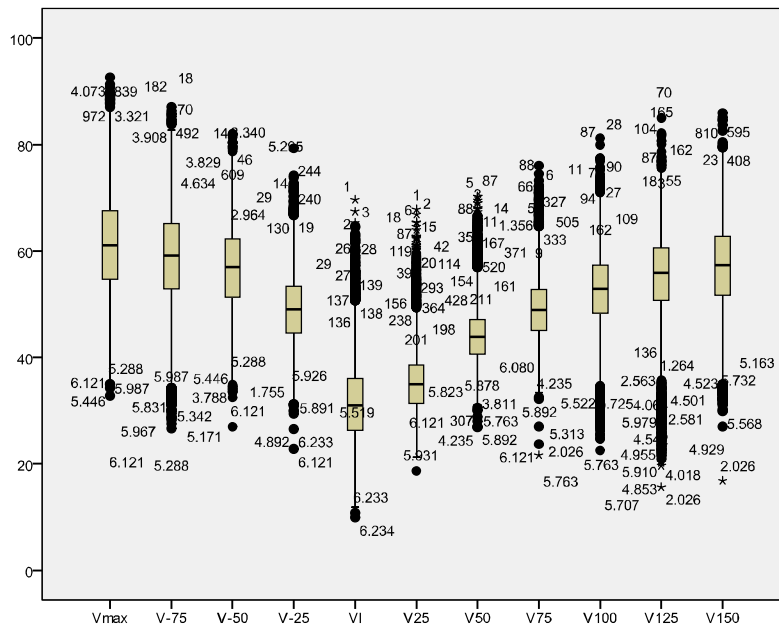


Figura 5.3 – Caixas de bigodes relativas às velocidades nas secções analisadas

5.2.3 Acelerações Longitudinais

Em termos de distribuição de valores verifica-se que, para as duas variáveis estudadas (**Ahent** e **Ahsai**), esta é simétrica aproximando-se da distribuição gaussiana.

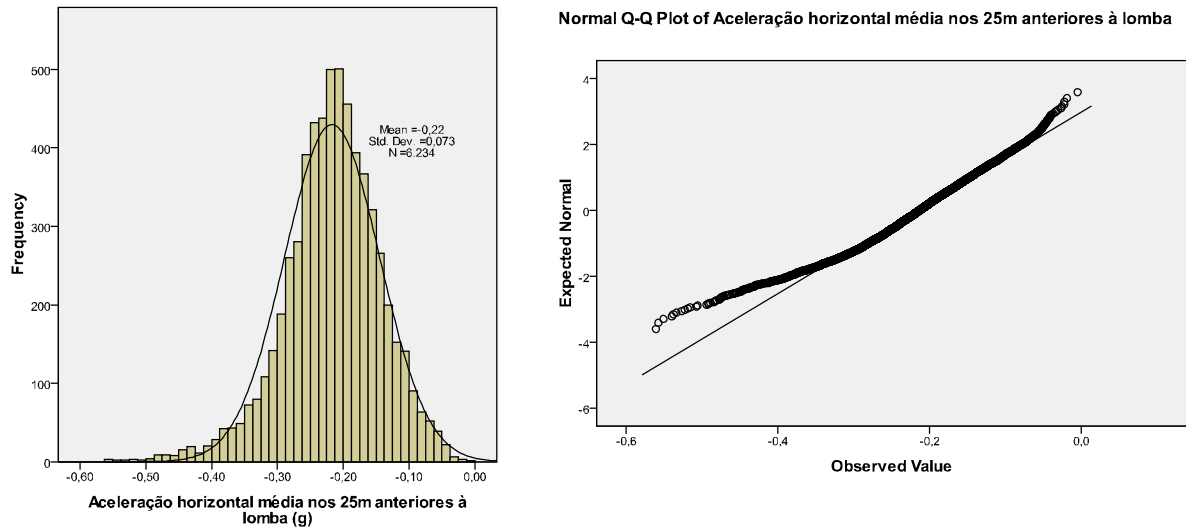


Figura 5.4 – Histograma e normal *Q-Q plots* referentes à **Ahent**

A aceleração à entrada apresenta um valor médio de -0,2166 g assumindo a mediana um valor muito semelhante, sendo o desvio padrão de 0,0726 g. O valor máximo (em módulo) foi de 0,56 g sendo de esperar que este valor corresponda a uma travagem próxima dos limites de segurança da viatura utilizada. O facto desta análise englobar todas as lombas e destas terem velocidades de aproximação diferentes faz com que os valores de aceleração na travagem divergirem um pouco da curva normal (Figura 5.4). Deste modo, verifica-se que o nível de aceleração negativa médio à entrada é cerca de metade da capacidade do veículo pelo que, na generalidade, os condutores assumem comportamentos seguros e salvaguarda os níveis de conforto mínimos. À saída os valores são, em módulo, bastante inferiores com uma média de 0,0674 g, mediana de 0,0670 g e desvio padrão de 0,0280 g. O facto da aceleração, em módulo, ser superior na travagem é normal e expectável quer pela observação da Figura 5.3 quer pelo facto de a generalidade dos veículos automóveis terem uma potência de travagem muito superior à potência mobilizável para o ganho de velocidade (Blundell e Harty, 2004). Observando os valores mínimos e máximos de cada uma das variáveis são, no entanto, de sublinhar alguns resultados muito pouco habituais especialmente em regime livre de circulação. Assim na aproximação à lomba registou-se o valor máximo de -0,0049 g o que na prática significa a quase ausência de travagem na zona de aproximação à lomba. Na saída há a registar um valor mínimo de -0,0921 g significando que o veículo perdeu velocidade nos 50 m posteriores à lomba o que para situações de condução não condicionada (ponto 4.7.1) não responde ao expectável³⁷. Pela observação das caixas de bigodes estas situações são identificadas como *outliers* sendo também notório que a maioria das leituras está

³⁷ Este tipo de comportamentos, pouco habituais, foi objecto de confirmação quer nos dados de base quer nas imagens registadas de forma a confirmar a validade da passagem em questão.

compreendida numa gama relativamente estreita de valores. Refira-se ainda que os *outliers* não foram suprimidos da amostra dado que, por um lado, face à dimensão alargada da amostra estes não têm influência significativa e, por outro lado, não se considerou correcto eliminar estas observações dado que não são resultantes de falhas de equipamento ou de leitura mas sim de comportamentos concretos e que portanto devem entrar na análise.

Quadro 5.3 – Caracterização estatística das variáveis **Ahent** e **Ahsai**

		Ahent	Ahsai
N	Valid	6234	6234
	Missing	0	0
Mean		-,2166	,0674
Std. Error of Mean		,0009	,0004
Median		-,2136	,0670
Std. Deviation		,0726	,0280
Variance		,0053	,0008
Skew ness		-,5401	-,2118
Std. Error of Skew ness		,0310	,0310
Kurtosis		1,1975	1,4074
Std. Error of Kurtosis		,0620	,0620
Range		,5559	,2629
Minimum		-,5608	-,0921
Maximum		-,0049	,1709
Percentiles	15	-,2838	,0417
	25	-,2571	,0505
	50	-,2136	,0670
	75	-,1692	,0839
	85	-,1452	,0946

5.2.4 Aceleração Vertical

Conforme já mencionado anteriormente, no capítulo 2, a aceleração vertical é uma grandeza que é, frequentemente, utilizada como indicador do desconforto percebido pelo condutor sendo, por conseguinte, um parâmetro importante na definição e controlo da velocidade de passagem na lomba, por parte de cada condutor. Esta variável foi medida por um acelerómetro colocado por baixo do banco do passageiro ao lado do condutor registando, deste modo, acelerações iguais às sentidas pelo condutor. Dado que na Terra as partículas estão sujeitas a uma aceleração de 1 g^{38} , em condições normais de circulação, o valor registado pelo acelerómetro vertical oscilava em torno da unidade. Na passagem sobre as lombas, ou outras irregularidades do pavimento, o valor apresenta variações mais acentuadas resultantes do movimento de oscilação vertical do veículo. Esse movimento cessa pouco depois da lomba, por acção dos amortecedores do veículo, regressando ao valor da aceleração vertical de referência (1 g). Esta situação é ilustrada na Figura 5.5 onde se podem observar as variações de velocidade e aceleração vertical no decurso da passagem por duas lombas.

³⁸ O valor preciso da aceleração resultante da atracção gravítica depende de um conjunto de factores sendo os mais relevantes a latitude, altitude e condições geológicas (Bowin, 1991). No entanto, dado que as variações são pequenas, o valor habitualmente assumido para 1 g é igual a $9,80665 \text{ m/s}^2$ (BIPM, 2006).

Dada a natureza da variável em questão foi calculado, para cada passagem, o afastamento máximo de cada valor em relação a 1 g, ou seja, calculou-se o máximo do módulo da aceleração vertical menos 1, sendo esse valor correspondente à **A_{vmax}** dessa passagem.

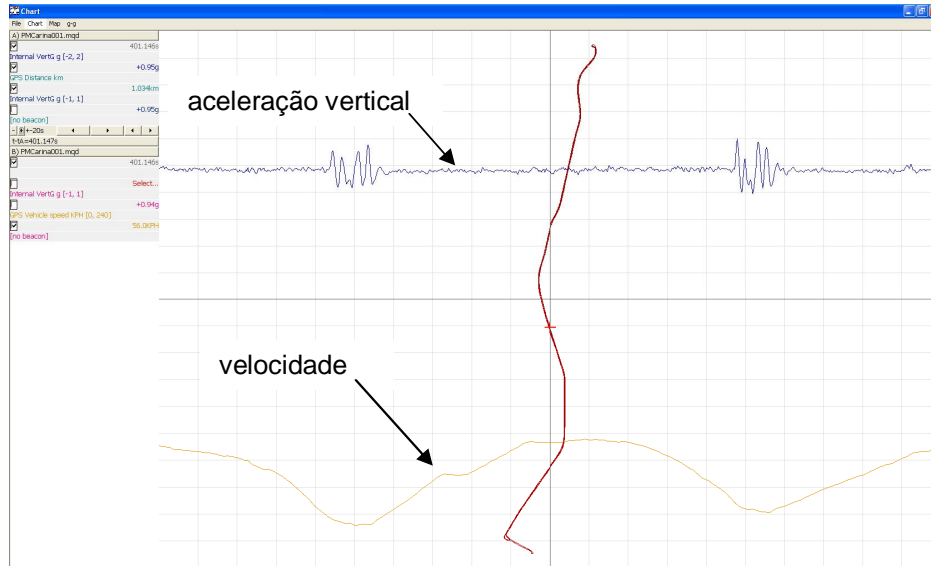


Figura 5.5 – Variação da aceleração vertical na passagem em duas lombas consecutivas

O Quadro 5.4 resume os dados de caracterização estatística obtidos para esta variável. Verifica-se que o valor médio é de 0,365 g assumindo a mediana um valor ligeiramente inferior com 0,350 g. O desvio padrão é 0,109 g e os valores estão compreendidos entre 0,150 e 1,348 g o que se pode considerar uma gama de variação alargada. Pela análise dos percentis 15 e 85 bem como da caixa de bigodes (Figura 5.6) conclui-se, no entanto, que a distribuição dos valores se faz numa gama relativamente estreita mas com a presença de alguns *outliers* situados acima da média³⁹. Em termos de formato e comparativamente à distribuição gaussiana verifica-se um enviesamento à esquerda (valor positivo do *skewness*) e uma configuração leptocúrtica (valor positivo de *kurtosis*).

Verifica-se que os valores obtidos estão em consonância com os apresentados no ponto 2.4.4, sendo que a aceleração vertical média é inferior ao valor de 0,7 g preconizado por Jarvis (Jarvis, 1992) e dentro da gama indicada por Watts [0,7-0,9 g] como correspondente ao limite superior de conforto na passagem da lomba.

³⁹ Uma análise individualizada a esta questão revelou que uma percentagem significativa destes *outliers* são da “responsabilidade” de um condutor em particular.

Quadro 5.4 – Caracterização estatística da variável **Avmax**

		Avmax
N	Valid	6234
	Missing	0
Mean		,365
Std. Error of Mean		,001
Median		,350
Std. Deviation		,109
Variance		,012
Skewness		1,183
Std. Error of Skewness		,031
Kurtosis		3,786
Std. Error of Kurtosis		,062
Range		1,198
Minimum		,150
Maximum		1,348
Percentiles	15	,256
	25	,284
	50	,350
	75	,429
	85	,472

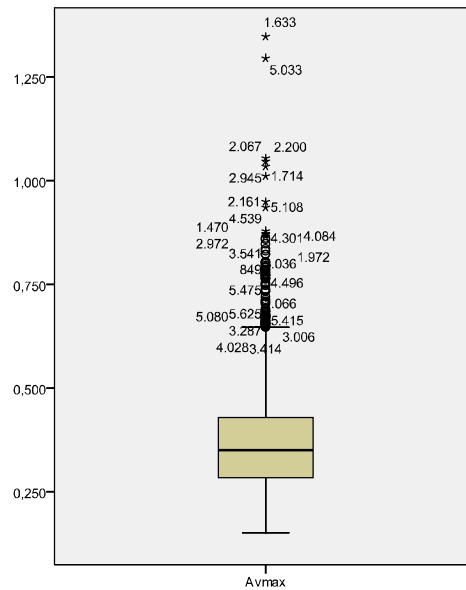


Figura 5.6 – Caixa de bigodes da variável **Avmax**

5.2.5 Rotação Angular (*Pitch*)

Recorrendo ao giroscópio, foi registado o valor da rotação angular em torno de um eixo imaginário paralelo à superfície do pavimento e perpendicular à direcção do movimento deste. Este valor, designado de acordo com a literatura anglo-saxónica de *Pitch* tem um comportamento similar ao da aceleração vertical máxima, ou seja, oscila em torno de um valor fixo (neste caso zero) em condições normais de circulação e varia de forma acentuada no decurso da transposição de uma lomba (Figura 5.7). Nesta conformidade foi definido como sendo o valor de *Pitch* de uma determinada passagem o valor máximo em módulo registado nesse evento.

Em termos quantitativos (Quadro 5.5) o valor médio registado é de 46,084 grau/s sendo a mediana bastante semelhante. Os valores estão distribuídos numa gama relativamente alargada que vai desde 18,6 até 96,9 grau/s. No entanto, verifica-se que existe um número considerável de *outliers* acima da média e apenas um abaixo desta⁴⁰. O desvio padrão é de 10,7 sendo a distribuição assimétrica à esquerda (valor positivo de *skewness*) e leptocúrtica.

⁴⁰ De forma similar ao verificado para a aceleração vertical uma percentagem significativa dos valores que saíram da gama normal foi originada por um condutor em particular.

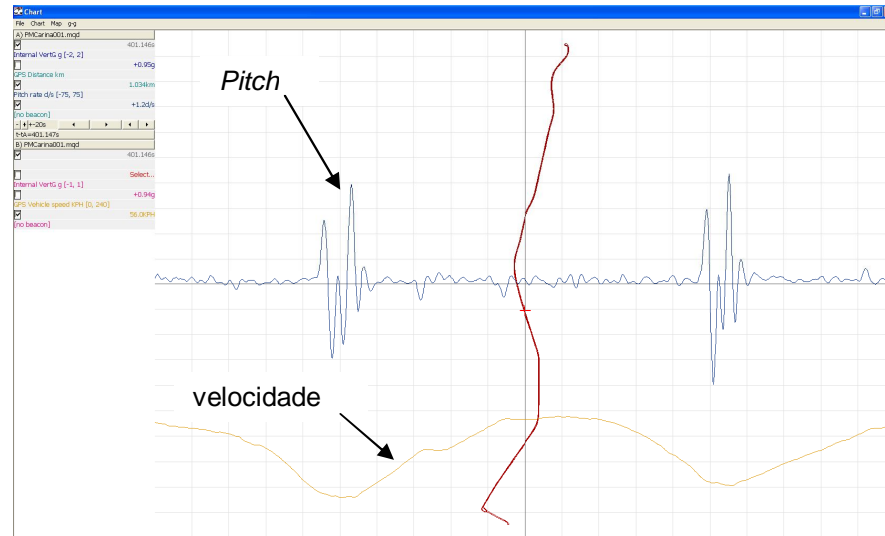


Figura 5.7 – Variação do valor de *Pitch* na passagem por duas lombas

O facto de esta variável ter um comportamento similar embora mais acentuado do que a aceleração vertical fez com que esse valor fosse utilizado como indicador da presença de uma lomba na macro criada para este efeito (ver 4.6.1). Será objecto de análise posterior a comparação do comportamento destas duas variáveis, nomeadamente no que concerne à velocidade de passagem na lomba, tipologia e altura desta.

Quadro 5.5 – Caracterização estatística da variável *Pitch*

		Pitch
N	Valid	6234
	Missing	0
Mean		46,084
Std. Error of Mean		,136
Median		45,200
Std. Deviation		10,741
Variance		115,366
Skew ness		,636
Std. Error of Skew ness		,031
Kurtosis		1,078
Std. Error of Kurtosis		,062
Range		78,300
Minimum		18,600
Maximum		96,900
Percentiles	15	35,800
	25	38,900
	50	45,200
	75	52,300
	85	56,600

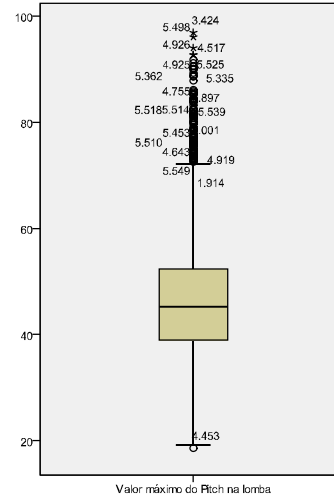


Figura 5.8 – Caixa de bigodes da variável *Pitch*

5.3 Análise da Influência do Género

Para determinar se existem diferenças assinaláveis e estatisticamente significativas entre o comportamento dos condutores masculinos e femininos foram levados a cabo testes

paramétricos *t-Student*⁴¹. Deste modo foi efectuada uma comparação entre as médias de algumas das variáveis comportamentais calculadas para os dois grupos de condutores. Refira-se que, a dimensão alargada das amostras (4224 e 2010 passagem para homens e mulheres, respectivamente) torna dispensável a aplicação do teste de normalidade (Pestana e Gageiro, 2008).

As variáveis seleccionadas para esta análise tiveram como objectivo verificar se existem diferenças estatisticamente significativas ao nível da aproximação, transposição e saída da lomba assim como ao nível do CO₂ emitido. Deste modo foram utilizadas a **Dabr**, **Vmax**, **Ahent**, **CO2ent**, **VI**, **Avmax**, **Pitch**, **Ahsai**, **V150** e **CO2sai**. Não sendo uma abordagem exaustiva entendeu-se que estas variáveis dependentes são suficientes para caracterizar de forma satisfatória as eventuais diferenças de comportamento entre os dois grupos aludidos. Os resultados encontram-se sintetizados no Quadro 5.6.

Da observação dos valores constata-se que existem diferenças, estatisticamente relevantes, entre as duas amostras analisadas, em todas as variáveis com excepção de apenas duas: a distância de abrandamento (**Dabr**) e a aceleração vertical máxima (**Avmax**).

As médias dos valores apresentam diferenças, em geral pouco expressivas, sendo as maiores disparidades registadas ao nível das acelerações longitudinais à entrada e saída da lomba em que o grupo feminino registou valores inferiores ao dos homens em 7,90 e 6,16%, respectivamente (valores estatisticamente significativos conforme quadro no anexo 3.3). Estes resultados denotam uma maior suavidade de condução das mulheres nesta situação particular.

No que concerne às velocidades em termos de **Vmax** e **V150** os homens apresentam valores, em média superiores em 4,32 e 1,83%, respectivamente e as mulheres têm uma velocidade média de passagem na lomba ligeiramente superior (2,43%) tendo estas diferenças significância estatística (anexo 3.3). Sabendo-se que a derivada da velocidade em ordem ao tempo é a aceleração longitudinal estes resultados são consentâneos com os anteriores e confirmam a maior suavidade de condução das mulheres. É, no entanto, curioso notar a tendência para as mulheres adoptarem velocidades superiores de passagem nas lombas apesar do comportamento mais suave em termos de travagem e aceleração.

Em termos de passagem na lomba, os valores da aceleração vertical máxima não apresentam diferenças significativas. No entanto o valor do **Pitch** é 5,56% superior no grupo do sexo

⁴¹ O teste *t* testa se a média de dois grupos é significativamente diferente. Para a utilização deste teste paramétrico tem de existir uma variável dicotómica que define os grupos a comparar e uma ou mais variáveis quantitativas cuja média se pretende comparar nos dois grupos. Como habitual neste tipo de análises utilizou-se um grau de certeza de 95%.

feminino. Este facto estará, decerto, relacionado com a maior velocidade de passagem destas não sendo a diferença significativa em termos de aceleração vertical provavelmente devido ao facto de esta variável não ter uma amplitude de variação tão elevada. Esta constatação vem, de certa forma, validar a opção inicial de dotar o veículo instrumentado de um giroscópio, prática ainda pouco usual em estudos desta natureza.

Os valores de CO₂ emitidos são superiores no grupo masculino em cerca de 5% o que é certamente explicado pelas maiores velocidades adoptadas na aproximação (**Vmax** e **V150**) e aceleração à saída (**Ahsai**). Estes resultados confirmam os resultados de Alessandrini, o qual concluiu que as mulheres comparativamente aos homens tendem a acelerar de forma mais progressiva e mantêm o acelerador mais constante, assegurando níveis de emissão mais baixos (Alessandrini et al., 2009).

Quadro 5.6 – Comparação de variáveis comportamentais entre géneros

	Género	Mean	Deviation	Mean	percentual	test
Dabr	Homem	89,2768	29,7498	0,4577	1,46	não significativo
	Mulher	90,5764	31,013	0,6917		
Vmax	Homem	61,9747	10,0491	0,1546	-4,32	significativo
	Mulher	59,2966	7,8005	0,174		
Ahent	Homem	-0,2223	0,0803	0,0012	-7,9	significativo
	Mulher	-0,2047	0,051	0,0011		
CO2ent	Homem	5,3085	3,2569	0,0501	-4,6	significativo
	Mulher	5,0643	2,6577	0,0593		
VI	Homem	31,326	8,7985	0,1354	2,43	significativo
	Mulher	32,0878	5,4469	0,1215		
Avm ax	Homem	0,3645	0,1176	0,0018	0,23	não significativo
	Mulher	0,3654	0,0895	0,002		
Pitch	Homem	45,2721	11,1727	0,1719	5,56	significativo
	Mulher	47,7897	9,5517	0,2131		
Ahsai	Homem	0,0688	0,0303	0,0005	-6,16	significativo
	Mulher	0,0645	0,0221	0,0005		
V150	Homem	57,1378	8,9225	0,1373	-1,83	significativo
	Mulher	56,0911	7,7421	0,1727		
CO2sai	Homem	43,2799	10,7652	0,1656	-4,76	significativo
	Mulher	41,2215	7,6929	0,1716		

5.4 Diferenças entre Condutores

Atendendo a que nem todos os condutores percorreram o circuito de Porto de Mós, a análise comparativa do comportamento dos condutores foi efectuada recorrendo ao subconjunto da amostra global correspondente às lombas que contaram com os dados relativos a todos⁴² os

⁴² É de referir que face à metodologia adoptada nas fases de recolha de dados particularmente na validação o número de passagens numa determinada lomba, geralmente, não é o mesmo para os vários condutores. Apesar deste facto as diferenças entre esse número foram consideradas baixas pelo que se prosseguiu com a análise. Testes exploratórios recorrendo à média de cada condutor confirmaram a validade desta opção.

condutores, totalizando 3753 passagens por lombas. Deste modo, os valores médios apresentados são ligeiramente diferentes, embora de forma não muito notória, dos valores apresentados no ponto 5.2.

A caracterização apresentada é fundamentalmente comparativa sendo analisado o comportamento dos condutores em termos de velocidades, acelerações, passagem na lomba e emissões de CO₂. Refira-se que este procedimento é similar ao adoptado em outros estudos nesta área (Barbosa, 1995; Bastos Silva, 2004). Foram assim analisadas as variáveis **Dabr**, **Vmax**, **V-75**, **VI**, **V150**, **V-75VIV150**, **Ahent**, **Ahsai**, **AhentAhsai**, **Avmax** e **Pitch**.

Inicialmente foram efectuadas análises do tipo *One-Way* ANOVA⁴³ com o intuito de verificar, para cada uma das variáveis, se o factor *condutor* era ou não significativo na explicação da variância registada. Um dos pressupostos deste tipo de análise é de que as variâncias entre os vários grupos (18 condutores) sejam idênticas. Para testar esse efeito recorreu-se ao teste *Levene*. Este teste revelou que existem diferenças estatisticamente significativas entre as variâncias dos vários condutores para todas as variáveis anteriormente referidas. Ainda assim o recurso ao teste *One-Way* ANOVA é legítimo dada a sua robustez, dimensão da amostra e o facto de os grupos, terem dimensões que se podem considerar semelhantes (Pestana e Gageiro, 2008). A sua aplicação teve como resultado um nível de significância ($sig \leq 0,0005$) para todas as variáveis o que é indicativo de que existem diferenças entre os condutores analisados.

Para cada variável, os condutores foram escalonados de acordo com o valor da média sendo, posteriormente, segregados em três grupos. Estes três grupos foram formados assumindo uma repartição praticamente equitativa que coloca no grupo dos valores mais baixos os valores inferiores ao percentil 30 da distribuição das leituras e no grupo dos valores elevados, os valores localizados acima do percentil 70 da distribuição. Os restantes valores são incluídos num grupo central correspondente aos valores médios⁴⁴ (Figura 5.9).

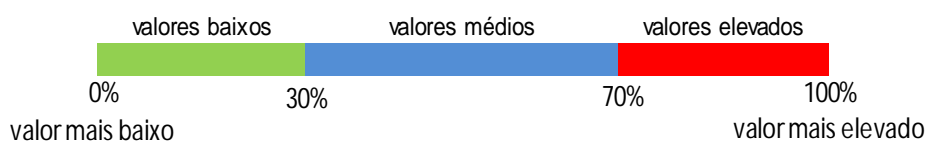


Figura 5.9 – Intervalos de variação definidos para a análise comportamental dos condutores

⁴³ Acrónimo de *ANalysis Of Variance*. Trata-se de uma análise de variância simples sendo um método utilizado para análise de experiências com vários grupos de observações classificados através de um só factor (Pestana e Gageiro, 2008)

⁴⁴ Refira-se que foram feitas análises de sensibilidade a esta repartição, designadamente na consideração de fronteiras correspondentes aos quartis 25 e 75, verificando-se que apesar das pequenas oscilações dos resultados – dependentes da variável em estudo – os resultados eram, de forma geral, consistentes.

Foi verificada a existência de diferenças estatísticas relevantes entre os grupos formados recorrendo ao método dos contrastes ortogonais. Trata-se de um estudo efectuado à priori sendo uma metodologia bastante robusta que possibilita, por conseguinte, a formação de ilações fundamentadas (Pestana e Gageiro, 2008). Em todas as análises efectuadas verificou-se a existência de diferenças significativas entre os diversos grupos.

5.4.1 Distância de Abrandamento e Velocidades

Fazendo uma análise às variáveis registadas no trecho precedente à lomba, verifica-se que a distância de abrandamento (**Dabr**) varia, em média, entre 82 e 99,8 m com uma média de 90,9 m e uma amplitude entre valores extremos de 17,7 m. A diferença percentual entre os valores extremos, que assume o valor de 21,6%, pode considerar-se moderada (Quadro 5.7). A análise estatística efectuada a esta variável, revela, para todos os condutores, uma influência diminuta dos *outliers* estando os valores da mediana, média e média aparada a 5% sempre bastante próximos. Em termos médios, a variação percentual das leituras relativas aos condutores com comportamentos extremos (condutor 1 e 13) cifrou-se em 21,6%. Embora a gama de variação inter-condutor (Figura 5.10) seja elevada, verifica-se que os valores da variável **Dabr** estão maioritariamente concentrados na gama dos 90-100 m.

Em todas as velocidades analisadas os *outliers* tiveram uma influência negligenciável nos resultados finais, aspecto confirmado pela proximidade dos valores relativos à mediana, média e média aparada a 5%.

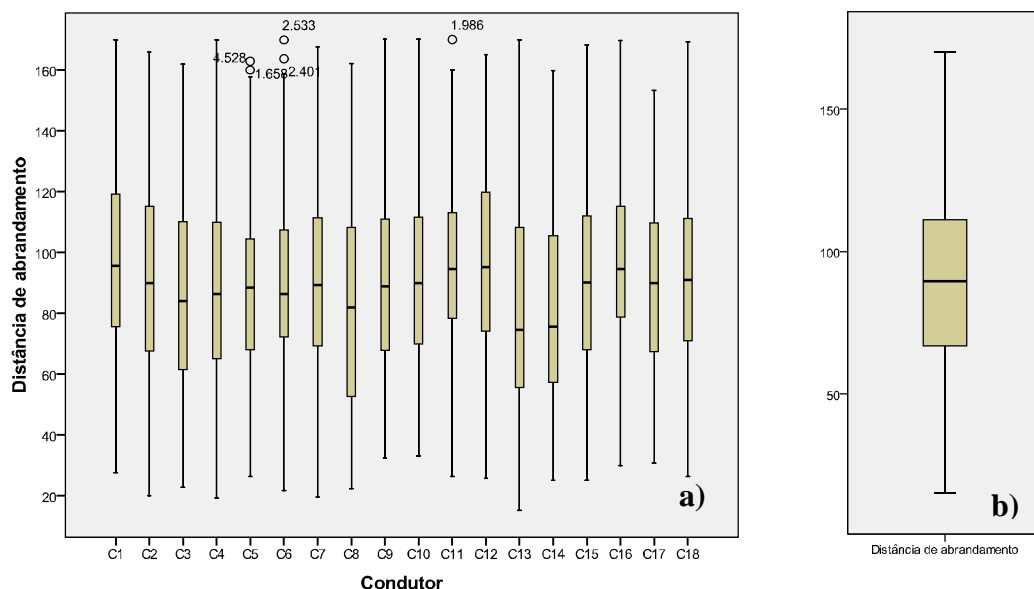


Figura 5.10 – Caixas de bigodes da variável **Dabr** por condutor (a) e geral (b)

Pela observação dos valores constantes no Quadro 5.7 verifica-se que a ordem relativa dos condutores é relativamente estável entre a **Vmax** e a **V-75** mas altera-se, de forma assinalável, na passagem pela lomba (**VI**). Estes resultados indiciam que a adopção de velocidades elevadas na aproximação à lomba não é, necessariamente, indicativa de velocidades elevadas na sua transposição. Por exemplo, o condutor 10 caracteriza-se por adoptar valores de **Vmax** e **V-75** elevados sendo, no entanto, um dos mais lentos na passagem sobre a lomba. Neste sentido a associação, que por vezes se efectua, entre a condução rápida e a tolerância a algum desconforto na condução, nem sempre se verifica. Comparando as posições relativas entre as velocidades na aproximação (**Vmax** e **V-75**) e a **V150** os paralelismos são mais fáceis de traçar sendo que, por exemplo, o condutor 13 classificado como o mais rápido na **Vmax** e **V150**, é o segundo mais rápido na **V-75** e os três condutores mais lentos na **Vmax** e **V-75** ocupam também esses lugares na **V150**. No entanto, esta eventual correlação tem várias excepções sendo exemplo disso o condutor 18 que ficou em décimo primeiro na **Vmax** é o segundo na **V150**. Refira-se também o condutor 16 que registou a maior velocidade na lomba, registando ainda os maiores valores de aceleração vertical máxima na lomba tendo contribuído de forma significativa para o número de *outliers* acima da média registados nesta variável.

 Quadro 5.7 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de **Dabr** e velocidades

Ordem	Distância (m)		Velocidades (km/h)									
	Condutor	Dabr	Condutor	Vmax	Condutor	V-75	Condutor	VI	Condutor	V150	Condutor	V-75, VI e V150
1	13	82,0	13	69,2	10	66,6	16	43,0	13	63,1	16	168,2
2	8	84,9	10	68,7	13	65,5	15	38,5	18	62,8	1	163,4
3	14	86,2	6	66,8	5	65,1	1	37,7	16	62,4	15	162,8
4	3	86,3	5	66,6	6	65,0	6	36,8	1	62,0	5	162,0
5	4	87,7	9	66,5	9	64,0	5	36,6	15	61,3	6	161,7
6	12	88,0	1	65,7	1	63,7	17	36,3	9	60,9	13	161,4
7	5	88,1	15	65,6	17	63,1	3	36,2	10	60,8	9	159,8
8	6	88,9	14	65,2	15	63,1	4	35,0	5	60,3	17	159,5
9	9	89,1	16	65,0	14	63,0	9	34,8	17	60,1	18	156,0
10	17	89,6	17	64,9	16	62,9	13	32,9	6	59,8	10	155,7
11	10	91,3	18	64,2	18	61,8	14	32,5	14	58,2	14	153,7
12	7	91,8	4	62,4	4	60,1	2	32,2	2	57,1	3	153,1
13	2	94,2	3	61,5	3	59,8	18	31,4	3	57,0	4	151,8
14	15	94,4	11	61,5	11	58,9	8	30,5	4	56,7	2	148,0
15	16	94,7	2	60,7	2	58,8	12	29,4	11	55,9	12	141,3
16	18	95,7	7	59,1	7	57,0	10	28,3	7	55,4	7	140,6
17	11	99,0	12	58,8	12	56,8	7	28,3	12	55,1	11	136,4
18	1	99,8	8	55,3	8	53,7	11	21,5	8	51,1	8	135,3
média	90,9		63,7		61,6		33,3		58,8		153,7	
intervalo de variação	17,7		14,0		12,9		21,4		12,0		32,9	
variação percentual entre valores extremos	21,6		25,3		24,0		99,5		23,4		24,3	

Nota: Os valores a verde estão abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, os valores a azul estão entre os 30 e os 70% e os valores a vermelho estão acima dos 70%

Esta análise qualitativa foi aferida recorrendo ao modelo Log-linear⁴⁵ aplicado à classificação quantitativa das variáveis **V-75**, **VI** e **V150** as quais foram recodificadas dando origem a mais três variáveis em que acrescentou um “R” à designação inicial. A recodificação seguiu os critérios anteriormente expostos tendo sido atribuídos os valores 0, 1 e 2 para lento, médio e rápido, respectivamente, segundo o código de cores do Quadro 5.7.

A análise revelou a existência de um modelo de quase simetria entre as variáveis **V-75R** e **VIR** significando, por conseguinte, que condutores que adoptam velocidades maiores na zona de aproximação (**V-75**) são os mais lentos na passagem da lomba (**VI**). Não deixa de ser uma observação curiosa que indicia que os condutores mais rápidos adoptam comportamentos de maior conforto na passagem da lomba, verificando-se igualmente a situação oposta.

Quadro 5.8 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis **V-75R** e **VIR**

V-75R	VIR	Observed		Expected	
		Count	%	Count	%
0 lento	1 médio	464,500	0,2	464,500	0,2
	2 rápido	0,500	0,0	0,500	0,0
1 médio	1 médio	595,500	0,3	595,500	0,3
	2 rápido	0,500	0,0	0,500	0,0
2 rápido	1 médio	220,500	0,1	220,500	0,1
	2 rápido	712,500	0,4	712,500	0,4

A mesma análise aplicada à relação entre as variáveis **V-75R** e **V150R** comprovou a existência de uma elevada associação positiva e significativa entre as velocidades antes e depois da lomba ($p \geq 0,011$). Ou seja, os condutores que apresentam velocidades mais elevadas (mais baixas) antes da lomba tendem a ser, igualmente, mais rápidos (lentos) depois da lomba. Transparece assim claramente a existência de estilos de condução marcados mas diversificados existindo, para além disso, condutores que não se enquadram em nenhum estilo.

Quadro 5.9 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis **V-75R** e **V150R**

V150R	V-75R	Observed		Expected	
		Count	%	Count	%
1 médio	0 lento	245	15,44%	245	15,44%
	1 médio	595	37,49%	595	37,49%
	2 rápido	0	0,00%	0	0,00%
2 rápido	0 lento	0	0,00%	0	0,00%
	1 médio	0	0,00%	0	0,00%
	2 rápido	747	47,07%	747	47,07%

A diferença absoluta entre o condutor mais rápido e o mais lento situa-se em torno dos 25%, com a excepção da **VI** em que esse valor é de praticamente 100%. É expectável que esta

⁴⁵ Os modelos *Log-linear* permitem analisar a relação entre variáveis qualitativas independentemente da existência de variáveis de resposta (Pestana e Gageiro, 2009).

situação se deva, fundamentalmente, à conjugação de vários factores. Por um lado, pelas diferenças expectáveis na tolerância ao desconforto induzido pela lomba e, por outro lado, ao facto do condutor mais rápido e o mais lento, nesta variável, terem uma diferença relativa elevada para o condutor mais próximo. Assim o condutor mais rápido (C16) é, em média, 4,5 km/h mais célere que o segundo mais rápido e o mais lento tem uma velocidade de cerca de 7 km/h inferior ao penúltimo (Quadro 5.7 e Figura 5.11). Estas diferenças são bastante acentuadas aumentando, de forma apreciável, o intervalo de variação. Se se excluirmos estes dois condutores (C16 e C11) a diferença é de apenas cerca de 10 km/h o que, ainda assim, é uma diferença relevante dada a ordem de grandeza da velocidade em análise.

Deste modo e dado que nenhum dos condutores se revelou como sendo o mais rápido em todas as secções de análise, recorreu-se a uma variável adicional que pudesse auxiliar no ordenamento relativo dos condutores em termos de comportamento a este nível, incorporando as várias fases do percurso. Essa variável foi obtida pela soma das variáveis **V-75**, **VI** e **V150** conforme descrito no ponto 4.6.5. A **Vmax** não foi incorporada dado que, por um lado, é muito idêntica à **V-75** e, por outro lado, a nova variável engloba já uma componente das três fases principais do evento de condução, nomeadamente, a abordagem, transposição e saída da lomba. Para facilidade de leitura, a variável assim obtida foi designada de **V-75VIV150** e a sua caixa de bigodes é apresentada na Figura 5.12. De acordo com o ordenamento obtido, a partir desta variável, 4 condutores estão no grupo que está abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, 6 estão entre os 30 e os 70% e por fim, 8 condutores estão acima dos 70%.

Observando a Figura 5.11 é também notório que o comportamento dos condutores apresenta diferenças relevantes relativamente à consistência nas velocidades adoptadas. Como exemplo o condutor 15 apresenta uma amplitude inter-quartil de 21,3 km/h, enquanto que o condutor 8 regista apenas 5,9 km/h denotando uma maior homogeneidade de valores de velocidade nas diversas situações analisadas. Em termos globais a amplitude inter-quartil cifrou-se, para o conjunto dos condutores, em 10,7 km/h e a média da variável **VI** em 33,6 km/h.

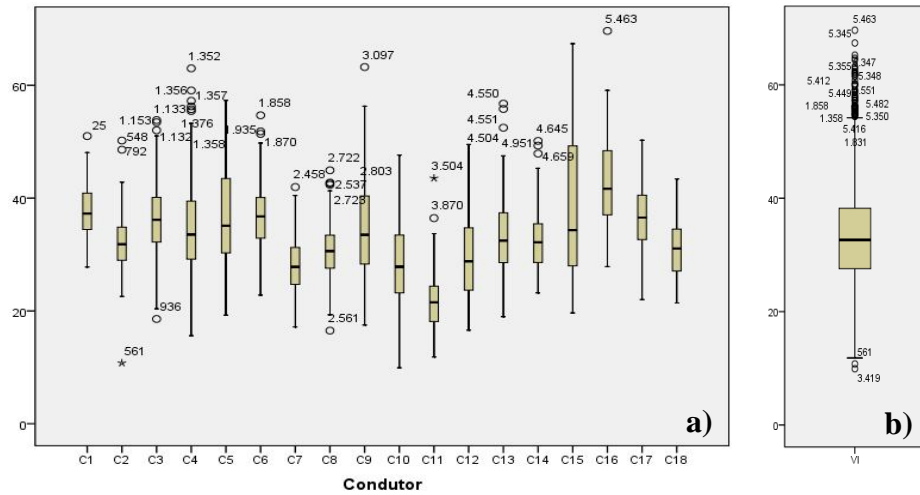


Figura 5.11 – Caixas de bigodes da variável VI por condutor (a) e geral (b)

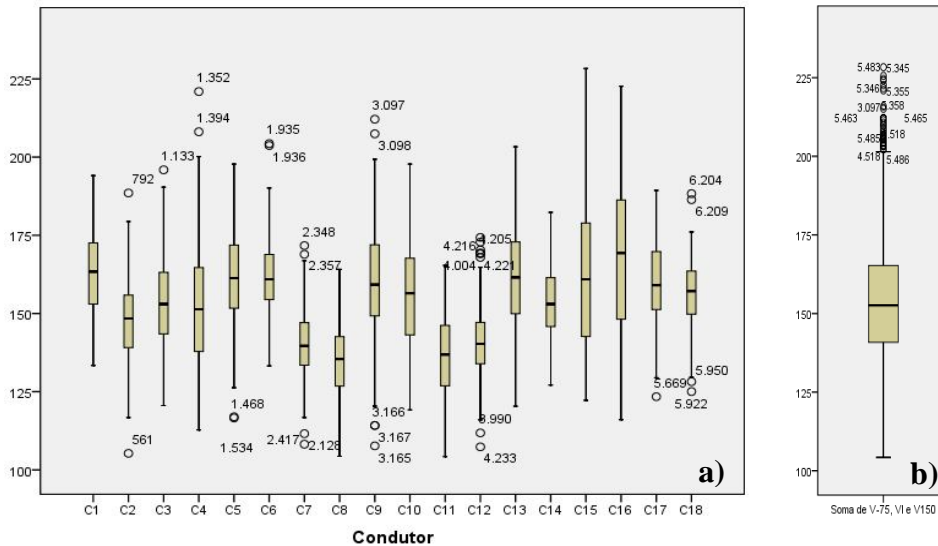


Figura 5.12 – Caixas de bigodes da variável V-75VIV150 por condutor (a) e geral (b)

5.4.2 Acelerações Longitudinais

No que concerne às acelerações longitudinais foram analisadas as variações médias das variáveis **Ahent** e **Ahsai**, tendo-se ainda considerado uma variável agregada correspondente à soma do módulo destas duas variáveis, designada de **AhentAhsai**. Esta variável traduz assim a agressividade global adoptada por cada condutor tendo em consideração, cumulativamente, o seu comportamento à entrada e à saída da lombá.

Conforme já apresentado anteriormente (ver 5.2.3) a aceleração na travagem é bastante superior, em módulo, à aceleração na saída da lombá, sendo esse resultado comum a todos os condutores (Quadro 5.10). Os valores à entrada variam entre -0,316 e -0,184 g o que se traduz

numa diferença percentual de 71,2% e espelha a adoção de diferentes níveis de agressividade inter-condutor. A variação desde o condutor mais suave na travagem (C16) até ao terceiro mais agressivo (C6) é relativamente reduzida situando-se as maiores diferenças entre os dois condutores mais agressivos (C10 e C13). A observação das medidas de dispersão, para todos os condutores a média, mediana e média aparada a 5% assumem valores idênticos, pelo que os *outliers* assumem uma influência diminuta.

À saída da lomba, os valores oscilam entre 0,0510 e 0,0892 g com uma média de 0,070 g não tendo, igualmente, os *outliers* uma influência relevante. A caixa de bigodes conjunta de todos os condutores revela, pela amplitude inter-quartil, níveis de consistência diferenciados entre os condutores não sendo, no entanto, as diferenças muito acentuadas. No caso desta variável a variação de valores faz-se de forma relativamente contínua entre o condutor mais suave (C4) e o que adopta maior valor de aceleração (C18). Verifica-se também (Quadro 5.10) que o ordenamento relativo dos condutores não é o mesmo nas variáveis **Ahent** e **Ahsai** mas é notória alguma tendência para que condutores que travam de forma acentuada adoptem, igualmente, por acelerações mais elevadas após a passagem da lomba.

Esta percepção foi confirmada pela análise log-linear cujo modelo é saturado ou seja com um bom ajustamento que confirma a associação positiva entre as variáveis em questão (Quadro 5.11).

Por sua vez, a Figura 5.13 apresenta os resultados relativos à variável **AhentAhsai**. As diferenças comportamentais ao nível da aceleração são notórias sendo essa variação importante quer em termos de inter-condutor, quer em termos de consistência associada ao mesmo condutor, realçando-se a variabilidade relativa ao condutor 11 e a uniformidade de valores dos condutores C7 e C8.

Quadro 5.10 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de acelerações longitudinais

Ordem	Aceleração (g)					
	Condutor	Ahent	Condutor	Ahsai	Condutor	AhentAhsai
1	10	-0,316	18	0,0892	10	0,3925
2	13	-0,282	11	0,0871	13	0,3665
3	6	-0,245	13	0,0826	11	0,3139
4	14	-0,244	9	0,0769	18	0,3069
5	1	-0,230	10	0,0768	14	0,3056
6	17	-0,228	12	0,0684	6	0,305
7	11	-0,227	2	0,0683	9	0,299
8	5	-0,226	7	0,0681	1	0,295
9	9	-0,222	3	0,0644	17	0,292
10	18	-0,218	5	0,0641	5	0,290
11	4	-0,214	1	0,0632	7	0,273
12	7	-0,205	17	0,0625	4	0,267
13	8	-0,201	6	0,0606	3	0,265
14	3	-0,200	16	0,0599	2	0,261
15	2	-0,192	15	0,0598	8	0,259
16	15	-0,191	14	0,0578	12	0,258
17	12	-0,189	8	0,0546	15	0,252
18	16	-0,184	4	0,0510	16	0,246
média	-0,223		0,070		0,291	
intervalo de variação	0,131		0,038		0,146	
variação percentual entre valores extremos	71,2		74,7		59,3	

Nota: Os valores a verde estão abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, os valores a azul estão entre os 30 e os 70% e os valores a vermelho estão acima dos 70%

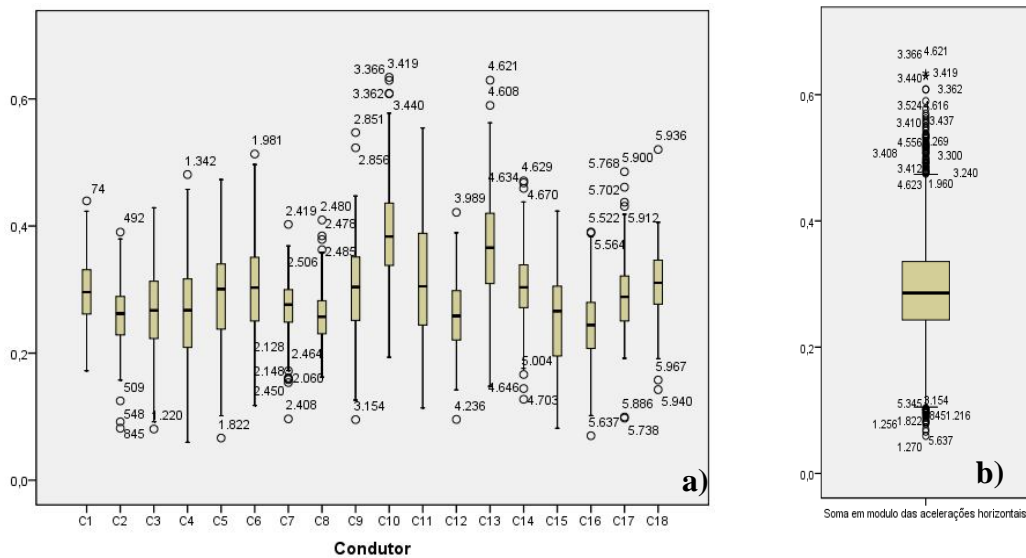


Figura 5.13 – Caixas de bigodes da variável AhentAhsai por condutor (a) e geral (b)

Quadro 5.11 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis **Ahent** e **Ahsai**

AhentR	AhsaiR	Observed		Expected	
		Count	%	Count	%
0 (baixa)	0	851,500	22,7%	851,500	22,7%
	1	1058,500	28,2%	1058,500	28,2%
	2	124,500	3,3%	124,500	3,3%
1 (média)	0	382,500	10,2%	382,500	10,2%
	1	684,500	18,2%	684,500	18,2%
	2	239,500	6,4%	239,500	6,4%
2 (elevada)	0	,500	,0%	,500	,0%
	1	250,500	6,7%	250,500	6,7%
	2	165,500	4,4%	165,500	4,4%

5.4.3 Conforto de Transposição da Lomba

A caracterização do comportamento do condutor na passagem da lomba foi baseada na análise de três variáveis: a velocidade de passagem na lomba (**VI**), a aceleração vertical máxima (**Avmax**) e a rotação angular máxima (**Pitch**).

A **Avmax** média por condutor varia entre 0,292 e 0,508 g, sendo a média global de 0,404 g. A média, mediana e média aparada a 5% são semelhantes podendo-se concluir que os *outliers* têm uma influência pouco relevante embora contribuam para a subida dos valores médios e um acréscimo no desvio padrão. Este efeito deve-se ao facto de os *outliers*, alguns dos quais severos, estarem praticamente todos no último quartil conforme é notório na Figura 5.14. Registe-se que alguns destes *outliers* ultrapassam a unidade atingindo um máximo de 1,348 g valor considerado elevado (Jarvis, 1992). Neste caso é igualmente de registar que o valor médio associado ao condutor 11 se afasta, de forma assinalável, do condutor seguinte (C7) o que já acontecia na velocidade de passagem da lomba, indiciando que se trata de um condutor bastante cuidadoso na passagem das lombas ou que apresenta uma elevada intolerância ao desconforto provocado pela aceleração vertical. Relativamente aos restantes pode verificar-se (Quadro 5.12) que a variação entre condutores é bastante uniforme verificando-se a maior discrepância entre o primeiro e o segundo condutores, sendo essa descontinuidade também verificada ao nível da **VI**. A variação total entre o maior e menor valor cifrou-se nos 74,3% o que sendo um valor expressivo é, porém, inferior à variação registada em termos de velocidade de passagem na lomba.

Em termos de valores de **Pitch** o condutor C11 volta a destacar-se por ter uma média de valores mais baixa e alguma distância em relação ao condutor precedente. O condutor C17, que se posicionou em primeiro lugar, dista igualmente, de forma considerável do segundo (C5). A média dos valores cifrou-se em 46,133 grau/s com uma diferença percentual de

77,2% entre valores extremos. Os *outliers* situam-se, na sua maioria, acima da média contribuindo para a sua subida, embora de forma não muito expressiva, conforme se pode comprovar pela proximidade dos valores da média, mediana e média aparada a 5%.

Finalmente, importa perceber as inter-relações entre estas três variáveis, procurando identificar eventuais estratégias, definidas pelos condutores, para transposição da lomba. A análise log-linear (Quadro 5.13) vem, conforme esperado, confirmar uma elevada associação positiva entre as categorias homólogas das três variáveis em questão. O facto de a associação não ser integral, embora esteja muito próxima, pode dever-se a um conjunto de factores dos quais se destacam os seguintes: (i) o conjunto de lombas estudado engloba características geométricas diferenciadas; (ii) embora estas variáveis tenham uma evolução semelhante esta não é necessariamente proporcional devido a factores diversos que se relacionam, por exemplo, com o tipo e estado do sistema de suspensão do veículo, a rigidez estrutural deste e o ângulo de passagem na lomba; (iii) as três variáveis, a partir das quais se calculam as médias apresentadas, recolhidas em cada passagem nas lombas, não correspondem, necessariamente, ao mesmo instante de condução. Este último facto deve-se à metodologia de pesquisa integrada no *software* desenvolvido para recolha das variáveis discretas (ponto 4.6). Assim a velocidade registada (**VI**) refere-se à velocidade no instante em que se regista um valor de *Pitch* superior a um valor pré-estabelecido e a **Avmax** e *Pitch* são, por opção inicial, de modo a manter a coerência com a definição das variáveis, os valores máximos registados ao longo de todo o evento de passagem da lomba considerando, por conseguinte, as fases de subida e descida da mesma⁴⁶. Deste modo, as três variáveis só por coincidência se registam exactamente no mesmo instante⁴⁷ embora, correspondam à mesma passagem.

⁴⁶ Na prática o *software* fez, neste caso, uma pesquisa nos dados num raio de 20 m a partir do ponto em que “encontrou” a lomba.

⁴⁷ É de notar que a frequência de aquisição de dados da aceleração vertical e *Pitch* foi de 50 Hz sendo de 5 Hz no caso da velocidade.

Quadro 5.12 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de **VI**, **Avmax** e **Pitch**

Ordem	Condutor	VI (Km/h)	Condutor	Avmax (g)	Condutor	Pitch (grau/s)
1	16	43,0	16	0,508	17	59,013
2	15	38,5	17	0,480	5	51,580
3	1	37,7	15	0,462	16	51,559
4	6	36,8	5	0,437	2	49,514
5	5	36,6	9	0,430	18	49,381
6	17	36,3	18	0,425	3	48,797
7	3	36,2	1	0,419	15	48,582
8	4	35,0	3	0,414	1	47,308
9	9	34,8	4	0,410	4	47,256
10	13	32,9	14	0,400	14	47,079
11	14	32,5	6	0,394	8	46,648
12	2	32,2	2	0,387	9	45,463
13	18	31,4	10	0,383	6	43,074
14	8	30,5	13	0,377	12	42,243
15	12	29,4	12	0,370	7	42,043
16	10	28,3	8	0,365	13	41,954
17	7	28,3	7	0,359	10	40,925
18	11	21,5	11	0,292	11	33,297
<i>média</i>	33,3		0,404		46,133	
intervalo de variação	21,4		0,217		25,716	
variação percentual entre valores extremos	99,5		74,3		77,2	

Nota: Os valores a verde estão abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, os valores a azul estão entre os 30 e os 70% e os valores a vermelho estão acima dos 70%

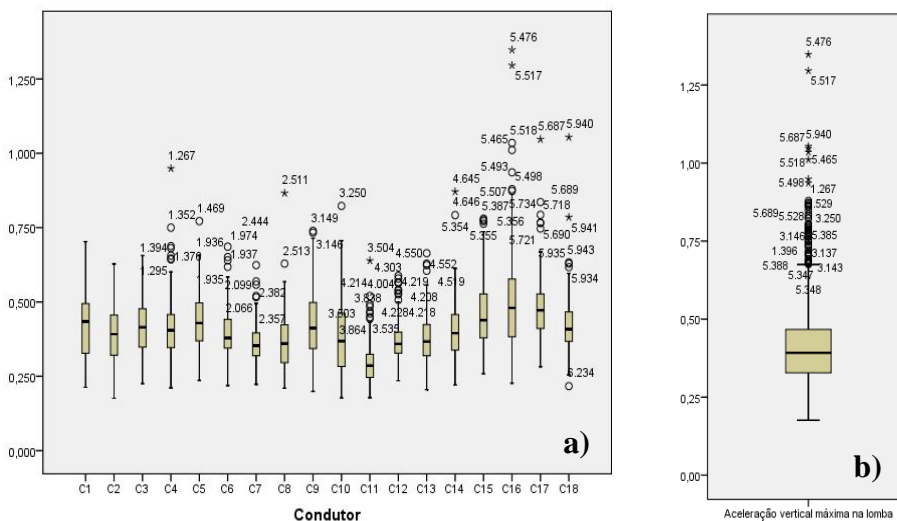


Figura 5.14 – Caixas de bigodes da variável **Avmax** por condutor (a) e geral (b)

Quadro 5.13 – Análise log-linear, valores observados e esperados para as variáveis **VI**, **Avmax** e **Pitch**

VIR	AvmaxR	PitchR	Observed		Expected	
			Count	%	Count	%
0	0	0	239,500	6,4%	239,500	6,4%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	1	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	2	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
1	0	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	1	0	250,500	6,7%	250,500	6,7%
		1	1962,500	52,1%	1962,500	52,1%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	2	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	157,500	4,2%	157,500	4,2%
2	0	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	1	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	457,500	12,1%	457,500	12,1%
		2	255,500	6,8%	255,500	6,8%
	2	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	228,500	6,1%	228,500	6,1%
		2	205,500	5,5%	205,500	5,5%

Nota: "0" valor baixo; "1" valor médio; "2" valor elevado

5.4.4 Consistência de Condução

Foi efectuada uma análise da consistência de condução dos condutores tendo como objectivo principal a caracterização das variações intra-condutor no que concerne ao seu comportamento no evento de condução.

A análise incide nas velocidades adoptadas ao longo dos trechos estudados tendo-se recorrido, numa primeira fase, às variáveis **VI** e **V-75VIV150** e de forma a excluir a variabilidade inerente aos diferentes locais adoptados, considerou-se apenas a lomba L1aCB. O critério de selecção desta lomba teve apenas como justificação o facto de ser, de entre o conjunto de lombas estudadas aquela que foi percorrida por todos os condutores e que registou a maior amostra, assegurando ainda uma repartição equitativa pelos diversos condutores⁴⁸. Numa segunda fase a análise foi repetida utilizando o mesmo conjunto de variáveis mas alargando o leque de locais a todos os que foram percorridos pela totalidade do grupo dos condutores.

As variáveis seleccionadas procuram reflectir as grandezas que estão mais directamente relacionadas com o comportamento do condutor e, por conseguinte, com a variabilidade deste.

⁴⁸ Foram levadas a cabo análises de sensibilidade com outras lombas com tipologias e características geométricas diferentes cujos resultados não revelaram diferenças significativas nem qualquer alteração às ilações retiradas neste ponto.

Assim a **VI** reflecte o comportamento numa secção particular do percurso enquanto que a **V-75VIV150** caracteriza esse comportamento, de forma agregada, nas secções determinantes como sejam a aproximação, transposição e retoma de velocidade após a saída da lomba. Refira-se, igualmente, que esta análise de consistência foi baseada, essencialmente, nos valores da variância, variação inter-percentil e amplitude de valores registados por cada condutor.

O Quadro 5.14 e Figura 5.16 resumem os dados referentes à primeira fase desta análise. A partir da observação dos valores é, desde logo, possível retirar algumas ilações interessantes.

Assim, em termos de variabilidade intra-condutor, verifica-se que esta assume, na generalidade dos condutores, valores elevados verificando-se que o condutor com valores de **VI** mais próximos entre si apresenta, mesmo assim, uma variação entre valores extremos de 31,4% (condutor 6) enquanto que o condutor mais inconsistente tem para este parâmetro um valor de 118% (condutor 15) o que traduz uma inconsistência elevada na selecção da velocidade de passagem nessa lomba em condições de circulação livre. Os valores do desvio padrão, variância e intervalo interpercentil revelam as diferenças na homogeneidade de condução e, recorrendo ao critério já exposto no ponto 5.4, verifica-se que o condutor 15 se destaca, claramente, como o mais heterogéneo enquanto que, os condutores 9, 10, 16 e 18 adoptam velocidades de passagem na lomba medianamente homogéneas, sendo os restantes mais consistentes neste aspecto.

No que concerne à variável **V-75VIV150** verifica-se que a hierarquia dos condutores é bastante similar sendo o condutor 15 novamente o mais heterogéneo. Neste caso a variação percentual entre os valores extremos não é tão elevada o que é justificado pelo facto de se tratar de uma variável resultante da soma de outras três e, por conseguinte, a ordem de grandeza é diferente conforme se pode verificar através da análise dos valores médios. Nesta conformidade essa variação está compreendida entre um mínimo de 9,7 (condutor 6) e um máximo de 41,6% (condutor 15), enquanto que o desvio padrão varia entre 5,0 km/h (condutor 8) e 18,3 km/h (condutor 15). Considerando que se tratam de passagens realizadas na mesma lomba, sob as mesmas condições de circulação e no mesmo dia, é de assinalar que a variabilidade comportamental dos condutores é, sem qualquer dúvida, um factor a ter em atenção na explicação da variância total da amostra.

Quadro 5.14 – Valores, por condutor, referentes às variáveis VI e V-75VIV150 na lomb L1aCB

Condutor	VI							V-75VIV150						
	Mean	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	% Variation	Interquartile Range	Mean	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	% Variation	Interquartile Range
1	42,0	13,6	3,7	34,9	46,8	33,9	5,6	169,6	80,8	9,0	154,1	180,3	17,0	18,4
2	30,0	19,3	4,4	22,7	37,0	63,1	6,4	151,3	34,5	5,9	141,2	160,1	13,4	9,7
3	28,6	11,4	3,4	24,1	33,1	37,0	6,6	153,4	26,8	5,2	145,9	161,2	10,5	8,0
4	29,9	16,8	4,1	22,0	36,9	67,7	5,8	139,2	171,8	13,1	119,3	167,0	40,0	14,8
5	27,3	18,5	4,3	20,6	33,6	62,8	7,3	150,3	105,6	10,3	131,3	166,2	26,5	15,9
6	30,9	8,2	2,9	27,3	35,9	31,4	3,8	160,5	30,5	5,5	153,9	168,9	9,7	10,3
7	26,2	7,4	2,7	22,0	31,5	43,3	3,9	137,0	39,1	6,3	130,2	149,2	14,6	9,2
8	28,3	9,4	3,1	22,7	31,6	39,2	4,7	136,1	24,9	5,0	127,2	144,9	13,9	8,0
9	31,7	37,8	6,1	22,1	42,8	93,4	9,7	162,8	107,3	10,4	140,4	178,9	27,4	16,4
10	37,9	34,7	5,9	29,8	47,2	58,4	11,1	168,8	54,1	7,4	159,5	180,1	12,9	12,8
11	18,2	10,0	3,2	13,8	23,2	68,4	6,1	144,0	35,7	6,0	134,4	156,5	16,4	8,6
12	24,3	11,8	3,4	18,2	30,0	64,6	5,7	138,1	86,0	9,3	118,6	153,2	29,2	11,3
13	26,0	10,2	3,2	21,9	31,3	42,5	4,6	152,6	117,4	10,8	137,8	171,3	24,3	14,0
14	30,4	20,0	4,5	23,9	37,7	57,5	7,1	148,3	101,2	10,1	127,1	161,6	27,1	13,6
15	27,7	51,5	7,2	19,6	42,8	118,0	12,7	145,2	336,1	18,3	126,4	178,9	41,6	30,2
16	49,3	32,4	5,7	39,9	57,8	44,9	11,7	185,8	184,5	13,6	161,0	203,4	26,3	23,4
17	28,8	11,3	3,4	22,0	34,7	57,9	4,7	142,6	91,3	9,6	123,4	156,8	27,1	16,5
18	27,2	21,5	4,6	22,2	38,3	72,1	5,6	145,9	169,7	13,0	125,0	167,1	33,6	21,6
Menor	18,2	7,4	2,7	13,8	23,2	31,4	3,8	136,1	24,9	5,0	118,6	144,9	9,7	8,0
Média	30,3	19,2	4,2	23,9	37,3	58,7	6,9	151,8	99,8	9,4	136,5	167,0	22,9	14,6
Maior	49,3	51,5	7,2	39,9	57,8	118,0	12,7	185,8	336,1	18,3	161,0	203,4	41,6	30,2

Nota: Valores a verde estão abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, os valores a azul estão entre os 30 e os 70% e os valores a vermelho estão acima dos 70%

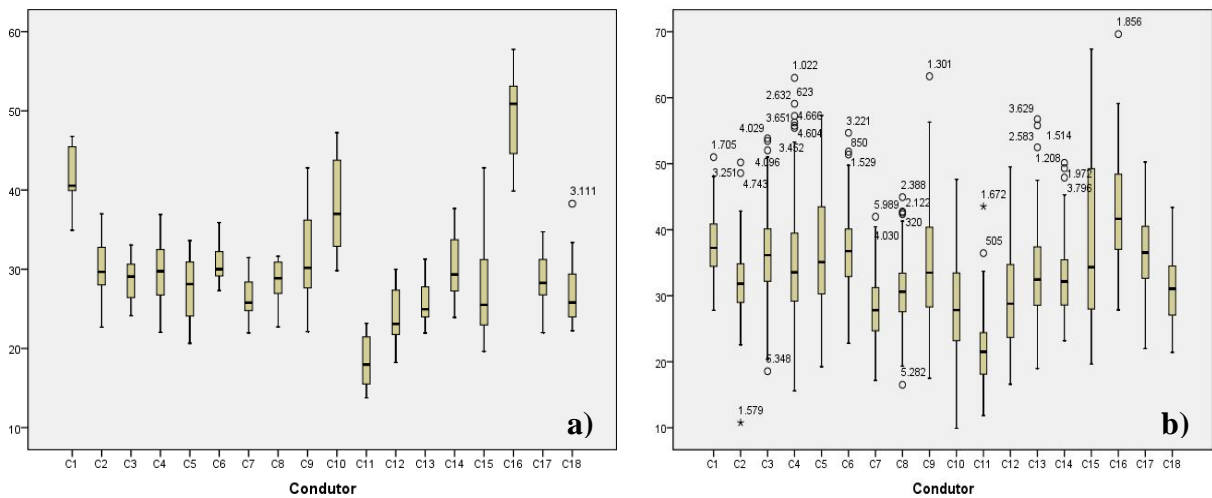


Figura 5.15 – Caixas de bigodes referentes às variáveis VI (a) e V-75VIV150 (b), na lomb L1aCB

Recorrendo à mesma metodologia mas considerando todas as lombas que foram percorridas por todos os condutores (circuitos de Casal do Barril e N110) obtiveram-se os valores constantes do Quadro 5.15 e que estão ilustrados na Figura 5.16. Nestes é possível observar que a variação entre valores extremos da variável VI está compreendida entre 83,5% (condutor 1) e 380,4% (condutor 15) enquanto que o desvio padrão se situa entre 4,6 (condutor 11) e 12,3 km/h (condutor 15). Para a variável V-75VIV150 a grandeza da percentagem de variação entre extremos está entre 43,4 e 66,2% e o desvio padrão entre 10,8 e 24,9 km/h. Nesta análise mais abrangente o condutor 15 revelou-se novamente como sendo

o mais inconsistente. Os restantes condutores têm ordenamentos relativos similares aos verificados anteriormente na análise da lomba L1aCB.

Em termos comparativos é de assinalar que todos os valores da análise agregada (lombas CB e 110) são claramente superiores aos verificados para a lomba L1aCB. Neste aspecto, as diferenças são mais expressivas quando se analisa a variável VI o que é facilmente justificado pela diversidade de geometrias de lombas ao longo dos circuitos de Casal do Barril e N110 face à situação única da lomba L1aCB. Por outro lado, refira-se que na análise conjunta, para além da variabilidade geométrica das lombas e enquadramento rodoviário, há a acrescer o facto de se estarem a considerar eventos de condução em dias distintos, sendo expectável que o comportamento do condutor possa ser dissemelhante nas várias sessões de condução realizadas. A variabilidade de comportamentos intra-condutor, é corroborada por vários estudos comportamentais nesta área (Rimmö e Hakamies-Blomqvist, 2002; Bastos Silva, 2004; Eugenia Gras et al., 2006; Warner e Aberg, 2006; Stephens e Groeger, 2009).

Quadro 5.15 – Valores referentes às variáveis VI e V-75VIV150 nas lombas CB e 110

Condutor	VI							V-75VIV150						
	Mean	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	% Variation	Interquartile Range	Mean	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	% Variation	Interquartile Range
1	37,7	21,9	4,7	27,8	51,0	83,5	6,5	163,4	158,5	12,6	133,4	194,1	45,5	19,6
2	32,2	21,8	4,7	10,8	50,2	366,3	5,9	148,0	165,6	12,9	105,3	188,5	79,1	16,9
3	36,2	40,8	6,4	18,6	53,8	189,9	8,0	153,1	206,9	14,4	120,6	195,9	62,5	19,8
4	35,0	65,5	8,1	15,6	63,0	304,0	10,6	151,8	367,6	19,2	112,8	221,0	96,0	26,9
5	36,6	75,4	8,7	19,3	57,3	197,6	13,4	162,0	221,4	14,9	116,6	197,7	69,6	20,3
6	36,8	31,7	5,6	22,8	54,7	139,9	7,3	161,7	144,8	12,0	133,3	204,3	53,3	14,6
7	28,3	22,4	4,7	17,2	42,0	144,6	6,6	140,6	116,6	10,8	108,2	171,7	58,7	13,7
8	30,5	21,0	4,6	16,5	44,9	172,2	5,9	135,3	117,6	10,8	104,3	164,1	57,3	15,9
9	34,8	79,5	8,9	17,5	63,2	261,5	12,1	159,8	304,9	17,5	107,7	212,1	97,0	22,8
10	28,3	54,6	7,4	9,9	47,6	380,4	10,3	155,7	240,8	15,5	119,2	197,8	65,9	24,6
11	21,5	21,0	4,6	11,8	43,5	267,9	6,3	136,4	156,1	12,5	104,2	165,4	58,6	19,5
12	29,4	47,2	6,9	16,6	49,5	198,5	11,4	141,3	135,1	11,6	107,4	174,3	62,4	13,5
13	32,9	43,6	6,6	19,0	56,8	199,0	8,9	161,4	260,5	16,1	120,3	203,3	69,0	23,1
14	32,5	25,1	5,0	23,2	50,1	116,2	6,9	153,7	125,7	11,2	127,1	182,3	43,4	15,8
15	38,5	151,7	12,3	19,6	67,4	243,1	21,3	162,8	580,8	24,1	122,2	228,3	86,8	36,4
16	43,0	55,9	7,5	27,8	69,6	150,1	11,5	168,2	543,3	23,3	116,0	222,7	91,9	38,5
17	36,3	30,2	5,5	22,0	50,3	128,5	7,9	159,5	182,9	13,5	123,4	189,3	53,4	18,7
18	31,4	29,2	5,4	21,4	43,4	102,8	7,5	156,0	124,8	11,2	125,0	188,3	50,6	13,8
Menor	21,5	21,0	4,6	9,9	42,0	83,5	5,9	135,3	116,6	10,8	104,2	164,1	43,4	13,5
Média	33,4	46,6	6,5	18,7	53,2	202,6	9,4	153,9	230,8	14,7	117,1	194,5	66,2	20,8
Maior	43,0	151,7	12,3	27,8	69,6	380,4	21,3	168,2	580,8	24,1	133,4	228,3	71,2	38,5

Nota: Valores a verde estão abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, os valores a azul estão entre os 30 e os 70% e os valores a vermelho estão acima dos 70%

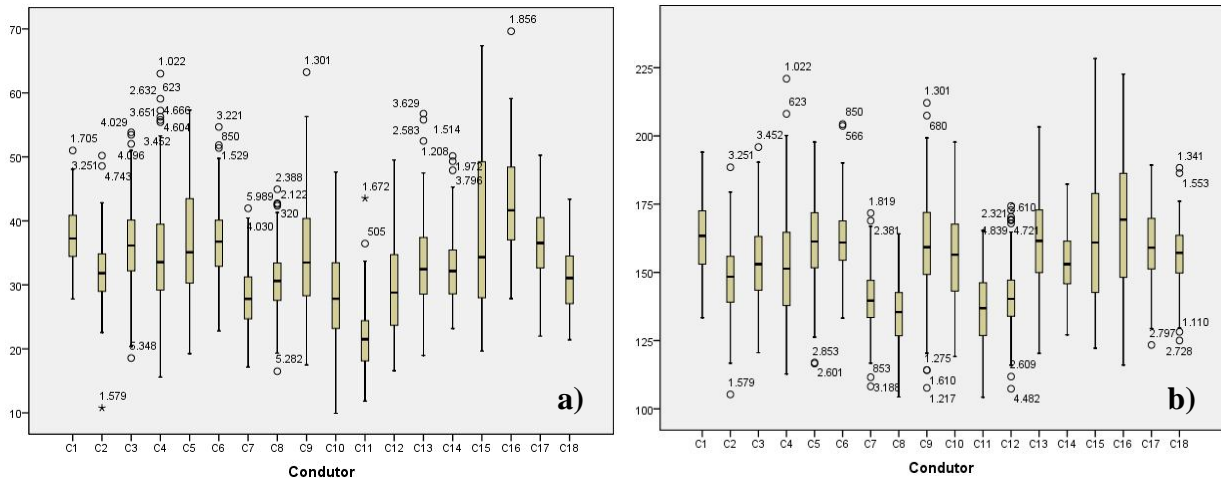


Figura 5.16 – Caixas de bigodes referentes às variáveis **VI** (a) e **V-75VIV150** (b) nas lombas CB e 110

Embora a abordagem à consistência comportamental dos condutores não constituía um produto acabado, como corolário da análise efectuada, ressalta o facto da variabilidade intra-condutor ser um factor claramente relevante na explicação da variabilidade de valores observados.

5.4.5 Síntese

Tendo por base as análises apresentadas nos pontos anteriores, o Quadro 5.16 resume a prestação do grupo de condutores em relação aos três principais parâmetros compostos analisados: (i) a rapidez na condução expressa pela variável agregada **V-75VIV150**; (ii) a agressividade traduzida pela variável agregada **AhentAhsai**; (iii) o conforto na transposição da lomba quantificado pela variável **Avmax**. Para cada um destes três parâmetros os condutores foram classificados em três grupos de acordo com as considerações tecidas nos pontos anteriores e cujas designações são auto-explicativas. A observação deste Quadro realça, mais uma vez, a disparidade de comportamentos entre os diversos condutores que tem como reflexo uma gama alargada de tipologias de condução. A conjugação da velocidade com a agressividade não permite identificar a existência de algum comportamento padrão, encontrando-se todo o tipo de situações combinatórias possíveis. De igual forma, a conjugação do conforto de passagem na lomba também não evidencia qualquer padrão uniforme. Este facto embora dificulte a formação de grupos homogêneos em termos comportamentais, dentro da amostra de condutores, não deixa de ser indicativo da validade da estruturação da análise nestes três parâmetros de base.

Quadro 5.16 – Parâmetros caracterizadores do comportamento do condutor

Condutor	Velocidade	Agressividade	Conforto na lomba
	V-75 VIV150	AhentAhsai	Avmax
1	elevada	média	médio
2	média	baixa	médio
3	média	baixa	médio
4	média	baixa	médio
5	elevada	média	médio
6	elevada	média	médio
7	baixa	baixa	médio
8	baixa	baixa	médio
9	elevada	média	médio
10	média	elevada	médio
11	baixa	média	elevado
12	baixa	baixa	médio
13	elevada	elevada	médio
14	média	média	médio
15	elevada	baixa	baixo
16	elevada	baixa	baixo
17	elevada	média	baixo
18	média	média	médio

A análise log-linear aplicada a estes três parâmetros revelou um bom ajustamento (sendo o modelo saturado) embora sem correlações fortes entre os três parâmetros. Assim em termos de padrões detectáveis é de assinalar que velocidades baixas estão associadas a níveis de agressividade baixos e médios e, por sua vez, a níveis de conforto médios a elevados. Se a velocidade for média pode estar associada a todos os níveis de agressividade sendo o mais baixo o predominante e em termos de conforto o valor médio é o único presente. Para velocidades elevadas surgem os três níveis de agressividade com prevalência do médio, sendo que, em termos de conforto existem apenas valores baixos e médios.

Quadro 5.17 – Análise log-linear, valores observados e esperados para a velocidade, agressividade e conforto

VelocidadeR	AgressividadeR	ConfortoR	Observed		Expected	
			Count	%	Count	%
0	0	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	661,500	17,6%	661,500	17,6%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	1	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	239,500	6,4%	239,500	6,4%
	2	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
1	0	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	595,500	15,8%	595,500	15,8%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	1	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	321,500	8,5%	321,500	8,5%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	2	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	250,500	6,7%	250,500	6,7%
		2	,500	,0%	,500	,0%
2	0	0	433,500	11,5%	433,500	11,5%
		1	,500	,0%	,500	,0%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	1	0	157,500	4,2%	157,500	4,2%
		1	932,500	24,8%	932,500	24,8%
		2	,500	,0%	,500	,0%
	2	0	,500	,0%	,500	,0%
		1	165,500	4,4%	165,500	4,4%
		2	,500	,0%	,500	,0%

5.5 Influência do Comportamento dos Condutores nas Emissões de CO₂

De acordo com o exposto no capítulo 3 os condutores que adoptem comportamentos caracterizados por velocidades e acelerações longitudinais elevadas serão, tendencialmente, os que originam maiores níveis de poluição. O presente ponto centra-se na análise desta hipótese tendo por base um processo de caracterização e hierarquização dos condutores relativamente aos níveis de poluição emitidos.

Em termos de emissões de CO₂, os valores de acordo com a variável **CO2tot**, variam entre 40,7 e 56,6 gr centrando-se a média nos 47,9 gr (Quadro 5.18). A variação total entre valores extremos é, em termos percentuais de quase 40%, valor considerado elevado dado que esta diferença é apenas explicada pelo estilo de condução adoptado pelos diversos condutores. Refira-se ainda que este resultado está em consonância com a gama de valores referidos no ponto 3.4.4.

Quadro 5.18 – Valores e ordenamento relativo dos condutores em termos de **CO2tot**

Ordem	Condutor	CO2tot (gr)
1	13	56,6
2	10	55,7
3	18	54,2
4	11	52,4
5	9	50,5
6	14	47,9
7	1	47,5
8	6	47,3
9	15	47,1
10	2	46,8
11	7	46,7
12	5	45,8
13	12	45,7
14	17	45,2
15	4	44,4
16	16	44,4
17	3	43,5
18	8	40,7
<i>média</i>		47,9
intervalo de variação		16,0
variação percentual entre valores extremos		39,3

Nota: Os valores a verde estão abaixo dos 30% do intervalo de variação entre extremos, os valores a azul estão entre os 30 e os 70% e os valores a vermelho estão acima dos 70%

O Quadro 5.19 resume o desempenho relativo dos condutores no que se refere a velocidades, apresentando-se as velocidades consideradas relevantes para esta análise e também a variável agregada **V-75VIV150**, a aceleração horizontal à saída e o nível de emissões de CO₂. Esta abordagem não tem como objectivo determinar correlações entre as diversas velocidades e a aceleração à saída da lomba mas sim avaliar a eventual existência de correlações entre estas variáveis e o nível de emissões.

Nesta conformidade observa-se que existe, de facto, uma clara tendência para que velocidades elevadas e particularmente acelerações elevadas se reflectam num nível de emissões elevado sendo a situação contrária igualmente possível. Assim verifica-se que todos os condutores que apresentam níveis de aceleração elevados estão também associados a um mau desempenho ambiental. Por outro lado, quase todos os condutores que adoptam níveis de aceleração baixos estão associados, igualmente, a níveis de emissão baixos com as excepções a esta regra a terem níveis de emissões médios. Ao nível das velocidades a correlação não é tão notória mas verifica-se, igualmente, a existência de uma tendência para que a rapidez se reflecta em desempenhos ambientais menos favoráveis.

Deste modo, e para esta situação específica de condução, a agressividade na condução revela comparativamente à velocidade adoptada um maior contributo explicativo para o nível de emissões poluentes.

Quadro 5.19 – Caracterização qualitativa do comportamento dos condutores e nível emissões poluentes

Condutor	Velocidades			Aceleração	Emissões Poluentes
	Vmax	V-75VIV150	V150	Ahsai	CO2tot
1	elevada	elevada	elevada	média	médio
2	média	média	média	média	médio
3	média	média	média	média	baixo
4	média	média	média	baixa	baixo
5	elevada	elevada	elevada	média	médio
6	elevada	elevada	elevada	baixa	médio
7	baixa	baixa	média	média	médio
8	baixa	baixa	baixa	baixa	baixo
9	elevada	elevada	elevada	média	médio
10	elevada	média	elevada	média	elevado
11	média	baixa	média	elevada	elevado
12	baixa	baixa	média	média	médio
13	elevada	elevada	elevada	elevada	elevado
14	elevada	média	média	baixa	médio
15	elevada	elevada	elevada	baixa	médio
16	média	elevada	elevada	baixa	baixo
17	média	elevada	elevada	média	baixo
18	média	média	elevada	elevada	elevado

A análise log-linear efectuada confirmou, na íntegra, as considerações anteriores verificando-se uma elevada associação positiva entre as variáveis **Ahsai** e **CO2tot** (quadros no anexo 3.3). No que concerne à relação das diversas velocidades com a variável **CO2tot** embora haja alguma correspondência, ela não é tão notória.

5.6 Síntese Conclusiva

Neste capítulo foram efectuadas várias análises com o intuito principal de, em termos gerais, caracterizar o comportamento dos condutores, mas também de balizar os valores e gamas de variação assumidos pelas principais variáveis dinâmicas recolhidas e valores de poluição emitidos.

A primeira comparação efectuada entre os subgrupos de condutores e condutoras revelou a existência de dissimilaridades, estatisticamente significativas, para a maior parte das variáveis analisadas entre estes dois grupos sendo, no entanto, as diferenças registadas muito baixas em termos percentuais. Assim o grupo de condutoras revelou, em termos de velocidades adoptadas, um comportamento ligeiramente mais lento e menos agressivo o que se reverteu num desempenho ambiental ligeiramente mais favorável.

Analisando o grupo de condutores entre si verifica-se que a amplitude de variação dos valores de todas as variáveis analisadas é assinalável. Esta constatação permite concluir que existem,

ao nível da condução, comportamentos bastante díspares e que vêm confirmar a expectativa inicial de que, juntamente com a infra-estrutura, o comportamento do condutor tem um papel fulcral na definição dos perfis de velocidade e, por conseguinte, também de aceleração ao longo do evento de condução. A segregação do comportamento do condutor em três parâmetros distintos, velocidade, aceleração e conforto de passagem na lomba, realçou a existência de uma grande heterogeneidade de combinações de resultados, não sendo evidentes a definição de comportamentos padrão na ponderação global destes três parâmetros. Este facto comprova o nível de variabilidade e a complexidade subjacente aos estudos comportamentais aplicados à condução já descritas em outros estudos desta natureza (Golias e Karlaftis, 2001; Eugenia Gras et al., 2006; Warner e Aberg, 2006; Stephens e Groeger, 2009), onde a heterogeneidade e inconsistência dos condutores não pode ser ignorada.

Em termos de consistência de condução, a análise efectuada revelou que os condutores, de uma forma geral, têm uma variabilidade apreciável na selecção de velocidades nas várias passagens efectuadas para a mesma situação quer em termos de infra-estrutura quer no que concerne às condições de circulação. A variabilidade de comportamentos intra-condutor assume-se assim como um factor importante na explicação da variância observada das base de dados (discreta e contínua).

Já no que concerne às emissões de CO₂ os resultados são mais consistentes confirmando-se, a relação positiva entre os valores de velocidade e, em particular da aceleração à saída, nas emissões de CO₂. Neste aspecto particular é de realçar a diferença percentual entre valores extremos que se cifrou em cerca de 40% confirmando o papel central do condutor nesta questão.

6. Modelação dos Efeitos das Lombas

6.1 Introdução

Este capítulo centra-se na avaliação do desempenho global das lombas como medida de acalmia de tráfego e também sob o ponto de vista das emissões de CO₂. Nesse sentido serão analisados alguns aspectos determinantes tais como a velocidade de passagem na lomba e avaliação da redução de velocidade atingida, a variação da aceleração vertical e a influência da presença das lombas nas emissões de CO₂. Estas abordagens terão uma primeira fase exploratória de cada um dos factores potencialmente influentes à qual se segue uma análise conjunta recorrendo a técnicas de estatística avançada. O desenvolvimento dos modelos foi efectuado recorrendo a uma metodologia interactiva que envolveu, por um lado, o recurso às potencialidades do *software* SPSS e, por outro lado, à observação gráfica do comportamento das várias variáveis e dos resultados dos modelos obtidos. Face à tipologia e quantidade de variáveis envolvidas foi adoptado como base um modelo de regressão múltipla hierarquizada. A utilização da regressão múltipla é justificada face ao número de variáveis independentes. O recurso a modelos hierárquicos deve-se ao facto de se pretender que as variáveis independentes entrem nos modelos sequencialmente segundo conjuntos de variáveis que reflectem a importância esperada desses conjuntos para a explicação do fenómeno. Este tipo de abordagem é, em geral, utilizada quando existe uma noção prévia da importância de cada variável ou grupo de variáveis para a qualidade do modelo (Field, 2009). Esta técnica foi considerada como a mais adequada relativamente aos métodos *stepwise*⁴⁹ dado que nestes a selecção de variáveis é efectuada pelo programa recorrendo a critérios matemáticos o que segundo alguns autores (Boslaugh e Watters, 2008; Field, 2009) pode retirar ao analista importantes decisões metodológicas e o controlo do desenvolvimento do modelo. Assim estes métodos devem, preferencialmente, cingir-se a análises exploratórias (Field, 2009).

Finalmente, recorrendo à mesma metodologia são desenvolvidos dois modelos matemáticos de estimação da velocidade ao longo da zona de influência da lomba, os quais constituem uma ferramenta interessante que permite uma aferição célere das velocidades expectáveis nas imediações de uma lomba quer esta já exista ou esteja ainda em fase de estudo a sua eventual implementação.

⁴⁹ Os métodos *stepwise* podem ser do tipo *Forward* no qual entra uma variável de cada vez de acordo com a variância explicada ou *Backward* sendo que neste caso as variáveis entram todas em simultâneo seguindo-se uma fase em que o *software* vai retirando variáveis segundo critérios de relevância para o modelo (Field, 2009).

Dado que este tipo de análises gera um volume apreciável de quadros e figuras, de forma a aumentar a legibilidade do texto, optou-se por remeter maioritariamente esses elementos para anexo mantendo no texto principal apenas os elementos considerados essenciais para a compreensão da análise e dos principais resultados obtidos.

6.2 Velocidade na Lomba

Este ponto centra-se no estudo da velocidade registada na lomba. Para o efeito considerou-se vantajoso iniciar o estudo identificando as eventuais inter-relações existentes entre a velocidade na lomba (**VI**) e as características geométricas desta (**T**, **h** e **lt**), da via (**P** e **lfr**), do enquadramento rodoviário (**Visent**) e a velocidade de máxima na aproximação à lomba. Essa identificação foi realizada de forma individual, avaliando-se a influência de cada variável isoladamente recorrendo-se, sempre que adequado, à ferramenta *Curve Estimation*⁵⁰ do programa SPSS. Por se tratar de uma análise exploratória não se considerou, nesta fase, relevante desenvolver uma análise aos resíduos das modelações.

Numa segunda fase é feita uma avaliação conjunta do efeito cumulativo das variáveis, recorrendo a uma regressão linear múltipla hierarquizada, sendo a ordem de entrada das variáveis no modelo determinada pelo resultado da qualidade do ajustamento de cada uma das variáveis analisadas isoladamente.

6.2.1 Tipo de Lomba

O efeito do tipo de lomba (**T**) revelou-se, em termos globais, praticamente negligenciável dada a proximidade dos valores médios da velocidade registada nas lombas de cada uma das tipologias consideradas (Figura 6.1). Os valores médios das lombas circulares e trapezoidais são 31,3 km/h e 31,7 km/h, respectivamente, sendo ainda os valores dos correspondentes desvios padrão igualmente semelhantes. A aplicação do teste *t-student* aponta para a não existência de significância estatística entre as diferenças de valores (ponto 3.4 do anexo). Estes resultados confirmam os obtidos noutros estudos similares que apontam para o facto do formato da lomba não ter um efeito marcante na velocidade de transposição adoptada pelos condutores (Bjarnason, 2004).

É de realçar que atendendo à forma como a recolha de dados foi realizada, com os condutores a percorrerem repetidamente os percursos onde se localizam as lombas e descartando os

⁵⁰ Tal como a sua designação indicia esta ferramenta permite determinar qual a curva que melhor se adapta a um conjunto de dados facultando os coeficientes de regressão e os valores que traduzem a qualidade do ajustamento.

primeiros percursos, se deve considerar que os condutores são condutores habituais, perfeitamente conhecedores das tipologias das lombas que encontram.

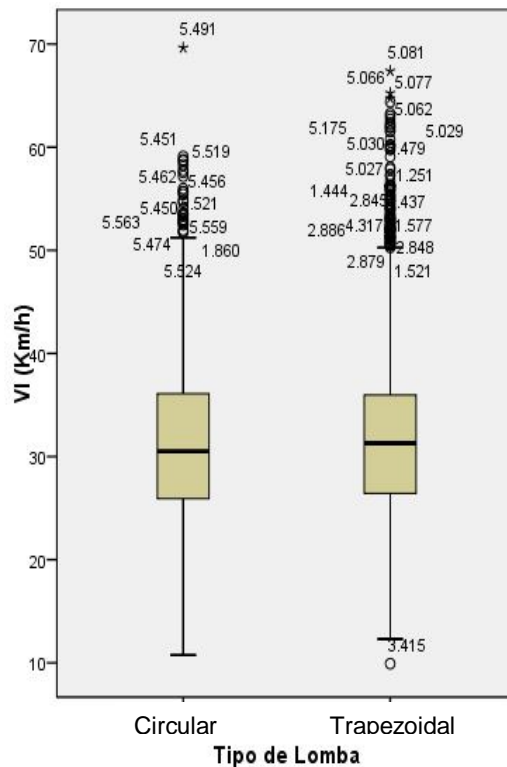


Figura 6.1 – Caixa de bigodes da velocidade na lomba segundo a tipologia desta

6.2.2 Altura da Lomba

Como seria expectável confirmou-se que a altura da lomba (**h**) assume um efeito significativo na velocidade registada na sua transposição. De facto e segundo a Figura 6.2 verifica-se a existência de uma tendência para que esta diminua com o aumento de altura da lomba. A significância dessa inter-relação foi confirmada pela aplicação do teste *One-way* ANOVA. Esta constatação é concordante com resultados de outros estudos científicos (Watts, 1973; Baguley, 1981; Weber, 1998) que apontam para o facto de o aumento da altura na lomba originar, para a mesma velocidade de passagem, um aumento da aceleração vertical e, consequentemente, um aumento do desconforto, tendendo assim a induzir o condutor a reduzir a sua velocidade de circulação.

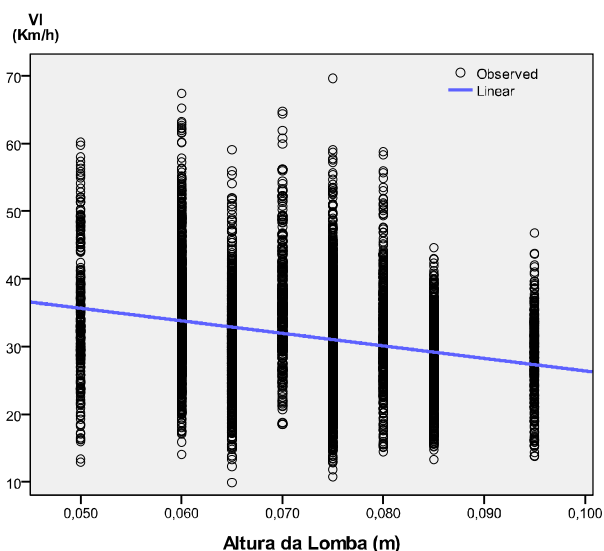


Figura 6.2 – Velocidade na lomba em função da sua altura

O recurso à ferramenta *curve estimation* do SPSS revelou que a relação linear era a que assegurava melhor ajustamento à regressão simples, apresentando-se no Quadro 6.1, os correspondentes resultados finais. A recta de regressão obtida está representada na Figura 6.2, onde é igualmente evidente a variabilidade dos valores observados. De facto, a variância explicada por esta variável é baixa embora tenha significância estatística (análise *One-way ANOVA* no ponto 3.4 do anexo) sendo os valores de R e R² de 0,248 e 0,061, respectivamente. Os valores de R e R², embora estatisticamente significativos, são baixos indiciando a existência de efeitos associados a outras variáveis ou factores que contribuam para justificar a variância observada.

Em termos médios, estima-se que um aumento de 1 cm da altura da lomba possa traduzir-se na diminuição de cerca de 1,85 km/h na velocidade de transposição da lomba. Este valor é superior ao indicado por Engel e Thomsen (Engel e Thomsen, 1992) conforme exposto no ponto 2.4.10.

Quadro 6.1 – Coeficientes da regressão simples para a variável **VI** em função de **h**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Altura da Lomba	-185,174	9,168	-,248	-20,199	,000
(Constant)	44,912	,668		67,281	,000

6.2.3 Comprimento da Lomba

A mesma análise aplicada ao comprimento da lomba (**It**) revelou que a sua influência na velocidade de passagem na lomba é relativamente baixa embora se evidencie uma ligeira

tendência positiva (Figura 6.3). A curva que melhor se ajustou às observações foi a equação quadrática embora a diferença em relação à regressão linear seja diminuta. Esta última acabou por se considerar mais adequada dado que o recurso à equação quadrática obtida implicava que a variável **VI** assumisse valores mais baixos dentro do intervalo de variação da variável **It** o que, à partida, não terá muita lógica e contraria outros estudos nesta área (Vejdirektoratet, 1991; Weber, 1998). É de assinalar que o conjunto de lombas utilizadas neste estudo se pode considerar, neste aspecto, pouco robusto dada a descontinuidade de valores do comprimento visível na Figura 6.3. Os valores de R e R² são de 0,073 e 0,005, respectivamente. Apesar destes serem bastante baixos, a aplicação do teste *One-way* ANOVA, comprova que a variável tem significância estatística. Estima-se assim que um aumento de 1 m no comprimento da lomba seja capaz de induzir a um aumento de 0,346 km/h na **VI** (Quadro 6.2).

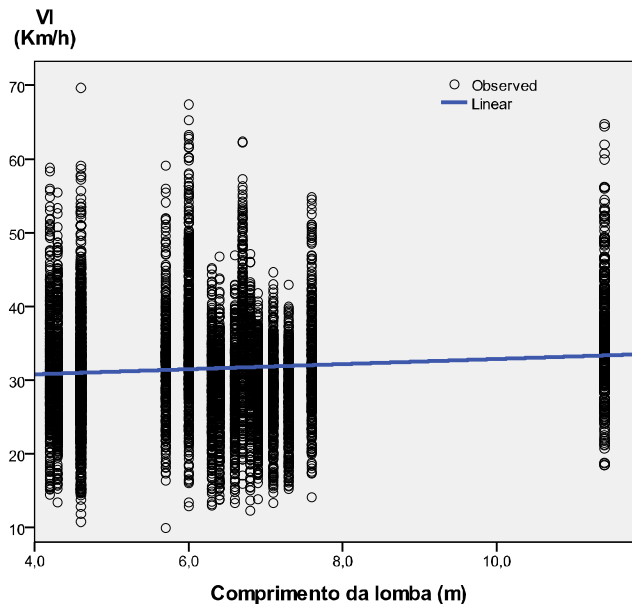


Figura 6.3 – Velocidade na lomba segundo o comprimento desta

Quadro 6.2 – Coeficientes da regressão simples para a variável **VI** em função de **It**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Comprimento da Lomba	,346	,060	,073	5,751	,000
(Constant)	29,398	,391		75,198	,000

6.2.4 Existência de Passeio

Relativamente à existência de passeio, verifica-se que a velocidade média na lomba é ligeiramente mais elevada nas situações em que há passeio conforme é visível na Figura 6.4.

A diferença não é muito elevada cifrando-se em termos globais, em cerca de 2,6 km/h. Verifica-se também a existência de um número apreciável de *outliers* acima da média fazendo com que esta suba, de forma ligeira, nas duas situações. Foi realizado o teste *t-student* que permitiu verificar que a diferença nas médias apresentava relevância estatística.

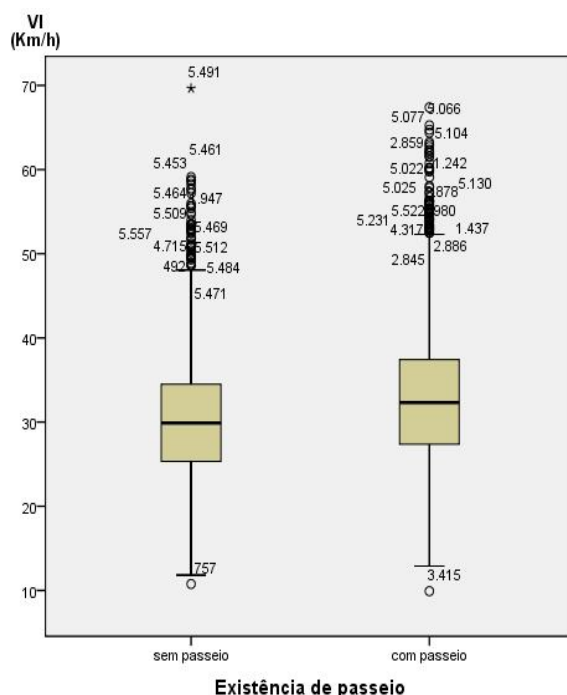


Figura 6.4 – Velocidade na lombas segundo a existência de passeio

Estes resultados aparentemente contrariam o que seria expectável, já que a materialização de passeios, é frequentemente apontada como uma medida eficaz de acalmia de tráfego (Ewing, 1999; DfT, 2007). Este resultado, indicia contudo a existência de correlações e inter-relações desta variável com outras podendo alterar o efeito global.

6.2.5 Largura da Faixa de Rodagem

A análise aplicada à largura da faixa de rodagem (*lfr*) revelou que esta variável assume uma influência quase negligenciável na definição da velocidade de transposição da lombas (Figura 6.5). De facto, a recta de regressão ajustada é praticamente horizontal, revelando uma aleatoriedade de distribuição das observações. Também em relação a esta variável, a aplicação do *curve estimation* do SPSS comprova que os melhores resultados foram obtidos por uma equação quadrática. No entanto, esta possibilidade foi preterida em relação à recta pelas mesmas razões já apontadas aquando da análise da influência do comprimento da lombas. Os valores de R e R^2 são iguais a 0,003, ou seja, a percentagem da variância explicada é extremamente baixa. Sublinhe-se ainda o facto de o coeficiente da variável (Quadro 6.3) ter

um valor negativo significando que a velocidade na lomba tende a aumentar com a diminuição da largura da faixa de rodagem. Esta tendência contrária, mais uma vez, o que seria expectável, o que reforça a ideia de que poderá haver correlações fortes inter-variáveis sendo, deste modo, essencial que estes efeitos sejam analisados em conjunto o que é efectuado no ponto 6.2.8.

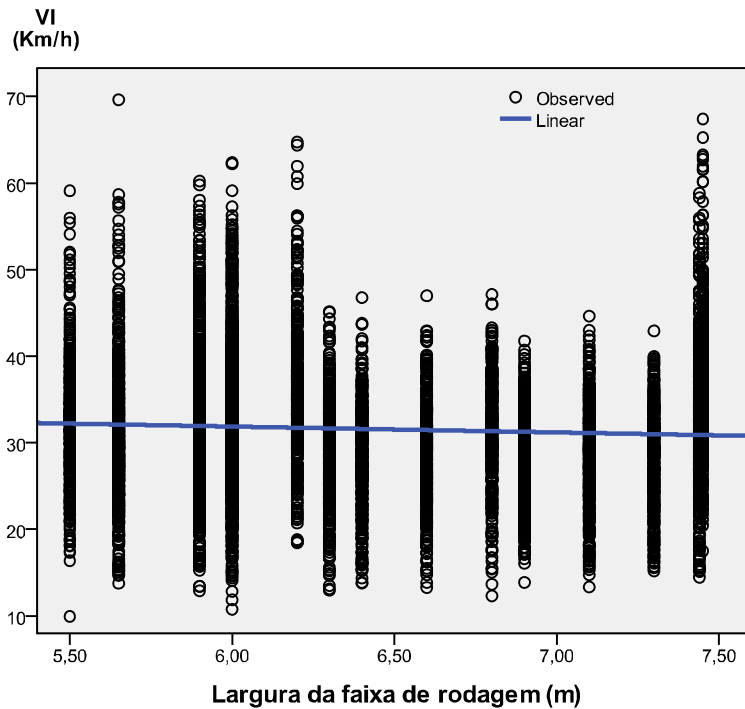


Figura 6.5 – Velocidade na lomba segundo a largura da faixa de rodagem (**lfr**)

Quadro 6.3 – Coeficientes da regressão simples para a variável **VI** em função de **lfr**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Largura da faixa de rodagem	-,678	,162	-,053	-4,183	,000
(Constant)	35,932	1,047		34,313	,000

6.2.6 Distância de Visibilidade à Lomba

Também a distância de visibilidade à lomba (**Visent**) se revelou uma variável pouco influente na estimação da **VI**, resultando em R^2 de apenas 0,005. Neste caso a curva que melhor se ajustou aos dados observados foi a regressão linear aplicada à variável invertida ($1/\text{Visent}$) (Quadro 6.4). Na Figura 6.6 é visível, pela horizontalidade da curva obtida, que esta variável tem um impacto praticamente negligenciável na velocidade de passagem da lomba aumentando esta, de forma ligeira, à medida que aumenta a visibilidade/distância livre à entrada.

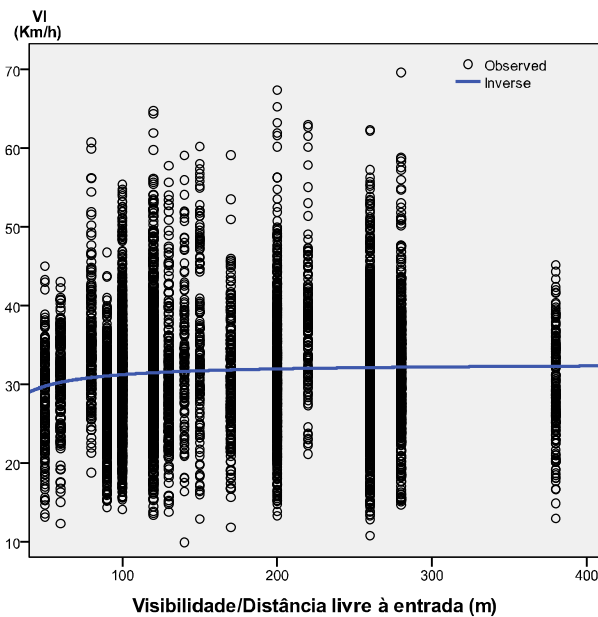


Figura 6.6 – Velocidade na lombas em função da visibilidade/distância livre à entrada (**Visent**)

Quadro 6.4 – Coeficientes da regressão simples para a variável **VI** em função de **Visent**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / Visibilidade/Distância livre à entrada	-146,578	26,101	-,071	-5,616	,000
(Constant)	32,691	,223		146,750	,000

6.2.7 Velocidade na Aproximação

A velocidade máxima na aproximação à lombas (**Vmax**) revelou-se influente na velocidade adoptada na lombas. A curva que melhor se ajustou aos dados observados foi, neste caso, a logarítmica embora a diferença em termos de R^2 relativamente à recta fosse muito pequena (Figura 6.7). Os valores de R e R^2 foram de 0,359 e 0,129 (curva logarítmica), respectivamente, sendo que a aplicação do teste *One-Way* ANOVA comprovou a existência de uma influência estatisticamente significativa da **Vmax** na **VI**. Para velocidades de aproximação da ordem dos 60 km/h, é assim previsível que um aumento de 1 km/h se traduza num aumento aproximadamente, 0,3 km/h, na velocidade na lombas.

Quadro 6.5 – Coeficientes da regressão simples para a variável **VI** em função de **Vmax**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ln(Vmax)	17,798	,586	,359	30,395	,000
(Constant)	-41,407	2,403		-17,233	,000

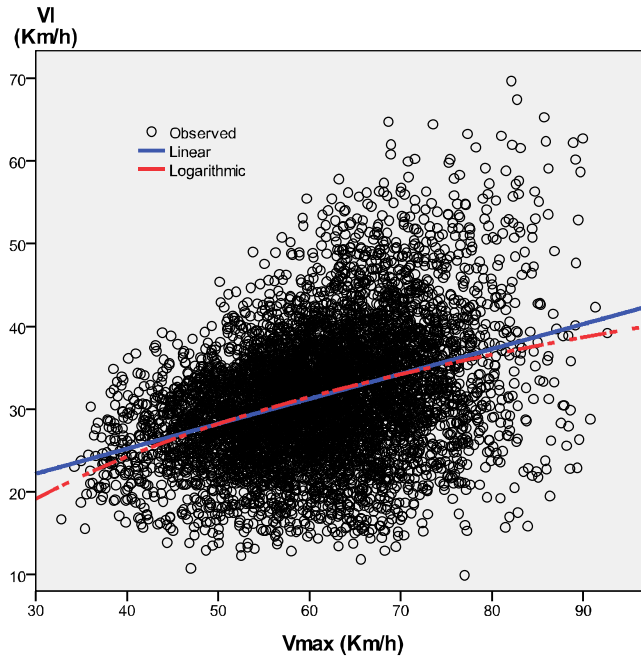


Figura 6.7 – Velocidade na lomba em função da velocidade de aproximação (V_{max})

6.2.8 Modelação Integrada

As análises apresentadas nos pontos anteriores mostram que, de forma isolada, as variáveis mais influentes para a determinação da velocidade na lomba são a sua altura e a velocidade máxima no trecho de aproximação. Todas as outras variáveis mostraram ter um efeito pouco marcante explicando uma percentagem muito baixa das variâncias observadas. Apesar disso, com a excepção da tipologia da lombas, todas apresentam significância estatística.

De modo a avaliar o efeito conjunto das variáveis apresentadas, optou-se por, de acordo com o exposto anteriormente, recorrer a técnicas de regressão linear múltipla hierarquizada, assumindo-se a velocidade na lombas como variável dependente e as restantes como independentes. A ordem de entrada das variáveis no modelo foi, numa fase exploratória, estipulada tendo por base a grandeza de cada um dos valores de R^2 obtidos no ponto anterior. O modelo final resultou de um processo sucessivo e combinatório de acções, tendo em vista a melhoria da qualidade final e robustez do modelo. Assim embora numa fase inicial a variável V_{max} tenha sido logaritimizada para entrar no modelo, de acordo com a indicação do ponto anterior, ela acabou por ter um melhor desempenho quando introduzida de forma directa.

Também as variáveis T , P e V_{isent} acabaram por ser retiradas do modelo final, já que, por um lado, mostraram ter efeitos de multicolinearidade e, por outro lado, por assumirem um efeito quase negligenciável na explicação da variância (R^2). O modelo final adopta a configuração descrita na Equação 6.1 sendo os coeficientes β_0 a β_4 indicados no Quadro 6.8

(modelo 4). Neste quadro pode também observar-se a evolução dos valores dos coeficientes nos quatro modelos correspondentes à entrada sucessiva das variáveis no decurso do processo de modelação. No modelo final verifica-se que todos os coeficientes são positivos com a excepção da altura da lomba (**h**) significando que variações positivas nestas variáveis correspondem a variações igualmente positivas na velocidade de passagem na lomba. Por oposição, a imposição de aumentos na altura da lomba resulta na adopção de menores velocidades de passagem. Todas estas relações entre as variáveis independentes (**Vmax**, **h**, **lt** e **lfr**) e a variável dependente estão em consonância com as expectativas inicialmente traçadas e as abordagens individualizadas apresentadas anteriormente.

$$Vl = \beta_0 + \beta_1 Vmax + \beta_2 h + \beta_3 lt + \beta_4 lfr \quad (6.1)$$

Onde:

Vl – velocidade na lomba (km/h)

Vmax – velocidade máxima na abordagem à lomba (km/h)

h – altura da lomba (m)

lt – comprimento da lomba (m)

lfr – largura da faixa de rodagem (m)

O modelo apresenta um valor de R^2 de 0,191 (Quadro 6.6) o que indica que o nível de variância explicada é relativamente baixa. O Quadro 6.6 permite verificar, igualmente, a evolução do valor de R^2 que, neste caso, dada a dimensão da amostra é bastante próximo do valor de R^2 ajustado. Este valor é justificado considerando a elevada variabilidade nos comportamentos assumidos pelos condutores conforme já foi abordado no capítulo anterior. Em termos de validade deve referir-se que o modelo constitui uma representação significativamente melhor da realidade do que a média tendo um valor do rácio $F(4,6229)$ de 18463,996 valor este estatisticamente significativo para $p > 0,001$ (Quadro 6.7).

A variável **Vmax** é, claramente, a que explica uma maior percentagem de variância observada, seguida da altura da lomba. O comprimento desta e, em particular, da largura da faixa de rodagem têm, neste caso, um peso relativo bastante inferior o que se pode verificar pela observação da evolução do valor de R^2 no Quadro 6.6. Estas observações podem ser confirmadas, de igual forma, pelos valores dos coeficientes β estandardizados constantes do Quadro 6.8 que confirma igualmente a significância de todas as variáveis (colunas t e Sig.).

Quadro 6.6 – Resumo das características do modelo de regressão da VI

Model	Variables Entered	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
						R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	Vmax	,362	,131	,131	7,3491378	,131	939,150	1	6232	,000	
2	h	,412	,170	,169	7,1837767	,039	291,207	1	6231	,000	
3	lt	,434	,189	,188	7,1017636	,019	145,746	1	6230	,000	
4	lfr	,437	,191	,190	7,0938095	,002	14,979	1	6229	,000	1,977

Quadro 6.7 – Análise ANOVA ao modelo de regressão da VI

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	50723,313	1	50723,313	939,150	,000
	Residual	336589,235	6232	54,010		
	Total	387312,548	6233			
2	Regression	65751,524	2	32875,762	637,045	,000
	Residual	321561,024	6231	51,607		
	Total	387312,548	6233			
3	Regression	73102,207	3	24367,402	483,144	,000
	Residual	314210,342	6230	50,435		
	Total	387312,548	6233			
4	Regression	73855,984	4	18463,996	366,916	,000
	Residual	313456,565	6229	50,322		
	Total	387312,548	6233			

Quadro 6.8 – Coeficientes de regressão do modelo VI

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
β_0	1	(Constant)	13,154	,608		21,630	,000	11,962	14,346					
β_1		Vmax	,301	,010	,362	30,646	,000	,282	,321	,362	,362	,362	1,000	1,000
β_0	2	(Constant)	25,356	,930		27,269	,000	23,533	27,179					
β_1		Vmax	,277	,010	,333	28,512	,000	,258	,296	,362	,340	,329	,979	1,022
β_2		h	-148,758	8,717	-,199	-17,065	,000	-165,847	-131,669	-,248	-,211	-,197	,979	1,022
β_0	3	(Constant)	17,843	1,110		16,073	,000	15,667	20,019					
β_1		Vmax	,310	,010	,372	31,029	,000	,290	,329	,362	,366	,354	,907	1,102
β_2		h	-131,862	8,731	-,177	-15,103	,000	-148,977	-114,747	-,248	-,188	-,172	,953	1,049
β_3		lt	,687	,057	,144	12,073	,000	,575	,798	,073	,151	,138	,914	1,094
β_0	4	(Constant)	14,738	1,369		10,769	,000	12,055	17,421					
β_1		Vmax	,312	,010	,375	31,263	,000	,293	,332	,362	,368	,356	,903	1,108
β_2		h	-142,642	9,155	-,191	-15,581	,000	-160,588	-124,695	-,248	-,194	-,178	,865	1,156
β_3		lt	,662	,057	,139	11,581	,000	,550	,774	,073	,145	,132	,903	1,107
β_4		lfr	,600	,155	,047	3,870	,000	,296	,904	-,053	,049	,044	,885	1,129

A análise dos resíduos do modelo revelou que estes se aproximam, de forma notória, da distribuição normal (Figura 6.9) e são independentes de acordo com a indicação do teste

*Durbin-Watson*⁵¹ que assume um valor muito próximo de 2 (Quadro 6.6). Existem *outliers* mas estes são em número reduzido, relativamente ao tamanho da amostra. A análise das distâncias de *Cook*⁵², os *Leverage values*⁵³ e as distâncias de *Mahalanobis*⁵⁴ permite concluir que a influência destes no modelo era diminuta o que foi confirmado por análises de sensibilidade. Ainda assim, estes pontos foram identificados, tendo as correspondentes imagens sido revistas e reanalisadas. Por constituírem passagens consideradas normais (sem condicionalismos ou factores perturbadores) optou-se por as manter na amostra final.

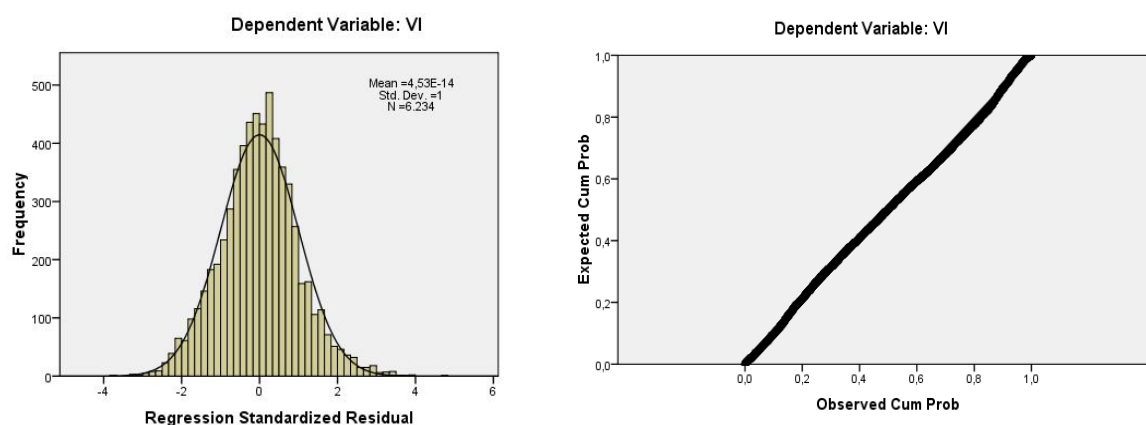


Figura 6.8 – Histograma e *normal P-P plot* dos resíduos estandardizados da variável **VI**

Todas as variáveis têm significância estatística e a análise da colinearidade mostra que esse efeito não é significativo o que é confirmado pelos valores de *VIF*⁵⁵ os quais se aproximam da unidade (Quadro 6.8). A homocedasticidade foi também aferida verificando-se que não existem padrões claros nos resíduos o que é indicativo de que estes têm variâncias similares.

A validade do modelo foi assim conferida para os pressupostos de base deste tipo de análises sendo assumido que as observações são independentes. A gama de valores para os quais o

⁵¹ O teste de *Durbin-Watson*, desenvolvido por *James Durbin e Geoffrey Watson*, tem como objectivo detectar a presença de autocorrelações nos resíduos de uma regressão múltipla. O teste tem resultados compreendidos entre 0 e 4 sendo que valores próximos de 2 são indicativos de baixos níveis de autocorrelação (Pestana e Gageiro, 2005).

⁵² A distância de *Cook* é um teste estatístico desenvolvido por *R. Dennis Cook*, que faculta uma estimativa da influência de cada ponto no modelo de regressão. Permite assim a detecção de pontos com elevada influência que podem merecer uma verificação complementar para aferição da sua validade (Cook, 1977). Distâncias de *Cook* superiores a 1 podem ser consideradas preocupantes (Field, 2009).

⁵³ Medida da influência de cada ponto no modelo de regressão. Valores que tenham uma influência superior a 2 ou 3 vezes a influência média devem ser investigados (Field, 2009).

⁵⁴ Trata-se de uma distância desenvolvida por *Prasanta Chandra Mahalanobis*, baseada nas correlações entre variáveis (Mahalanobis, 1936). Para amostras de grande dimensão ($N > 500$) valores acima de 25 devem ser verificados.

⁵⁵ Acrónimo de *Variance Inflation Factor*. Traduz o efeito da multicolinearidade num conjunto de variáveis utilizadas num modelo de regressão múltipla. Valores próximos de 1 indicam que os efeitos de multicolinearidade são baixos (Field, 2009).

modelo terá um melhor desempenho é definida pela amplitude dos valores extremos de cada variável explicativa utilizada no seu desenvolvimento (Quadro 6.9).

Quadro 6.9 – Gama de valores limite recomendada para utilização do modelo de regressão **VI**

	Mínimo	Média	Máximo
Vmax (km/h)	32,8	61,1	92,6
Altura da lomba (m)	,050	,072	,095
Comprimento da lomba (m)	4,2	6,28	11,4
Largura da faixa de rodagem (m)	5,50	6,44	7,45

Importa contudo tecer algumas considerações complementares. Em primeiro lugar, a variância explicada é baixa, verificando-se que a variável **Vmax** é a mais influente. Das características geométricas analisadas a altura da lomba foi a que se revelou como a mais significativa, assumindo no seu conjunto, um peso explicativo global baixo e inferior ao da **Vmax**. Relembre-se que estes resultados confirmam a análise comparativa apresentada no capítulo anterior, entre velocidades na aproximação e de passagem na lomba, segregada por condutor.

De forma a quantificar a ordem de grandeza do factor “condutor” foi desenvolvido, recorrendo à mesma metodologia de base, outro modelo de regressão incorporando o efeito individualizado de cada condutor, recorrendo a variáveis binárias. No decurso deste processo conclui-se que a inserção de alguns condutores originava efeitos de multicolinearidade pelo que estes foram suprimidos do modelo final conforme a equação genérica seguinte:

$$VI = \beta_0 + \beta_1 Vmax + \beta_2 h + \beta_3 lt + \beta_4 lfr + \beta_5 C_3 + \beta_6 C_4 + \beta_7 C_5 + \beta_8 C_6 + \beta_9 C_8 + \beta_{10} C_9 + \beta_{11} C_{10} + \beta_{12} C_{11} + \beta_{13} C_{16} + \beta_{14} C_{17} + \beta_{15} C_{18} \quad (6.2)$$

Onde:

VI – velocidade na lomba (km/h)

Vmax – velocidade máxima na abordagem à lomba (km/h)

h – altura da lomba (m)

lt – comprimento da lomba (m)

lfr – largura da faixa de rodagem (m)

C_i – variável binária referente a cada condutor que assume o valor um caso seja esse o condutor a considerar e zero se for outro

O modelo final integra a influência relativa a 11 condutores (C3, C4, C5, C6, C8, C9, C10, C11, C16, C17 e C18) estando as características do modelo resumidas no Quadro 6.10. É possível verificar na passagem do modelo 4 para o modelo 5 (correspondente à entrada dos condutores no modelo) que o acréscimo dos valores de R e R² é significativo, traduzindo-se

praticamente numa duplicação do valor de R^2 confirmando a elevada variância explicada pela heterogeneidade comportamental dos condutores.

Refira-se que o modelo responde de forma apropriada aos habituais critérios de robustez sendo lícito afirmar que este constitui uma representação significativamente melhor da realidade do que a média.

Quadro 6.10 – Resumo das características do modelo de regressão **VI**, com condutores

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	,362	,131	,131	7,3491	,131	939,150	1	6232	,000	
2	,412	,170	,169	7,1838	,039	291,207	1	6231	,000	
3	,434	,189	,188	7,1018	,019	145,746	1	6230	,000	
4	,437	,191	,190	7,0938	,002	14,979	1	6229	,000	
5	,596	,355	,354	6,3367	,165	144,399	11	6218	,000	1,928

Por outro lado, no Quadro 6.11, é possível observar a magnitude dos factores β_i intrínsecos a cada um dos condutores sendo de registar a disparidade de valores associados aos diferentes condutores. Refira-se que por uma questão de síntese de informação, no quadro apenas são incluídos os factores referentes ao modelo obtido no final do processo de regressão hierárquica (modelo 5). Assim, o facto de se considerar o condutor C16 implica um acréscimo de 9,807 km/h à velocidade de passagem na lomba, enquanto que para o condutor C11 devem ser subtraídos 6,904 km/h o que se traduz numa diferença, bastante notória, de cerca de 17 km/h entre estes dois casos extremos.

A análise do Quadro 6.11 evidencia, novamente a importância assumida pela **Vmax** na explicação da **VI** (variável associada ao maior valor de β). Curiosamente os condutores C16 e C11 pelos seus comportamentos extremos revelam-se como as variáveis que mais justificam a variação observada, assumindo uma importância superior à altura da lomba.

Dada a especificidade desta análise os restantes quadros e figuras inerentes ao modelo desenvolvido foram inseridos no ponto 3.5 do anexo.

Quadro 6.11 – Coeficientes de regressão do modelo VI, com condutores

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	12,442	1,245		9,993	,000	10,001	14,883					
β_1	Vmax	,324	,009	,389	35,019	,000	,305	,342	,362	,406	,357	,842	1,187
β_2	h	-135,647	8,259	-,182	-16,424	,000	-151,838	-119,457	-,248	-,204	-,167	,848	1,179
β_3	lt	,725	,052	,152	14,067	,000	,624	,826	,073	,176	,143	,887	1,127
β_4	lfr	,730	,139	,057	5,243	,000	,457	1,003	-,053	,066	,053	,877	1,140
β_5	C3	2,353	,361	,068	6,523	,000	1,646	3,060	,093	,082	,066	,942	1,062
β_6	C4	2,975	,467	,066	6,373	,000	2,060	3,890	,078	,081	,065	,956	1,046
β_7	C5	-1,699	,333	-,054	-5,100	,000	-2,352	-1,046	-,068	-,065	-,052	,934	1,071
β_8	C6	2,860	,485	,062	5,894	,000	1,908	3,811	,116	,075	,060	,950	1,052
β_9	C8	1,459	,355	,043	4,108	,000	,763	2,156	,003	,052	,042	,926	1,080
β_{10}	C9	-2,805	,344	-,086	-8,156	,000	-3,479	-2,131	-,062	-,103	-,083	,935	1,069
β_{11}	C10	-6,257	,426	-,156	-14,701	,000	-7,091	-5,423	-,084	-,183	-,150	,924	1,082
β_{12}	C11	-6,904	,325	-,224	-21,252	,000	-7,541	-6,267	-,260	-,260	-,216	,930	1,075
β_{13}	C16	9,807	,461	,222	21,258	,000	8,902	10,711	,267	,260	,216	,952	1,051
β_{14}	C17	3,445	,414	,087	8,321	,000	2,634	4,257	,041	,105	,085	,940	1,064
β_{15}	C18	,892	,374	,025	2,384	,017	,159	1,625	-,006	,030	,024	,940	1,064

6.3 Aceleração Vertical

A aceleração vertical conforme descrito anteriormente (capítulo 2) é geralmente apontada como sendo, para este tipo de situações, um bom indicador do conforto. Nesse sentido os condutores tendem a limitá-la através da selecção da velocidade adoptada na passagem na lomba. Neste ponto será efectuada uma abordagem às variáveis que à partida estão relacionadas com este aspecto, nomeadamente as características geométricas da lomba (**T**, **h** e **lt**) bem como a velocidade de passagem na lomba (**Vl**).

6.3.1 Tipo de Lomba

No que respeita à tipologia da lomba verifica-se que em termos de **Avmax** as lombas circulares provocam, em média, uma aceleração vertical superior às trapezoidais sendo essa diferença de 0,089 g o que não sendo, em termos absolutos, um valor muito elevado representa, no entanto, um acréscimo de 26,4%. Na Figura 6.9 é possível observar que existem, em ambas as tipologias, diversos *outliers* situados acima dos valores médios que contribuem para a subida da média. Uma análise exploratória, efectuada suprimindo da amostra estes valores atípicos não originou, no entanto, alterações relevantes às considerações anteriormente tecidas. A significância estatística da diferença encontrada foi comprovada.

Dado que no ponto 6.2 se verificou que a velocidade de passagem era idêntica em ambos os tipos de lombas este facto, considerado isoladamente, pode indiciar que as lombas circulares

tendem a provocar acelerações verticais superiores. No entanto esta conclusão poderá não ser totalmente válida uma vez que há outros factores, à partida relevantes, tais como a altura e comprimento da lomba que devém, igualmente ser considerados, pelo que a conclusão final deverá depender da análise conjunta das variáveis potencialmente explicativas e que será apresentada adiante.

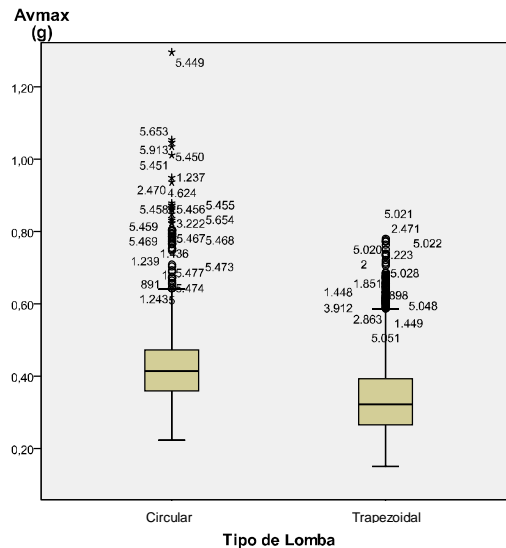


Figura 6.9 – Aceleração vertical máxima por tipo de lomba

6.3.2 Altura da Lomba

Relativamente à altura da lomba, verificou-se que existe uma tendência para as lombas de maior altura apresentarem menores valores de aceleração (Figura 6.10). Neste caso, a equação que traduz de forma mais fiável esta tendência é uma equação quadrática cujos termos se podem observar no Quadro 6.12. Os valores de R e R² são de 0,147 e 0,021, respectivamente indiciando o último destes uma percentagem de variância explicada muito baixa. Ainda assim esta variável tem significância estatística de acordo com o teste *One-Way* ANOVA.

Este resultado e, em particular o facto de as duas variáveis (**Avmax** e **h**) aparentemente, evoluírem em sentidos contrários pode, numa primeira observação, parecer estranho. No entanto este deve ser analisado em conjunto com a variação de outras variáveis importantes e com a avaliação de fenómenos de colinearidade. Importa perceber o efeito conjunto da velocidade de passagem em particular da altura (**h**), já que como anteriormente constatado a subida da altura da lomba tendencialmente origina velocidades de passagem inferiores. Esta constatação é, assim, fundamental para o entendimento da tendência agora observada.

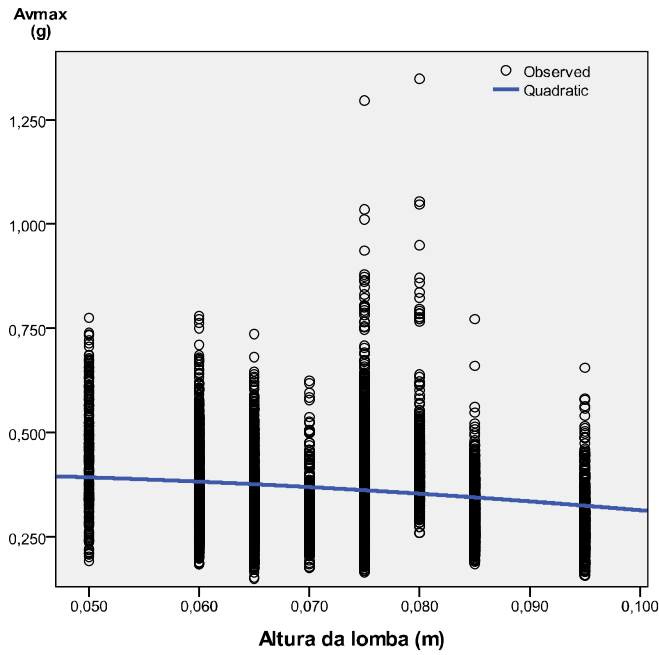


Figura 6.10 – Aceleração vertical máxima em função da altura da lombas

Quadro 6.12 – Coeficientes da regressão simples para a variável **Avmax** em função de **h**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Altura da Lombas	,471	1,355	,045	,348	,728
Altura da Lombas ** 2	-13,662	9,297	-,192	-1,469	,142
(Constant)	,403	,049		8,268	,000

6.3.3 Comprimento da Lombas

O comprimento da lombas (**lt**) revelou-se como sendo um factor importante na explicação da aceleração vertical máxima registada na transposição da lombas, verificando-se que existe uma tendência para a aceleração vertical diminuir com o aumento desse comprimento, com significância estatística verificada pelo teste *One-Way ANOVA*. Essa tendência pode ser observada na Figura 6.11, na qual também se colocou a curva que melhor se adaptou aos dados que neste caso foi obtida invertendo a variável **lt**. Os coeficientes da regressão simples são indicados no Quadro 6.13 sendo os valores de R e R² de 0,413 e 0,170, respectivamente. Estes valores são superiores ao da variável anteriore e podem ser interpretados com robustez já que a velocidade de passagem na lombas tem uma variação pouco acentuada (e positiva) segundo o comprimento da lombas conforme se constatou no ponto 6.2.

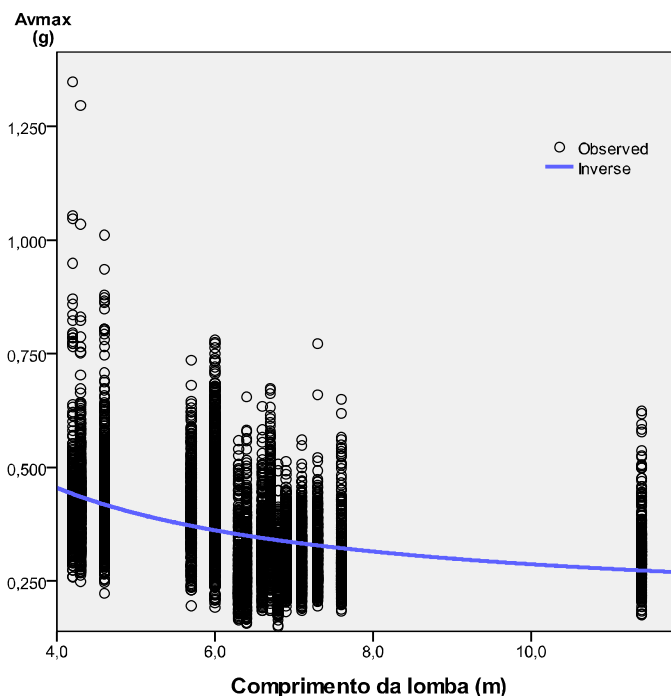


Figura 6.11 – Aceleração vertical máxima segundo o comprimento da lombas

Quadro 6.13 – Coeficientes da regressão simples para a variável **Avmax** em função de **lt**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 / Comprimento da Lombas	1,119	,031	,413	35,762	,000
(Constant)	,175	,005		32,181	,000

6.3.4 Velocidade na Lombas

Confirmando as expectativas iniciais, bem como outros estudos desta natureza (Watts, 1974; Baguley, 1981; Bjarnason, 2004), a velocidade de passagem na lombas relevou-se estatisticamente significativo na explicação do valor máximo de aceleração vertical registado na lombas. Assim maiores valores de **VI** correspondem a incrementos no valor de **Avmax** conforme é ilustrado na Figura 6.12 tendo esta relação significância estatística. Os valores de **R** e **R²** são de 0,695 e 0,483, respectivamente confirmando a elevada relação existente entre estas variáveis. A curva que melhor se ajustou foi a equação quadrática (coeficientes no Quadro 6.14).

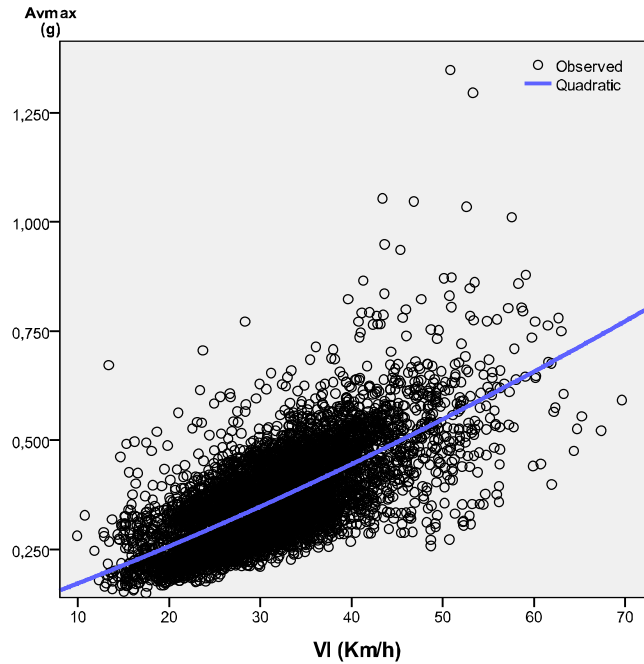


Figura 6.12 – Aceleração vertical máxima segundo a velocidade de transposição da lomba

Quadro 6.14 – Coeficientes da regressão simples para a variável **Avmax** em função de **VI**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
VI	7,579E-03	,001	,546	10,933	,000
VI ** 2	3,035E-05	,000	,151	3,016	,003
(Constant)	,093	,012		8,037	,000

6.3.5 Modelação Integrada

A análise efectuada confirmou as expectativas iniciais e as indicações da bibliografia da especialidade de que a velocidade de passagem na lomba é um factor fulcral na definição do valor da aceleração vertical resultante dessa passagem (Watts, 1973; Weber, 1998; Bjarnason, 2004). De forma a avaliar o desempenho conjunto e as interacções entre as variáveis anteriormente elencadas a aceleração vertical máxima foi modelada recorrendo a um modelo de regressão linear múltipla hierarquizada. A ordem de entrada das variáveis no modelo foi estabelecida com base nas indicações dos pontos anteriores.

A equação final resultante do processo de modelação é a que se encontra na Equação 6.3, sendo os coeficientes β_0 a β_5 indicados no Quadro 6.17 (modelo 3-coluna B). Verifica-se que as variáveis independentes estão expressas de acordo com as indicações resultantes das análises individualizadas. Embora tenham sido estudadas outras relações individuais entre variáveis, os resultados em termos de variação explicada, foram sempre inferiores. Registe-se

que a variável T referente à tipologia da lomba não foi incluída no modelo final devido a questões de multicolinearidade que foram notórias nos valores de VIF obtidos em análises exploratórias.

$$Avmax = \beta_0 + \beta_1 VI + \beta_2 VI^2 + \beta_3 / lt + \beta_4 h + \beta_5 h^2 \quad (6.3)$$

Onde:

Avmax – aceleração vertical máxima registada na passagem da lomba (g)

lt – comprimento da lomba (m)

h – altura da lomba (m)

VI – velocidade na lomba (km/h)

O modelo apresenta um valor de R e R² de 0,823 e 0,677, respectivamente, podendo-se considerar estes valores aceitáveis e reveladores de uma boa explicação da variância por parte do modelo. O modelo constitui uma boa representação da realidade sendo significativamente melhor, neste aspecto, que a média tendo um valor do rácio F_(5,6228) de 2611,976 valor este estatisticamente significativo para $p > 0,001$ (Quadro 6.16).

Relativamente à análise efectuada aos resíduos verificou-se, nomeadamente pela observação da Figura 6.13, que estes diferem, de forma visível, da distribuição normal. Uma análise mais detalhada aos dados de base do modelo, bem como algumas considerações já tecidas no capítulo anterior, confirmaram as suspeições iniciais para a explicação destes resultados. A questão é, essencialmente, justificada por uma percentagem significativa de *outliers* acima da média no que concerne à velocidade de passagem na lomba. Uma percentagem significativa, destes casos, deve-se ao condutor C16, conforme indicado no capítulo anterior. Estas passagens reflectiram-se igualmente em acelerações verticais elevadas. Análises exploratórias, efectuadas suprimindo estes casos, revelaram uma melhoria dos indicadores principais do modelo nomeadamente no R². No entanto, não havendo quaisquer razões para imputar estes casos a erros de medição dos equipamentos estes foram mantidos no modelo de forma a não desviar a qualidade da amostra. As distâncias de *Cook*, os *Leverage values* e as distâncias de *Mahalanobis* indiciam que a influência destes no modelo não é muito elevada o que foi confirmado por análises de sensibilidade. Todas as variáveis têm significância estatística e as análises de colinearidade apontam para níveis de correlação baixos. A homocedasticidade foi também aferida verificando-se que não existem padrões claros nos resíduos. A qualidade do modelo foi assim avaliada para os pressupostos de base deste tipo de análises tendo em conta que as observações são independentes.

Em termos de coeficientes associados às variáveis (Quadro 6.17), estes são positivos no caso da velocidade e comprimento da lombas, significando que a aceleração vertical aumenta com o incremento da velocidade e diminui com o acréscimo do comprimento da lombas (esta variável está invertida). No que se refere à altura da lombas e para a gama de velocidades de passagem habitual, a situação é menos clara dado que os coeficientes de h e h^2 apresentam sinais contrários sendo que os seus valores originam uma alteração de comportamento no intervalo de valores desta variável considerados na análise. Assim os valores da aceleração vertical máxima começam por diminuir com o aumento de h para depois inverter esta tendência. Apesar disso, esta é a variável que mais influencia a variação de \mathbf{Avmax} (maior valor de β no Quadro 6.17).

Quadro 6.15 – Resumo das características do modelo de regressão da variável \mathbf{Avmax}

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,695	,483	,483	,078639	,483	2911,851	2	6231	,000
2	,820	,672	,672	,062657	,189	3584,901	1	6230	,000
3	,823	,677	,677	,062169	,005	50,156	2	6228	,000

Quadro 6.16 – Análise ANOVA ao modelo de regressão da variável \mathbf{Avmax}

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	36,014	2	18,007	2911,851	,000
	Residual	38,533	6231	,006		
	Total	74,547	6233			
2	Regression	50,088	3	16,696	4252,746	,000
	Residual	24,459	6230	,004		
	Total	74,547	6233			
3	Regression	50,476	5	10,095	2611,976	,000
	Residual	24,071	6228	,004		
	Total	74,547	6233			

Quadro 6.17 – Coeficientes de regressão da variável \mathbf{Avmax}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	,093	,012		8,037	,000	,071	,116					
β_1	1 VI	,008	,001	,546	10,933	,000	,006	,009	,695	,137	,100	,033	30,099
β_2	VI2	,000	,000	,151	3,016	,003	,000	,000	,688	,038	,027	,033	30,099
β_0	(Constant)	-,121	,010		-12,165	,000	-,140	-,101					
β_1	2 VI	,008	,001	,598	15,017	,000	,007	,009	,695	,187	,109	,033	30,113
β_2	VI2	2,258E-05	,000	,112	2,817	,005	,000	,000	,688	,036	,020	,033	30,107
β_3	Inv_lt	1,179	,020	,435	59,874	,000	1,141	1,218	,413	,604	,435	,999	1,001
β_0	(Constant)	,133	,030		4,483	,000	,075	,191					
β_1	3 VI	,008	,001	,608	15,365	,000	,007	,010	,695	,191	,111	,033	30,162
β_2	VI2	1,796E-05	,000	,089	2,254	,024	,000	,000	,688	,029	,016	,033	30,208
β_3	Inv_lt	1,235	,020	,455	60,784	,000	1,195	1,275	,413	,610	,438	,924	1,082
β_4	h	-6,887	,803	-,665	-8,575	,000	-8,461	-5,313	-,146	-,108	-,062	,009	115,819
β_5	h2	44,066	5,487	,619	8,032	,000	33,310	54,822	-,147	,101	,058	,009	114,745

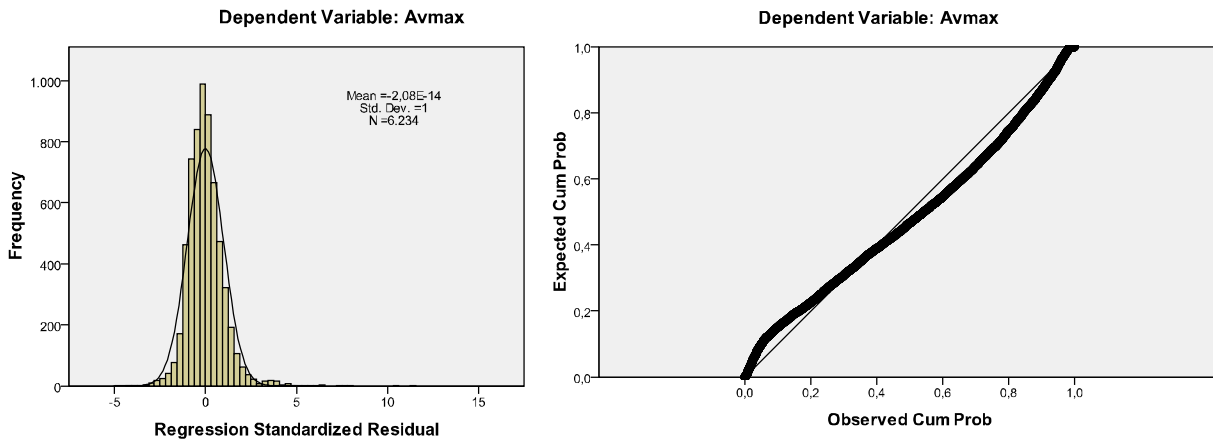


Figura 6.13 – Histograma e normal P-P plot dos resíduos estandardizados da regressão da variável **Avmax**

O Quadro 6.18 apresenta a variação diferencial dos valores associados a cada uma das variáveis introduzidas no modelo, representando paralelamente as condições recomendadas para aplicação do modelo.

Quadro 6.18 – Gama de valores limite recomendada para utilização do modelo de regressão **Avmax**

	Mínimo	Média	Máximo
Velocidade na lombas (km/h)	9,9	31,6	69,6
Comprimento da lombas (m)	4,2	6,275	11,4
Altura da lombas (m)	0,050	0,072	0,095

A Figura 6.14 mostra, de forma gráfica, a aplicação do modelo a um caso particular em que se assume que a altura da lombas é constante e igual a 0,075 m, sendo visível a evolução dos valores de **Avmax** e **VI** para três comprimentos de lombas.

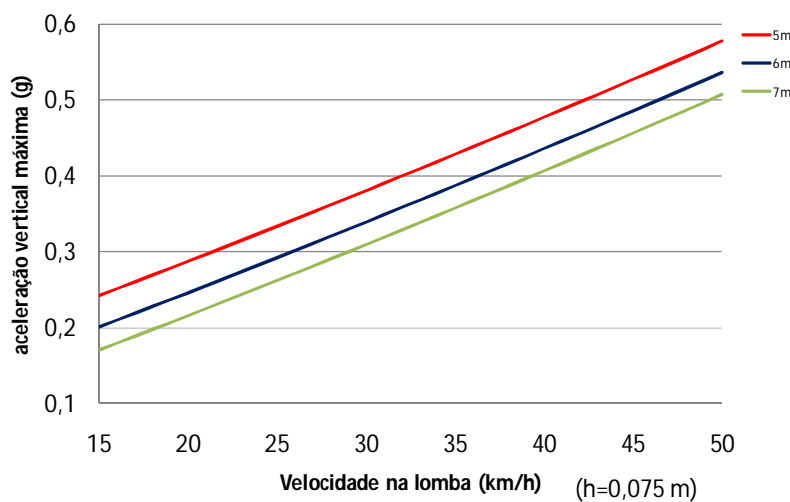


Figura 6.14 – Estimação dos valores da variável **Avmax** em função da **VI** e da **Avmax**

No que concerne à utilização do modelo deve ser referido que este está, essencialmente, vocacionado para análises comparativas. Isto deve-se ao facto de a aceleração vertical

provocada pela passagem numa lomba para além de estar dependente das variáveis anteriormente elencadas, ser igualmente função de outros factores inerentes às características do veículo tais como o tipo de suspensão, seu estado de conservação e o tipo de pneus (Bonnick, 2008; Erjavec, 2009). Deste modo é de esperar que, para veículos ligeiros, os valores obtidos pelo modelo constituam uma representação razoavelmente fidedigna dos valores obtidos para a generalidade do parque automóvel. Requerendo-se uma grande precisão de valores para um veículo específico, sugere-se que estes sejam obtidos recorrendo a outra metodologia, nomeadamente através da instrumentação de outro tipo de veículo.

6.4 Zona de Influência da Lomba

6.4.1 Lombas Isoladas

A zona de influência de uma lomba foi definida como sendo a soma da distância a partir do ponto em que o condutor inicia a redução da velocidade e da distância percorrida até retomar a velocidade de circulação normal⁵⁶.

Nessa conformidade e recorrendo às variáveis definidas no âmbito deste estudo, a distância precedente à lomba é quantificada pela variável distância de abrandamento (**Dabr**), já caracterizada no ponto 5.2.1. Verificou-se que os condutores tendem a reagir à presença da lomba a uma distância média de 89,7 m (desvio padrão de 30,17 km/h, ver 5.2.1).

No que concerne à zona de influência na saída, ou seja à distância percorrida até retomar a velocidade de circulação normal, a observação extensiva dos perfis de velocidade aponta para que essa distância média se aproxime dos 150 m. De forma a validar as observações foi criada uma variável auxiliar, **Vmax-V150** correspondente à diferença entre as variáveis **Vmax** e **V150**⁵⁷. A caracterização estatística desta variável (Quadro 6.23 e Figura 6.15) confirma as indicações iniciais verificando-se que, em média a **Vmax** é superior à **V150** em apenas cerca de 3 km/h. O valor da amplitude inter-quartil é igualmente baixo pelo que, uma percentagem significativa de observações apresenta valores próximos de zero. Desta forma, conclui-se que a zona de influência após a transposição da lomba é de aproximadamente 150 m.

⁵⁶ A velocidade de circulação normal foi assumida como sendo igual à velocidade máxima na aproximação à lomba (**Vmax**).

⁵⁷ Neste cálculo foram suprimidos os valores das lombas cuja saída está condicionada pela presença de outra lomba ou curva em planta.

Nesta conformidade, em termos médios, o computo geral da zona de influência da lomba corresponde a cerca de 90 m à entrada e a 150 m à saída, o que totaliza uma influência global média de 240 m.

Quadro 6.19 – Caracterização estatística da variável **Vmax-V150**

		Statistic	Std. Error
Mean		3,227	,1133
95% Confidence Interval for Mean	Low er Bound	3,005	
	Upper Bound	3,450	
5% Trimmed Mean		3,258	
Median		3,468	
Variance		71,216	
Std. Deviation		8,4389	
Minimum		-28,44	
Maximum		49,40	
Range		77,83	
Interquartile Range		11,72	
Skew ness		-,038	,033
Kurtosis		,189	,066

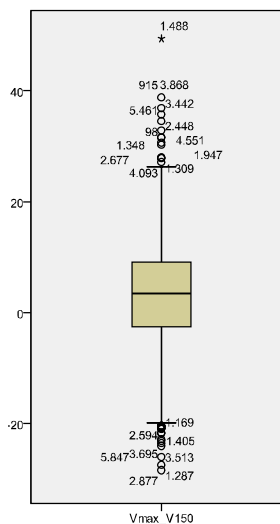


Figura 6.15 – Caixa de bigodes da variável **Vmax-V150**

6.4.2 Lombas Sequenciais

No conjunto de lombas que integram o presente estudo identifica-se no circuito de Porto de Mós, uma sequência de duas lombas bastante próximas, o que potencia o desenvolvimento de uma análise de sensibilidade sobre a influência do espaçamento no perfil de velocidades. A observação dos perfis contínuos, evidencia a existência de uma alteração notória no comportamento dos condutores na zona da saída das lombas. As lombas em questão são a L3aPM (lomba 13) e a L4bPM (lomba 16) afastadas entre si de cerca de 110 m. O Quadro 6.20 resume os valores da velocidade nas secções que estão nestas situações face às restantes lombas. Neste é possível observar, de forma clara, que a presença de uma lomba bastante próxima condiciona o comportamento do condutor, contudo a análise das distribuições dos valores associados às variáveis **V25**, **V50** e **V75** aponta para o registo de valores claramente inferiores relativamente às lombas não condicionadas. As restantes velocidades (**V125** e **V150**) não são, neste caso consideradas comparáveis, na medida em que representam secções já posteriores à segunda lomba consecutiva.

A escassez de situações similares, resultante do facto do âmbito deste trabalho estar essencialmente direccionado para o estudo de lombas isoladas, restringe a abrangência desta

análise. É contudo possível deduzir desta análise simplista que para espaçamentos de 110 m, a velocidade máxima atingida se aproxima dos 45 km/h a uma distância de cerca de 75 m após a lomba. No entanto é notório que a presença de outra lomba nas proximidades condiciona, conforme esperado, o comportamento dos condutores no atravessamento da lomba, sendo ainda expectável que essa influência dependa do espaçamento entre lombas.

Quadro 6.20 – Velocidades à saída das lombas 13 e 16 face às restantes situações

Variável	Lombas 13 e 16		Restantes lombas	
	Mean	Std. Deviation	Mean	Std. Deviation
V25	33,12	3,70	35,84	6,09
V50	41,49	4,29	44,45	5,34
V75	43,39	5,04	49,58	5,70
V100	35,12	4,70	53,62	6,15
V125	29,08	4,55	56,56	6,80
V150	38,99	3,98	58,25	7,47

6.5 Impactos sobre Emissões de CO₂

6.5.1 Enquadramento

Conforme indicado no ponto 3.5.2, as emissões de CO₂ foram calculadas recorrendo ao programa CMEM. Esta aplicação informática, após parametrização das características do veículo, calcula as emissões com base nos chamados *activity files* (ficheiros que agregam a informação sobre duas variáveis dinâmicas: velocidade instantânea e a aceleração longitudinal) relativas aos trajectos em análise, com uma cadência de 1 Hz. De forma a facilitar o tratamento da informação, os resultados desse cálculo foram agregados em três variáveis que, conforme exposto no ponto 4.6.5, resumem para cada passagem na lomba, o valor de CO₂ emitido à entrada, saída e a soma destes dois valores.

O Quadro 6.21 sintetiza a caracterização estatística das variáveis envolvidas. Entre elas são de destacar a diferença nos valores das médias e os desvios padrão entre as variáveis **CO_{2ent}** e **CO_{2sai}**. É notório que a maior parte das emissões geradas no trajecto influenciado pela presença da lomba é originada na zona da saída. Estes resultados estão, mais uma vez, em concordância com os resultados de outros trabalhos da especialidade apresentados no capítulo 3 e segundo os quais, a velocidade e em particular a aceleração longitudinal se revelam como factores determinantes à estimação das emissões geradas. É ainda evidente que na fase de aproximação à lomba, onde a aceleração longitudinal assume, em geral, um valor negativo, o valor das emissões é bastante baixo. Por oposição, na saída da lomba, o processo de ganho de

velocidade obriga o motor do veículo a realizar trabalho necessitando de energia a qual é obtida a partir do consumo de combustível e consequentes emissões de CO₂. É assim compreensível a maior amplitude de variação e desvio padrão da variável **CO2sai** que é essencialmente justificada pelo estilo de condução adoptado. Na entrada, o facto de a travagem ser mais ou menos suave assume menor relevância pois trata-se de uma situação que, por si só, gera um nível de emissões baixo. Em média, o nível de emissões verificado à saída é de cerca de oito vezes superior ao gerado na entrada⁵⁸ fazendo com que a variável **CO2sai** seja decisiva para a quantificação global das emissões geradas (**CO₂tot**).

Quadro 6.21 – Caracterização das variáveis **CO2ent**, **CO2sai** e **CO₂tot**

	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance	Skew ness		Kurtosis	
							Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
CO2ent	17,738	2,116	19,854	5,201	2,914	8,493	2,072	,033	4,316	,067
CO2sai	62,713	21,391	84,104	43,574	9,691	93,916	,664	,033	,590	,067
CO2tot	75,776	24,763	100,538	48,775	10,065	101,298	,750	,033	,953	,067

Nesta conformidade, é dedutível que o nível de emissões à saída esteja essencialmente relacionado com o nível de aceleração imprimido nessa zona (**Ahsai**) e com a velocidade atingida no final do trecho de análise (**V150**). Por sua vez, na entrada um estilo de condução mais rápido que resulte numa maior velocidade na abordagem à lomba deverá ser indicativo de um nível de emissões mais elevado pelo que esta eventual relação deverá ser explorada. Note-se que, pelo facto das emissões poluentes serem uma função da velocidade e da aceleração do veículo, estas são o reflexo indirecto das características da infra-estrutura viária, já que, em primeiro lugar, estas influenciam a velocidade e aceleração e, por consequência, as emissões geradas.

Os pontos seguintes são assim dedicados à exploração das hipóteses anteriores, recorrendo a uma metodologia similar à adoptada no ponto anterior. Os trabalhos iniciam-se pela procura de correlações estatísticas, avaliando o efeito de cada variável de forma isolada, nas emissões de CO₂, seguindo-se uma análise conjunta de todos os factores relevantes. Refira-se ainda que para esta análise se utilizou um subconjunto da amostra global dado que foram excluídas da amostra as passagens em lombas que tinham outra lomba bastante próxima, condicionando deste modo a retoma de velocidade após a transposição desta o que iria influenciar o valor da variável **V150**.

⁵⁸ É de notar que a variável **CO2ent** abarca os 75 m antes da lomba enquanto que a **CO2sai** compreende 150 m. No entanto, na generalidade dos casos, a influência da lomba na variação de velocidade estava praticamente restrita a este intervalo.

6.5.2 Velocidade Máxima na Aproximação

A análise da Figura 6.16 mostra que a **Vmax** assume um efeito visível nas emissões geradas no trecho que precede a lomba. A curva que melhor se ajustou foi a equação quadrática tendo obtido valores de R e R² de 0,584 e 0,341, respectivamente, estando os coeficientes de regressão indicados no Quadro 6.22.

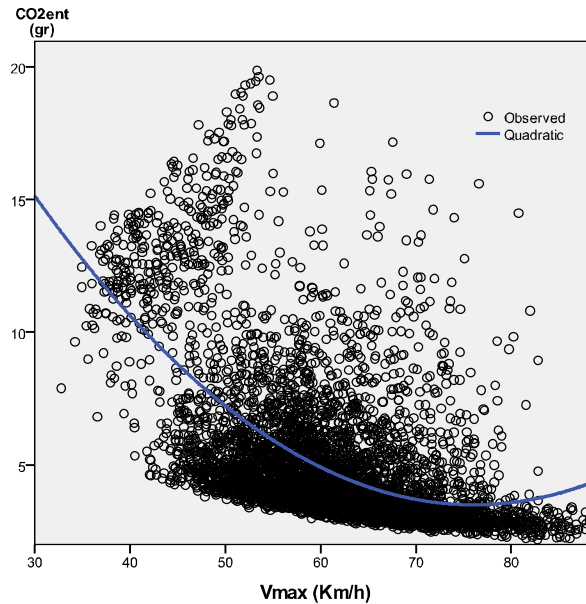


Figura 6.16 – Emissões de CO₂ à entrada em função da **Vmax**

Quadro 6.22 – Coeficientes da regressão simples da variável **CO2ent** em função de **Vmax**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Vmax	-,834	,031	-2,748	-26,712	,000
Vmax ** 2	,005	,000	2,227	21,655	,000
(Constant)	35,210	,951		37,030	,000

É contudo de salientar o facto de as emissões serem, em geral, baixas e diminuir em função da **Vmax**. É ainda curioso perceber que à medida que o **Vmax** aumenta diminui a dispersão dos valores, facto que deverá ser explicado pelos pressupostos de base e funcionamento do modelo CMEM.

6.5.3 Aceleração Longitudinal à Saída da Lomba

A Figura 6.17 apresenta a relação da **Ahsai** com a **CO2sai**, sendo notória, mais uma vez, a existência de uma relação forte entre estas variáveis. A equação quadrática (coeficientes no Quadro 6.23) revelou-se como a que melhor se ajustou aos valores observados, resultando em valores de R e de R² de 0,634 e 0,402, respectivamente.

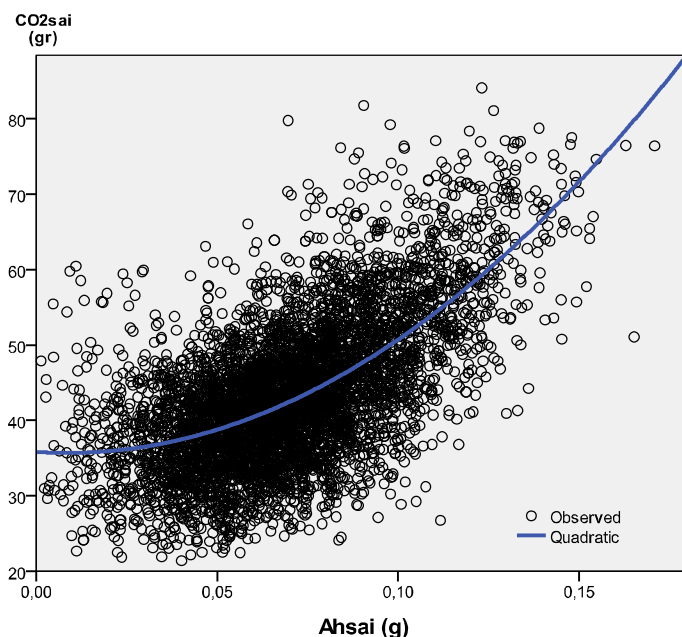


Figura 6.17 – Emissões de CO₂ à saída em função da aceleração horizontal

Os valores de **CO2sai** são francamente mais elevados que os registados à entrada da lomba (ver por exemplo a Figura 6.16), sendo contudo interessante registar o facto da sua relação com a **Ahsai** não ser linear. De facto, o nível de emissões cresce mais acentuadamente à medida de aumenta a aceleração longitudinal na zona da saída.

Quadro 6.23 – Coeficientes da regressão simples da variável **CO2sai** em função de **Ahsai**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Ahsai	-30,858	16,622	-,081	-1,856	,063
Ahsai ²	1798,153	109,980	,712	16,350	,000
(Constant)	35,825	,598		59,861	,000

6.5.4 Velocidade 150 m Após a Lomba

Também a velocidade atingida 150 m após a passagem da lomba revelou, conforme esperado, uma correlação forte com a variável **CO2sai**, obtendo-se valores de R e R² de 0,743 e 0,552, respectivamente. A Figura 6.18, mostra uma relação tendencialmente quadrática entre estas variáveis facto que se comprovou pela aplicação da ferramenta *curve estimation* do SPSS.

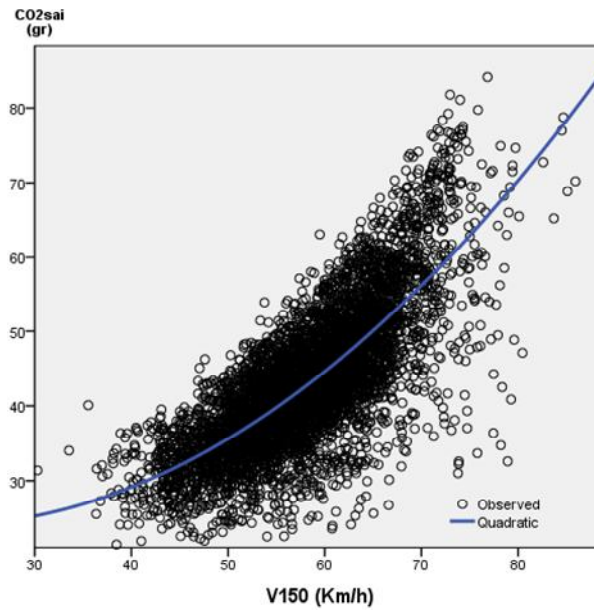


Figura 6.18 – Emissões de CO₂ à saída em função da V150

Quadro 6.24 – Coeficientes da regressão simples da variável CO₂sai em função de V150

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
V150	-.503	.129	-.387	-3,888	.000
V150 ** 2	.013	.001	1,146	11,524	.000
(Constant)	28,845	3,744		7,705	.000

6.5.5 Modelação Integrada

As variáveis dinâmicas mais relevantes para o cômputo das emissões ao longo da aproximação e saída da lombas são, conforme já referido anteriormente: **Vmax**, **Ahsai** e **V150**. De entre as três elencadas, as duas últimas revelaram-se como as mais influentes sendo que a primeira e a última dependem, essencialmente, do comportamento do condutor, o qual é condicionado pelo ambiente rodoviário. A **Ahsai** depende da velocidade de passagem na lombas mas é claramente mais condicionada pela atitude do condutor. Deste modo é expectável que a presença de uma lombas introduza uma alteração no padrão de emissões, contudo o comportamento do condutor e, em particular, a agressividade após a transposição da lombas assume um papel fulcral na definição da grandeza dessa variação.

A análise do efeito conjunto das variáveis anteriormente exploradas na quantidade global de emissões de CO₂ ao longo do percurso foi levada a cabo recorrendo a uma regressão linear múltipla hierarquizada. Nesta regressão, a ordem de entrada dos grupos de variáveis foi estabelecida com base nos valores de R² obtidos no decurso das análises anteriores. A

equação final resultante do processo de modelação é indicada na Equação 6.3 verificando-se que as variáveis independentes estão expressas de acordo com as indicações resultantes das análises individualizadas. Embora tenham sido estudadas outras relações individuais entre variáveis, os resultados em termos de variação explicada, foram sempre inferiores. Estas foram segregadas em três conjuntos correspondendo aos três modelos expostos nos quadros seguintes. O primeiro conjunto é constituído pela **V150** e a **V150**², o segundo adiciona a esta a **Ahsai** e **Ahsai**² e o terceiro completa o leque de variáveis com a **Vmax** e **Vmax**². No Quadro 6.27 pode-se comprovar a significância de todas as variáveis (colunas t e Sig.) introduzidas no modelo final. O Quadro 6.27 apresenta os coeficientes de regressão associados a cada variável. Nestes é de notar que a **Vmax** tem um coeficiente negativo o que à partida pode parecer incongruente quando confrontado com a noção de que maiores velocidades geram maiores níveis de poluição. No entanto esse efeito tende a ser contrabalançado pelo coeficiente positivo da **Vmax**² e é necessário considerar que velocidades muito baixas têm como consequência níveis de poluição elevados conforme exposto no ponto 3.4.6 e traduzido pela Figura 3.8.

$$CO2_{tot} = \beta_0 + \beta_1 V150 + \beta_2 V150^2 + \beta_3 Ahsai + \beta_4 Ahsai^2 + \beta_5 Vmax + \beta_6 Vmax^2 \quad (6.4)$$

Onde:

CO2tot – CO₂ emitido nos 75 m anteriores à lombas e 150 m depois desta (gr)

Ahsai – aceleração horizontal nos 50 m posteriores à transposição da lombas (g)

V150 – velocidade 150 m após a lombas (km/h)

Vmax – velocidade máxima na aproximação à lombas (km/h)

O modelo apresenta um valor de R e R² de 0,835 e 0,698, respectivamente, podendo-se considerar estes valores muito aceitáveis e reveladores de uma boa explicação da variância por parte do modelo. Representa significativamente melhor a realidade do que a média tendo um valor do rácio F_(6,5393) de 63586,138 valor estatisticamente significativo para $p > 0,001$ (Quadro 6.26).

A análise dos resíduos do modelo revelou que estes se aproximam de forma clara da distribuição normal (Figura 6.19) e o teste de *Durbin-Watson* aponta para que estes sejam independentes estando o valor deste teste bastante próximo de dois (Figura 6.19). Os *outliers* do modelo são em número reduzido face à dimensão da amostra tendo sido objecto de reanálise. As distâncias de *Cook*, os *Leverage values* e as distâncias de *Mahalanobis* indiciam que a influência destes no modelo é diminuta, o que foi confirmado por análises de sensibilidade, tendo-se optado por mantê-los na amostra final. Todas as variáveis têm significância estatística e as estatísticas de colinearidade (ponto 3.5 do anexo) apontam para

níveis de correlação pouco significativos. A homocedasticidade foi também aferida verificando-se que não existem padrões claros nos resíduos o que é indicativo que estes asseguram variâncias similares. A validade do modelo foi assim verificada para os pressupostos de base deste tipo de análises corroborado ainda pelo facto das observações serem independentes.

Quadro 6.25 – Resumo das características do modelo de regressão da variável **CO2tot**

Model	Variables Entered	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
						R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	V1502, V150	0,711	0,506	0,505	7,079	0,5055	2758,714	2	5397	0
2	Ahsai, Ahsai2	0,805	0,649	0,649	5,967	0,1433	1100,365	2	5395	0
3	Vmax2, Vmax	0,835	0,698	0,697	5,538	0,0488	435,166	2	5393	6E-176

Quadro 6.26 – Análise ANOVA ao modelo de regressão da variável **CO2tot**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	276471,321	2	138235,660	2758,714	0
	Residual	270436,834	5397	50,109		
	Total	546908,155	5399			
2	Regression	354825,676	4	88706,419	2491,488	0
	Residual	192082,479	5395	35,604		
	Total	546908,155	5399			
3	Regression	381516,830	6	63586,138	2073,386	0
	Residual	165391,325	5393	30,668		
	Total	546908,155	5399			

Quadro 6.27 – Coeficientes de regressão da variável **CO2tot**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
β_0	1	(Constant)	48,301	4,221		11,444	,000	40,027	56,575					
β_1		V150	-,963	,146	-,714	-6,608	,000	-1,249	-,677	,700	-,090	-,063	,008	127,263
β_2		V1502	,016	,001	1,419	13,140	,000	0,014	0,019	0,708	0,176	0,126	0,008	127,263
β_0	2	(Constant)	29,753	3,580		8,311	,000	22,735	36,771					
β_1		V150	-,380	,124	-,282	-3,055	,002	-,624	-,136	,700	-,042	-,025	,008	130,521
β_2		V1502	,010	,001	,834	8,992	,000	,008	,012	,708	,122	,073	,008	132,043
β_3		Ahsai	58,492	13,384	0,148	4,370	,000	32,255	84,730	0,603	0,059	0,035	0,057	17,524
β_4	Ahsai2	697,379	90,119	,266	7,738	,000	520,708	874,049	,626	,105	,062	,055	18,148	
β_0	3	(Constant)	46,865	3,555		13,183	,000	39,896	53,834					
β_1		V150	,375	,121	,278	3,092	,002	,137	,612	,700	,042	,023	,007	143,809
β_2		V1502	,005	,001	,414	4,602	,000	,003	,007	,708	,063	,034	,007	144,084
β_3		Ahsai	35,719	12,486	,090	2,861	,004	11,242	60,196	,603	,039	,021	,056	17,705
β_4		Ahsai2	804,280	83,846	0,307	9,592	,000	639,908	968,651	0,626	0,130	0,072	0,055	18,238
β_5		Vmax	-1,179	,077	-1,125	-15,346	,000	-1,330	-1,029	,179	-,205	-,115	,010	95,920
β_6		Vmax2	,008	,001	,885	12,123	,000	,006	,009	,187	,163	,091	,011	95,099

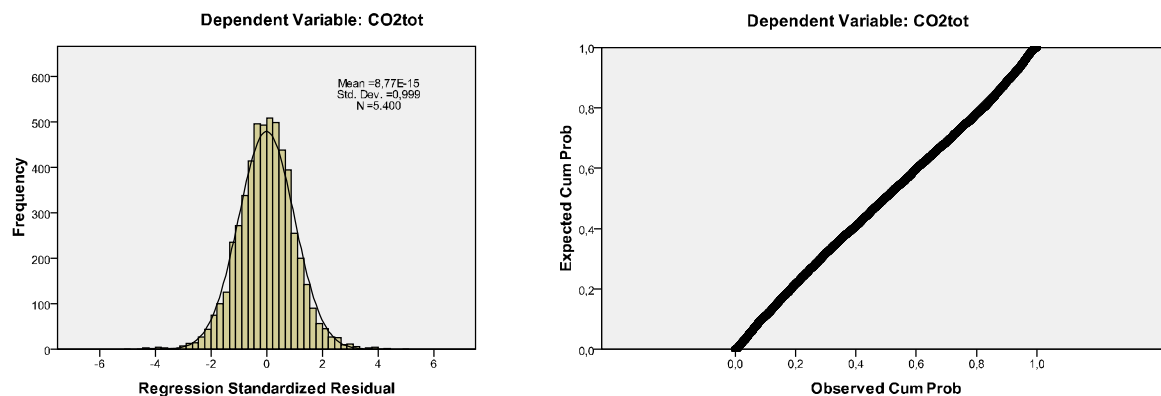


Figura 6.19 – Histograma e *normal P-P plot* dos resíduos estandardizados da regressão da variável **CO2tot**

O Quadro 6.28 apresenta a variação diferencial dos valores associados a cada uma das variáveis introduzidas no modelo, representando paralelamente as condições recomendadas para sua aplicação.

Quadro 6.28 – Gama de valores limite recomendada para utilização do modelo de regressão **CO2tot**

	Mínimo	Média	Máximo
Vmax (km/h)	32,8	61,3	92,6
Ahsai (g)	,001	,070	,171
V150 (km/h)	30,3	58,3	85,9

É de referir, igualmente, que o modelo desenvolvido se adequa, essencialmente, a análises comparativas entre situações de eventual implementação de lombas em locais diferentes ou para cotejo de estilos de condução diferentes, permitindo a análise do seu desempenho ao nível da componente ambiental. No caso de análises comparativas antes e após a implementação da lomba só as velocidades são passíveis de serem quantificadas localmente pelo que se sugere, como cenário de base, a adopção de um valor médio para a aceleração longitudinal à saída podendo também por simplificação assumir-se que **V150** é igual a **Vmax**.

Para análises que requeiram uma elevada precisão, no que concerne aos valores absolutos de emissão de CO₂, recomenda-se a utilização directa de um modelo de emissões instantâneas.

6.6 Modelação dos Perfis de Velocidade

6.6.1 Enquadramento

Recorrendo à base de dados contínua foram desenvolvidos três modelos para estimar a velocidade de um veículo em função da sua posição relativa em relação à lomba, das suas

características físicas prevalecentes e do seu enquadramento rodoviário. Em termos globais, os modelos diferem no tipo de variáveis de base adoptadas.

Deste modo, o primeiro modelo a ser desenvolvido foi designado de Modelo Base, com condutores. Neste modelo foram consideradas, no seu desenvolvimento, as variáveis inerentes às características geométricas da lomba (**T**, **lt** e **h**), da via⁵⁹ (**P**), do enquadramento rodoviário (**Visent**, **Vissai**) a velocidade máxima na aproximação (**Vmax**) e os condutores (sob a forma de variáveis binárias). Este modelo pretende incorporar a totalidade de variáveis explicativas disponíveis esperando-se, por conseguinte, que a variância explicada seja a mais elevada.

O segundo modelo, designado por Modelo Base, é idêntico ao anterior mas suprimindo-se os condutores do modelo. Nesta conformidade, este modelo terá uma aplicabilidade prática elevada permitindo a estimação da velocidade face à velocidade de aproximação, às características da lomba e enquadramento rodoviário local.

Finalmente o terceiro e último modelo desenvolvido é similar ao segundo mas foi desenvolvido sem ter em conta a velocidade máxima na aproximação (**Vmax**). Pretendeu-se assim desenvolver, um modelo simples que possa ser aplicado apenas com o recurso a variáveis locais facilmente mensuráveis e outro que embora igualmente simples, requer porém a aferição local da velocidade, salvaguardando um maior nível de fiabilidade.

Note-se que a selecção das variáveis a incorporar na versão final de cada modelo está dependente do processo de desenvolvimento deste, sendo neste caso importante a avaliação dos aspectos decorrentes da multicolinearidade. Em resumo, foram desenvolvidos os seguintes modelos:

- Modelo Base com Condutores;
- Modelo Base;
- Modelo Simplificado.

A amostra que serviu de base ao desenvolvimento dos modelos é de grande dimensão, pelo que salvaguarda a qualidade das análises (ver 4.6.6). Foi considerado um total de 449.362 dados o que para o número de variáveis envolvidas representa um valor elevado (Field, 2009). Refira-se que esta amostra representa uma sub-amostra da global, uma vez que se pretende cingir o estudo a situações de lombas isoladas. Foram igualmente suprimidos os valores antecedentes ao ponto onde, para cada passagem, era atingida a velocidade máxima (**Vmax**), limitando assim os dados ao comprimento correspondente à distância de abrandamento. O

⁵⁹ Não se considerou a largura da faixa de rodagem dado que, embora em pequeno grau, esta geralmente não era constante ao longo dos percursos em análise.

objectivo, neste caso, foi o de limitar o desenvolvimento do modelo à zona de influência da lombas, de modo a diminuir a complexidade do processo de modelação. À saída foram considerados todos os dados, de acordo com o exposto no ponto 4.6.5.

As eventuais transformações de variáveis com o intuito de melhorar a qualidade do modelo foram avaliadas recorrendo à observação gráfica e à ferramenta *Curve Estimation* do SPSS. É de referir que as relações encontradas no ponto 6.2, no que concerne à curva de melhor ajustamento, serviram de base à análise exploratória mas nem sempre foram confirmadas no modelo de regressão múltipla. Essa situação é compreensível dado que na abordagem inicial a modelação incidia sobre a velocidade instantânea, numa secção específica e neste ponto, o modelo desenvolvido é contínuo incidindo sobre um determinado trecho.

Foi assim possível concluir que, as variáveis assumiram, geralmente, um comportamento linear com a excepção da distância à lombas (x). Neste caso, em concreto, foi notório pela observação de múltiplos perfis de velocidade, a existência inequívoca, de um padrão distinto antes e após a lombas. Deste modo, e na sequência de várias análises preliminares, concluiu-se que o melhor ajustamento é obtido através da equação polinomial de grau 3 na zona antecedente à lombas e através de uma equação quadrática após a transposição desta. Os três modelos desenvolvidos têm assim uma estruturação comum, recorrendo-se a um modelo intermitente⁶⁰ o qual se revelou como sendo o mais adequado. Nesta conformidade foram utilizadas duas variáveis binárias auxiliares **F1** e **F2** sendo que **F1** assume o valor “um” para valores de x inferiores ou iguais a “zero” e, “zero” para valores superiores. Por sua vez, a variável **F2** assume os valores contrários.

6.6.2 Modelo Base com Condutores

Este modelo, como anteriormente mencionado, pretende ser o mais abrangente e robusto recorrendo para tal a todas as variáveis disponíveis o que tem, no entanto, como desvantagem uma maior exigência na recolha de dados o que eventualmente poderá dificultar a sua aplicabilidade prática.

No decurso do desenvolvimento deste modelo, verificou-se que as variáveis **P**, **T**, **Visent** e **Vissai** tinham um efeito pouco relevante na explicação da variância observada e, por consequência, assumiam um efeito pouco acentuado no valor de R^2 . Estavam ainda associadas a efeitos significativos de multicolinearidade os quais eram notórios nomeadamente nos

⁶⁰ Modelo que recorre a variáveis qualitativas artificiais ou *dummies* com o intuito de assinalar no modelo de regressão a presença ou ausência de determinada característica (Pestana e Gageiro, 2005).

valores de VIF. Optou-se assim pela sua supressão do processo de modelação final. De forma similar alguns condutores (C1, C2, C7, C12 e C14) também estiveram na base de aumentos no valor dos VIF pelo que foi adoptada a mesma estratégia. Refira-se que para as variáveis associadas à distância à lombada dada a forma como estas são incorporadas no modelo as indicações relativas à colinearidade não são passíveis de serem interpretadas nos moldes habituais pelo que, nestes casos, valores de VIF elevados são consideradas normais. As variáveis referentes aos condutores foram inseridas como variáveis binárias (C_i) assumindo, deste modo, o valor “um” ou “zero” caso o condutor em causa seja considerado ou não respectivamente.

O modelo assume assim a equação genérica expressa na Equação 6.5 indicando-se os valores dos coeficientes β_0 a β_{21} no Quadro 6.35 (modelo 5).

$$V_x = \beta_0 + F1(\beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) + F2(\beta_4x + \beta_5x^2) + \beta_6Vmax + \beta_7h + \beta_8lt + \beta_9C_3 + \beta_{10}C_4 + \beta_{11}C_5 + \beta_{12}C_6 + \beta_{13}C_8 + \beta_{14}C_9 + \beta_{15}C_{10} + \beta_{16}C_{11} + \beta_{17}C_{13} + \beta_{18}C_{15} + \beta_{19}C_{16} \quad (6.5)$$

Onde:

V_x – velocidade na secção x (km/h)

x – distância à lombada ($x=0$ na lombada e valores negativos no trecho anterior a esta) (m)

$Vmax$ – velocidade máxima na aproximação à lombada (km/h)

h – altura da lombada (m)

lt – comprimento da lombada (m)

C_i – variável binária referente ao condutor que assume o valor 1 caso seja esse o condutor a considerar e zero se for outro

e:

$F1 = 1, F2 = 0$ para $x \leq 0$

$F1 = 0, F2 = 1$ para $x > 0$

Os valores de R e R^2 obtidos, expostos no Quadro 6.30 (modelo 5), foram de 0,884 e 0,781, respectivamente, o que denota uma elevada percentagem de variância explicada particularmente no contexto de elevada variabilidade intra-condutor conforme assinalado no ponto 5.4.4. Conforme esperado, dada a dimensão da amostra, o valor de R^2 ajustado é igual ao de R^2 . Segundo a metodologia seguida inicialmente foram modeladas as variáveis inerentes à distância à lombada (modelo 1), acrescentando-se de seguida de forma individualizada a velocidade de aproximação ($Vmax$, modelo 2), a altura da lombada (h , modelo 3), o comprimento da lombada (lt , modelo 4) e finalmente o conjunto dos condutores (C_i , modelo 5). Pela evolução dos valores de R e R^2 nestes modelos é notório que, a distância à lombada assume um contributo decisivo na explicação da variância. Segue-se a velocidade máxima na aproximação e o contributo dos condutores revelando-se a altura da lombada e o comprimento desta como tendo um menor contributo para a explicação da variância. Neste contexto, deve

ser salientado o contributo algo diminuto associado à variável “condutor”. Tal facto deverá ser explicado pela elevada variabilidade intra-condutor que faz com que as diferenças inter-condutores sejam esbatidas no modelo. Verificando, no Quadro 6.31, os coeficientes β referentes aos condutores, confirma-se que estes são, em geral, pouco expressivos destacando-se o condutor 16 com um valor próximo de 6 km/h (para facilitar a leitura neste quadro apenas estão os valores relativos ao modelo final encontrando-se no ponto 3.5 do anexo uma versão mais completa). Entre o condutor mais rápido e o mais lento a diferença cifra-se em cerca de 9 km/h.

Quadro 6.29 – Resumo das características do Modelo Base, com condutores

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,827	,684	,684	6,73688	,684	194693	5	449356	,000
2	,872	,760	,760	5,86740	,076	143047	1	449355	,000
3	,874	,764	,764	5,82786	,003	6119	1	449354	,000
4	,874	,764	,764	5,81848	,001	1451	1	449353	,000
5	,884	,781	,781	5,60432	,017	2693	13	449340	,000

Quadro 6.30 – Análise ANOVA ao Modelo Base, com condutores de regressão de velocidade

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44181231	5	8836246,248	194693,221	0
	Residual	20394240	449356	45,385		
	Total	64575471	449361			
2	Regression	49105816	6	8184302,672	237733,632	0
	Residual	15469655	449355	34,426		
	Total	64575471	449361			
3	Regression	49313658	7	7044808,298	207420,491	0
	Residual	15261813	449354	33,964		
	Total	64575471	449361			
4	Regression	49362773	8	6170346,660	182259,832	0
	Residual	15212698	449353	33,855		
	Total	64575471	449361			
5	Regression	50462428	21	2402972,742	76507,364	0
	Residual	14113044	449340	31,408		
	Total	64575471	449361			

Refira-se que o modelo final obtido representa significativamente melhor a realidade do que a média tendo um valor do rácio $F_{(21,449340)}$ de 2402972,742 valor estatisticamente significativo para $p > 0,001$ (Quadro 6.31). A análise dos resíduos e verificação dos pressupostos do modelo não demonstrou problemas a esse nível verificando-se uma aproximação aos valores da curva normal conforme exposto na Figura 6.20.

Quadro 6.31 – Coeficientes de regressão do Modelo Base, com condutores

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	8,442	,109		77,808	,000	8,230	8,655					
β_1	xF1	-1,211	,003	-2,796	-456,573	,000	-1,216	-1,206	-,636	-,563	-,318	,013	77,099
β_2	xF2	,360	,001	,839	255,585	,000	,357	,363	,032	,356	,178	,045	22,167
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,062	-232,650	,000	-,016	-,016	,560	-,328	-,162	,003	356,145
β_4	x2F2	-,001	,000	-,167	-57,885	,000	-,001	-,001	,144	-,086	-,040	,058	17,130
β_5	x3F1	,000	,000	-1,247	-153,223	,000	,000	,000	-,484	-,223	-,107	,007	136,112
β_6	Vmax	,349	,001	,273	355,915	,000	,347	,350	,319	,469	,248	,825	1,212
β_7	h	-54,773	,825	-,048	-66,356	,000	-56,391	-53,155	-,110	-,099	-,046	,924	1,082
β_8	lt	,208	,005	,028	38,431	,000	,198	,219	-,041	,057	,027	,890	1,124
β_9	C3	2,168	,040	,040	54,796	,000	2,090	2,245	,052	,081	,038	,911	1,098
β_{10}	C4	,719	,050	,010	14,414	,000	,621	,817	,021	,021	,010	,939	1,065
β_{11}	C5	-,410	,035	-,009	-11,712	,000	-,478	-,341	-,035	-,017	-,008	,889	1,124
β_{12}	C6	1,427	,053	,019	26,960	,000	1,323	1,530	,056	,040	,019	,933	1,072
β_{13}	C8	,618	,038	,012	16,306	,000	,543	,692	-,023	,024	,011	,894	1,118
β_{14}	C9	-,535	,036	-,011	-14,673	,000	-,606	-,463	-,003	-,022	-,010	,895	1,117
β_{15}	C10	-1,964	,045	-,032	-43,566	,000	-2,052	-1,876	,003	-,065	-,030	,896	1,116
β_{16}	C11	-3,185	,033	-,072	-97,021	,000	-3,249	-3,121	-,100	-,143	-,068	,877	1,140
β_{17}	C13	1,132	,041	,020	27,664	,000	1,052	1,212	,036	,041	,019	,911	1,098
β_{18}	C15	-,221	,035	-,005	-6,398	,000	-,289	-,153	-,021	-,010	-,004	,887	1,127
β_{19}	C16	5,912	,052	,082	113,952	,000	5,810	6,013	,124	,168	,079	,940	1,064
β_{20}	C17	1,174	,044	,020	26,789	,000	1,088	1,260	-,007	,040	,019	,912	1,096
β_{21}	C18	,453	,039	,008	11,512	,000	,376	,530	-,006	,017	,008	,907	1,103

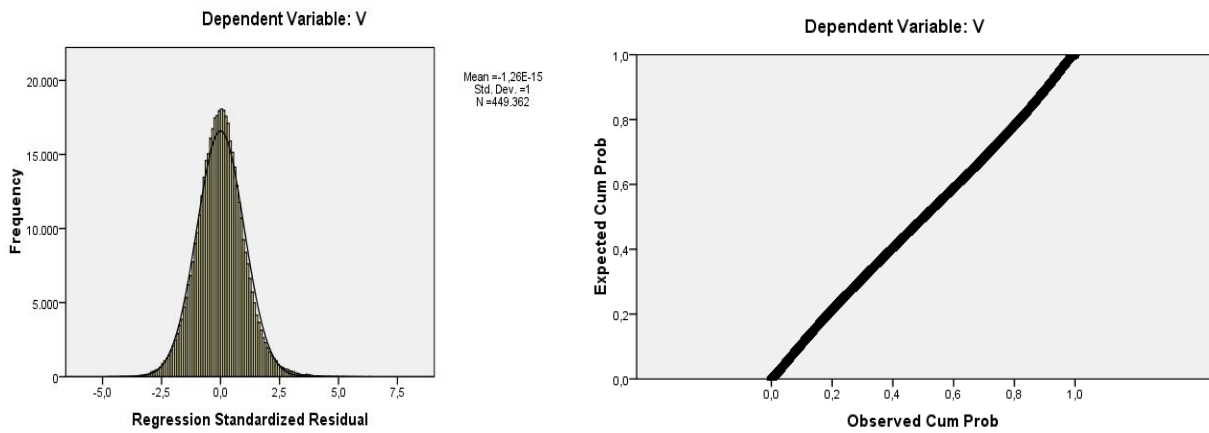


Figura 6.20 – Histograma e normal P-P plot da regressão do Modelo Base, com condutores

Este modelo revela assim uma aplicabilidade prática interessante dada a possibilidade de simular, recorrendo a vários condutores tipo, vários comportamentos estabelecendo dessa forma uma gama de valores de velocidade expectáveis ao longo do trajecto em análise. Em termos de domínio de aplicação do modelo sugere-se a sua limitação aos valores limite constantes do Quadro 6.32 os quais foram estipulados com base na gama de valores utilizada no desenvolvimento do modelo.

Quadro 6.32 – Gama de valores limite recomendada para o modelo Base, com condutores

	Mínimo	Máximo
x (m)	-90	180
V_{max} (km/h)	55	90
Altura da lomba (m)	0,05	0,095
Comprimento da lomba (m)	4,20	11,40

6.6.3 Modelo Base

De forma similar ao modelo abordado anteriormente, verificou-se que as variáveis **P**, **T**, **Visent** e **Vissai** tinham um efeito negligenciável na explicação da variância observada e, portanto um efeito pouco acentuado no valor de R^2 . Estavam ainda associadas a efeitos significativos de multicolinearidade os quais eram notórios, nomeadamente nos valores de VIF pelo que foram suprimidas do processo de modelação final. Refira-se que este modelo corresponde à penúltima fase de desenvolvimento do modelo final exposto no ponto anterior. Assume assim a equação genérica expressa na Equação 6.6, indicando-se os valores dos coeficientes β_0 a β_8 no Quadro 6.35 (modelo 4).

$$V_x = \beta_0 + F1(\beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) + F2(\beta_4x + \beta_5x^2) + \beta_6V_{max} + \beta_7h + \beta_8lt \tag{6.6}$$

Onde:

V_x – velocidade na secção x (km/h)

x – distância à lomba ($x=0$ na lomba e valores negativos no trecho anterior a esta) (m)

Vmax – velocidade máxima na aproximação à lomba (km/h)

h – altura da lomba (m)

lt – comprimento da lomba (m)

e:

$F1 = 1, F2 = 0$ para $x \leq 0$

$F1 = 0, F2 = 1$ para $x > 0$

Os valores de R e R^2 obtidos foram de 0,874 e 0,764, respectivamente, denotando uma elevada percentagem de variância explicada. Como seria expectável, dada a dimensão da amostra, o valor de R^2 ajustado é igual ao de R^2 . A evolução destes valores pode ser observada no Quadro 6.33 sendo notório que a distância à lomba assume um contributo decisivo na explicação da variância. Segue-se a velocidade máxima na aproximação, a altura da lomba e o seu comprimento, o que pode ser confirmado através dos valores dos coeficientes β estandardizados constantes do Quadro 6.35⁶¹, onde se pode igualmente confirmar a significância das variáveis incluídas no modelo (colunas t e Sig.). O modelo

⁶¹ No ponto 3.5 do anexo foi colocada uma versão completa deste quadro contendo, nomeadamente, a evolução dos coeficientes nos modelos preliminares à versão final do modelo (4).

representa significativamente melhor a realidade do que a média tendo um valor do rácio $F(8,449353)$ de 6170346,660 valor estatisticamente significativo para $p > 0,001$ (Quadro 6.34).

A análise dos resíduos e verificação dos pressupostos do modelo não demonstrou problemas a esse nível sendo de realçar a aproximação aos valores da curva normal patente na Figura 6.21.

Quadro 6.33 – Resumo das características do Modelo Base de regressão de velocidade

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Chang
1	,827	,684	,684	6,7368750	,684	194693,221	5	449356	,000
2	,872	,760	,760	5,8673977	,076	143046,937	1	449355	,000
3	,874	,764	,764	5,8278553	,003	6119,500	1	449354	,000
4	,874	,764	,764	5,8184767	,001	1450,766	1	449353	,000

Quadro 6.34 – Análise ANOVA ao Modelo Base de regressão de velocidade

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44181231,240	5	8836246,248	194693,221	,000
	Residual	20394240,016	449356	45,385		
	Total	64575471,255	449361			
2	Regression	49105816,034	6	8184302,672	237733,632	,000
	Residual	15469655,221	449355	34,426		
	Total	64575471,255	449361			
3	Regression	49313658,088	7	7044808,298	207420,491	,000
	Residual	15261813,167	449354	33,964		
	Total	64575471,255	449361			
4	Regression	49362773,282	8	6170346,660	182259,832	,000
	Residual	15212697,973	449353	33,855		
	Total	64575471,255	449361			

Quadro 6.35 – Coeficientes de regressão do Modelo Base de velocidade

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	8,526	,110		77,375	,000	8,310	8,742					
β_1	xF1	-1,222	,003	-2,821	-443,846	,000	-1,227	-1,217	-,636	-,552	-,321	,013	77,051
β_2	xF2	,364	,001	,849	249,071	,000	,361	,367	,032	,348	,180	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,104	-227,206	,000	-,017	-,016	,560	-,321	-,165	,003	355,990
β_4	x2F2	-9,844E-04	,000	-,172	-57,414	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,128
β_5	x3F1	-7,403E-05	,000	-1,269	-150,238	,000	,000	,000	-,484	-,219	-,109	,007	136,065
β_6	vmax	,353	,001	,277	362,421	,000	,351	,355	,319	,476	,262	,900	1,111
β_7	h	-60,089	,844	-,053	-71,210	,000	-61,743	-58,435	-,110	-,106	-,052	,953	1,049
β_8	lt	,212	,006	,029	38,089	,000	,201	,223	-,041	,057	,028	,912	1,097

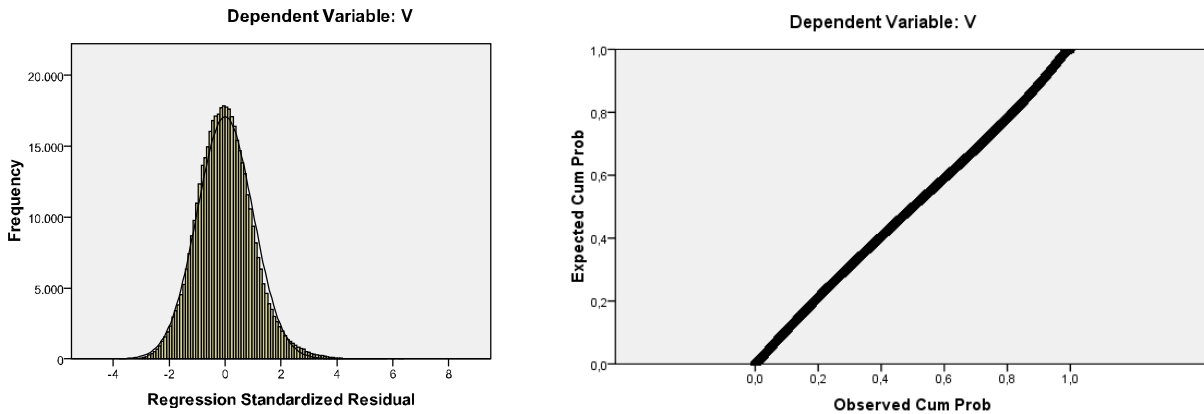


Figura 6.21 – Histograma e normal P-P plot da regressão do Modelo Base de velocidade

Pelas razões anteriormente apresentadas a gama de valores sugeridos é a mesma do modelo anterior estando indicada no Quadro 6.36.

Quadro 6.36 – Gama de valores limite recomendada para o modelo Base de regressão de velocidade

	Mínimo	Máximo
x (m)	-90	180
Vmax (km/h)	55	90
Altura da lomba (m)	0,05	0,095
Comprimento da lomba (m)	4,20	11,40

6.6.4 Modelo Simplificado

O modelo simplificado corresponde a um modelo similar ao modelo base, onde se optou por não incluir a variável **Vmax** (Equação 6.7). A metodologia de desenvolvimento do modelo seguiu os mesmos procedimentos, tendo resultado em valores de R e R² de 0,835 e 0,697, respectivamente. Estes valores são, conforme esperado, inferiores aos registados nos modelos anteriormente expostos, sendo que, ainda assim, o nível de variância explicada é de quase 70% o que corresponde a um valor bastante aceitável. Por questões de multicolinearidade, as variáveis **P** e **It** foram suprimidas da versão final do modelo enquanto que, neste caso, as variáveis correspondentes às distâncias de visibilidade à entrada e saída se mantiveram no modelo final, sem que daí surgissem questões de multicolinearidade. Este assume a seguinte equação genérica, sendo os coeficientes β₀ a β₈ indicados no Quadro 6.39 (modelo 4).

$$V = \beta_0 + F1(\beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3) + F2(\beta_4x + \beta_5x^2) + \beta_6h + \beta_7Visent + \beta_8Vissai \quad (6.7)$$

Onde:

V_x – velocidade na secção x (km/h)

x – distância à lomba (x=0 na lomba e valores negativos no trecho anterior a esta) (m)

h – altura da lomba (m)

Visent – visibilidade à entrada da lomba (m)

Vissai – visibilidade à saída da lomba (m)

Sendo:

$$F1 = 1, F2 = 0 \text{ para } x \leq 0$$

$$F1 = 0, F2 = 1 \text{ para } x > 0$$

Em termos de variância explicada, de uma forma similar aos modelos anteriores, a distância à lomba revela-se o factor mais importante seguido da altura desta. A visibilidade quer à entrada quer à saída tem um contributo inferior (Quadro 6.37). O modelo representa significativamente melhor a realidade do que a média tendo um valor do rácio $F_{(8,449353)}$ de 129354,218 valor estatisticamente significativo para $p < 0,001$ (Quadro 6.38).

A análise dos resíduos e verificação dos pressupostos do modelo não demonstrou dificuldades, a este nível, podendo verificar-se na Figura 6.22, a similaridade da representação gráfica dos resíduos com a curva normal.

No que concerne a este modelo importa enfatizar que o objectivo de base que assistiu ao seu desenvolvimento (facultar um método expedito de cálculo) acarreta compromissos ao nível do grau de rigor.

Quadro 6.37 – Resumo das características do modelo Simplificado

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,827	,684	,684	6,7368750	,684	194693,221	5	449356	,000
2	,833	,693	,693	6,6373541	,009	13577,373	1	449355	,000
3	,834	,695	,695	6,6183329	,002	2587,613	1	449354	,000
4	,835	,697	,697	6,5961347	,002	3030,544	1	449353	,000

Quadro 6.38 – Análise ANOVA ao modelo Simplificado

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	44181231,240	5	8836246,248	194693,221	,000
	Residual	20394240,016	449356	45,385		
	Total	64575471,255	449361			
2	Regression	44779375,206	6	7463229,201	169409,127	,000
	Residual	19796096,049	449355	44,054		
	Total	64575471,255	449361			
3	Regression	44892718,674	7	6413245,525	146413,339	,000
	Residual	19682752,581	449354	43,802		
	Total	64575471,255	449361			
4	Regression	45024574,583	8	5628071,823	129354,218	,000
	Residual	19550896,673	449353	43,509		
	Total	64575471,255	449361			

Quadro 6.39 – Coeficientes de regressão do modelo Simplificado

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	32,592	,079		413,028	,000	32,438	32,747					
β_1	xF1	-1,215	,003	-2,805	-389,251	,000	-1,221	-1,209	-,636	-,502	-,320	,013	77,051
β_2	xF2	,366	,002	,853	220,743	,000	,363	,369	,032	,313	,181	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,046	-196,668	,000	-,016	-,016	,560	-,282	-,161	,003	355,989
β_4	x2F2	-,001	,000	-,175	-51,611	,000	-,001	-,001	,144	-,077	-,042	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,243	-129,825	,000	,000	,000	-,484	-,190	-,107	,007	136,069
β_6	h	-115,795	,938	-,102	-123,424	,000	-117,634	-113,956	-,110	-,181	-,101	,991	1,009
β_7	Visent	,009	,000	,059	66,827	,000	,009	,009	,067	,099	,055	,878	1,139
β_8	Vissai	,007	,000	,048	55,050	,000	,007	,008	,028	,082	,045	,879	1,138

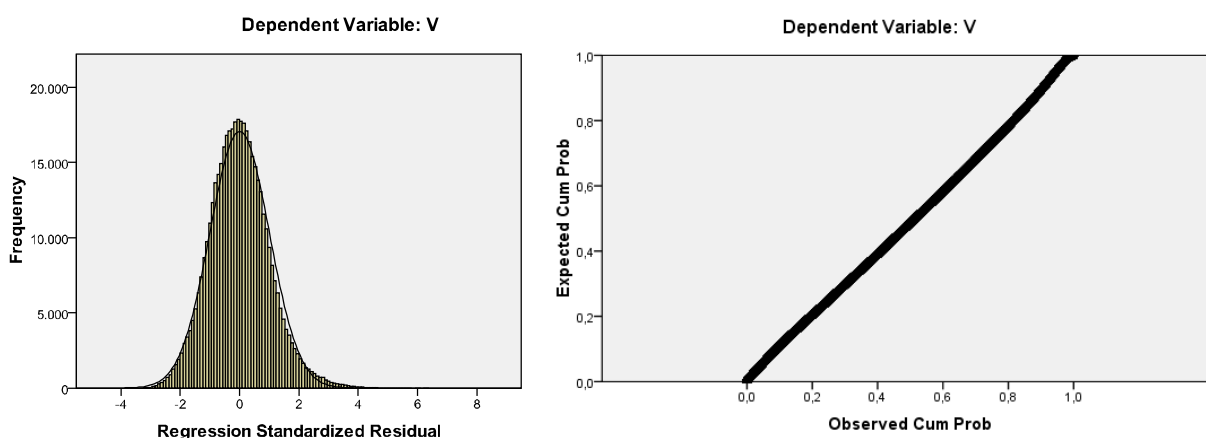


Figura 6.22 – Histograma e normal P-P plot da regressão do modelo Simplificado

Sugerem-se em termos de aplicabilidade do modelo, os valores limite constantes do Quadro 6.40. Este contem os valores extremos às variáveis **h**, **Visent** e **Vissai** e os valores recomendados para a distância à lomba (**x**), entre os quais o modelo faculta resultados verosímeis.

Quadro 6.40 – Gama de valores limite recomendada para o modelo simplificado

	Mínimo	Máximo
x (m)	-90	180
Altura da lomba (m)	0,05	0,095
Visent (m)	50	380
Vissai (m)	50	380

6.7 Avaliação da Qualidade do Ajuste dos Modelos

6.7.1 Introdução

A avaliação da qualidade dos modelos centra-se essencialmente na comparação dos valores estimados pelos modelos desenvolvidos e os valores médios observados em cada uma das lombas.

Importa ter presente que as dificuldades inerentes ao processo de recolha de dados, levou a que se dispusesse de um conjunto limitado de circuitos e com isso uma variabilidade limitada de soluções geométricas para efeito de modelação estatística. Nessa perspectiva e com vista a usufruir da máxima variabilidade geométrica possível, optou-se por inserir todos os dados recolhidos no processo de modelação, não se dispondo portanto de dados complementares para apoio à validação dos mesmos modelos.

Embora qualquer processo de validação deva requerer o levantamento de dados complementares em locais diferentes dos integrados na amostra que serviu de base aos correspondentes trabalhos de modelação, a complexidade associada ao levantamento, processamento e tratamento dos dados tornou essa tarefa impraticável no horizonte temporal deste estudo. Nesse sentido, optou-se por desenvolver uma análise preliminar aos trabalhos de validação dos modelos centrada na avaliação da qualidade do seu ajuste através da comparação dos valores modelados com os valores médios observados em cada local, tendo por base, a velocidade média na aproximação e as características físicas relevantes das lombas.

6.7.2 Modelos Discretos

A avaliação da qualidade do ajuste incidiu sobre os três modelos discretos principais⁶² desenvolvidos ou seja aos modelos de estimação da velocidade na lomba (**VI**), aceleração vertical máxima (**Avmax**) e cálculo do valor de CO₂ total emitido no decurso da aproximação, transposição e saída da lomba (**CO2tot**).

Os resultados encontram-se sintetizados no Quadro 6.41, sendo apresentados os resultados obtidos por cada um dos referidos modelos face aos valores reais médios verificados para cada uma das 34 lombas analisadas. No caso específico da modelação do CO₂ não se apresentam os valores de algumas lombas dado que estas, por terem a zona de saída condicionada, não foram incluídas no processo de modelação.

⁶² Dada a especificidade do modelo **VI** com condutores não se efectuou aqui a análise do mesmo.

No caso do modelo de cálculo da velocidade na (VI), cujos resultados se podem ver na Figura 6.23, verifica-se que a qualidade do ajuste é bastante aceitável, sendo que, na maioria das lombas (62%), o erro médio da estimação é inferior a 5% e apenas em menos de 15% dos casos atinge valores superiores a 7,5%. A análise cuidada dos valores mostra que as principais diferenças se centram num número limitado de lombas, salientando-se de entre estas as lombas 11 (L2aPM), 12 (L2bPM), e 21 (L7aPM). Nos dois primeiros casos (trata-se na realidade da mesma lomba mas percorrida em sentidos opostos) a observação mais cuidada das características geométricas e de enquadramento rodoviário não revelou qualquer indício justificativo da diferença registada. No que concerne à lomba 21, a reduzida visibilidade que se verifica à entrada, poderá ter contribuído para a diferença registada. A qualidade de ajustamento do modelo é confirmada pela aplicação do teste de *t-student* o qual aponta para a ausência de diferenças significativas, ao nível de significância de 95% (Quadro no ponto 3.5 do anexo), entre a média dos valores observados e os valores calculados pelo modelo.

Quadro 6.41 – Aplicação dos modelos discretos às lombas estudadas

Lomba	Modelo VI				Modelo Avmax				Modelo CO2tot				
	VI modelada (km/h)	VI média (km/h)	VI real-VI modelada	Variação %	Avmax média (g)	Avmax modelada (g)	Avmax média - Avmax modelada	Variação %	CO2tot CMEM	CO2tot Modelo	CO2totCMEM/CO2tot Modelo	Variação %	
1	L1aCB	28,93	30,22	1,29	4,3	0,389	0,404	0,015	3,6	57,197	57,147	-0,051	-0,1
2	L1bCB	31,19	31,79	0,60	1,9	0,433	0,419	-0,014	-3,2	46,135	43,721	-2,415	-5,2
3	L2aCB	30,65	33,08	2,43	7,3	0,462	0,457	-0,006	-1,2	44,397	45,535	1,138	2,6
4	L2bCB	31,21	31,22	0,01	0,0	0,393	0,439	0,046	11,7	53,587	52,719	-0,868	-1,6
5	L3aCB	29,90	30,88	0,98	3,2	0,464	0,410	-0,053	-11,5	54,137	53,215	-0,922	-1,7
6	L3bCB	30,74	31,14	0,40	1,3	0,433	0,413	-0,020	-4,6	41,939	41,183	-0,756	-1,8
7	L4aCB	30,87	31,75	0,88	2,8	0,414	0,437	0,023	5,6	54,022	50,620	-3,402	-6,3
8	L4bCB	32,70	30,48	-2,22	-7,3	0,445	0,425	-0,019	-4,4	49,841	47,487	-2,353	-4,7
9	L1aPM	31,25	30,94	-0,30	-1,0	0,283	0,331	0,048	17,1	47,266	47,829	0,563	1,2
10	L1bPM	32,94	31,27	-1,67	-5,4	0,284	0,334	0,050	17,8	40,451	39,414	-1,036	-2,6
11	L2aPM	32,69	28,14	-4,55	-16,2	0,316	0,310	-0,006	-2,0	45,660	43,359	-2,301	-5,0
12	L2bPM	32,11	29,14	-2,97	-10,2	0,330	0,320	-0,011	-3,2	50,437	49,529	-0,908	-1,8
13	L3aPM	29,11	27,73	-1,38	-5,0	0,311	0,283	-0,028	-8,9				
14	L3bPM	25,72	28,44	2,72	9,6	0,325	0,290	-0,035	-10,8	57,92	52,027	-5,89	-10,2
15	L4aPM	26,63	28,26	1,63	5,8	0,294	0,296	0,002	0,6	51,78	45,864	-5,91	-11,4
16	L4bPM	29,59	28,69	-0,89	-3,1	0,325	0,300	-0,025	-7,6				
17	L5aPM	28,20	28,78	0,58	2,0	0,318	0,298	-0,021	-6,5	49,69	48,119	-1,57	-3,2
18	L5bPM	30,48	28,77	-1,71	-6,0	0,312	0,297	-0,014	-4,6				
19	L6aPM	28,00	28,86	0,86	3,0	0,296	0,322	0,026	8,7	51,97	48,282	-3,69	-7,1
20	L6bPM	28,92	28,04	-0,88	-3,1	0,310	0,314	0,004	1,3	51,56	48,937	-2,62	-5,1
21	L7aPM	32,79	28,11	-4,68	-16,6	0,278	0,309	0,030	10,9	51,55	47,763	-3,79	-7,3
22	L7bPM	32,50	29,60	-2,90	-9,8	0,288	0,323	0,034	11,9	49,49	46,835	-2,66	-5,4
23	L1a110	36,05	37,73	1,68	4,5	0,408	0,428	0,020	4,9	43,12	45,646	2,52	5,8
24	L1b110	36,81	37,86	1,04	2,8	0,486	0,429	-0,057	-11,7	46,24	48,565	2,32	5,0
25	L2a110	36,59	36,91	0,31	0,8	0,344	0,398	0,055	15,9	39,80	40,894	1,09	2,7
26	L2b110	33,27	35,25	1,98	5,6	0,417	0,382	-0,035	-8,3	56,37	56,011	-0,36	-0,6
27	L3a110	34,66	35,44	0,79	2,2	0,446	0,426	-0,019	-4,4	40,02	41,254	1,23	3,1
28	L3b110	34,45	34,57	0,12	0,3	0,449	0,418	-0,032	-7,0	50,96	49,373	-1,59	-3,1
29	L4a110	29,28	31,83	2,55	8,0	0,408	0,375	-0,033	-8,1	49,99	49,567	-0,43	-0,9
30	L4b110	33,71	33,79	0,08	0,2	0,419	0,394	-0,026	-6,1	40,99	43,954	2,96	7,2
31	L5a110	34,43	35,36	0,92	2,6	0,326	0,296	-0,031	-9,4	36,83	41,272	4,44	12,1
32	L5b110	35,05	37,25	2,20	5,9	0,319	0,314	-0,005	-1,4	41,75	43,142	1,39	3,3
33	L6a110	34,55	33,14	-1,41	-4,3	0,316	0,340	0,024	7,7				
34	L6b110	32,10	32,36	0,26	0,8	0,294	0,333	0,038	13,0	55,83	57,190	1,36	2,4

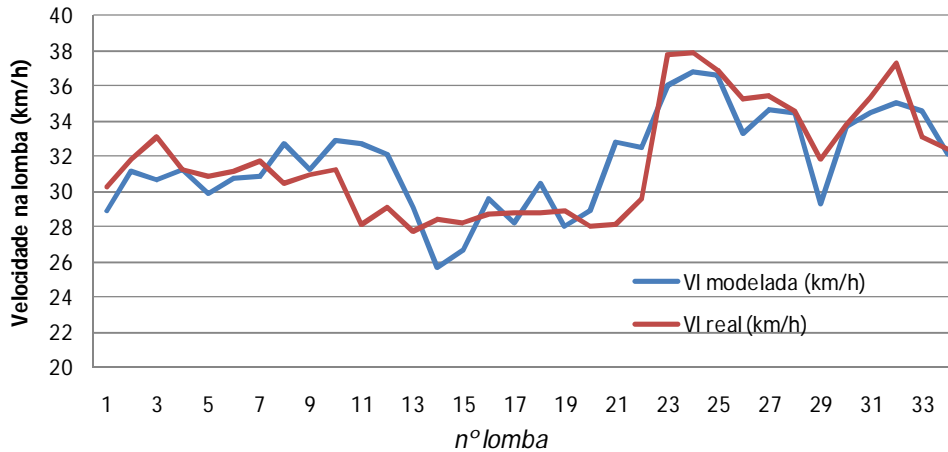


Figura 6.23 – Comparação entre os valores modelados e valores médios observados para a **VI**

A análise efectuada para a aceleração vertical máxima na lomba (**Avmax**) revelou igualmente um desempenho positivo deste modelo, situando-se o desvio médio em 7,5% e com cerca de 74% das lombas, com diferenças abaixo dos 10% (Figura 6.24). O teste de *t-student* não revelou diferenças significativas entre a média dos valores observados e modelados para um nível de confiança de 95%. A análise individualizada efectuada aos casos extremos não revelou qualquer padrão explicativo das diferenças registadas. Refira-se, no entanto, que conforme já mencionado no capítulo anterior dos três modelos discretos desenvolvidos este será, à partida, o menos relevante, dada a sua aplicabilidade mais restrita.

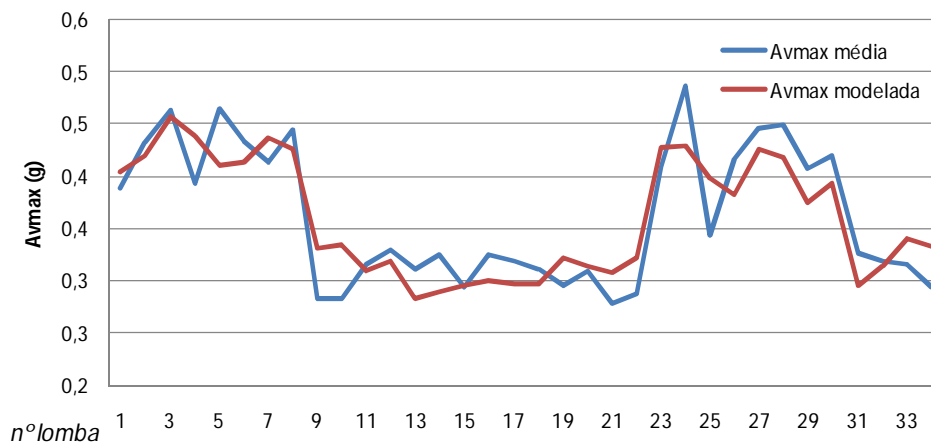


Figura 6.24 – Comparação entre os valores modelados e valores médios observados para a **Avmax**

Uma abordagem similar aplicada ao modelo de estimação do CO₂ emitido na zona de influência da lomba, aponta igualmente para resultados bastante positivos. A Figura 6.25 mostra um bom ajuste dos valores modelados à média dos valores observados, sendo que 57% dos casos têm erros de estimação inferiores a 5% e 90% dos casos inferiores a 7,5%. As maiores diferenças concentram-se em 3 casos específicos (lombas 14, 15, e 31). Mais uma vez

a aplicação do teste *t-student* comprova que as diferenças não são estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95%.

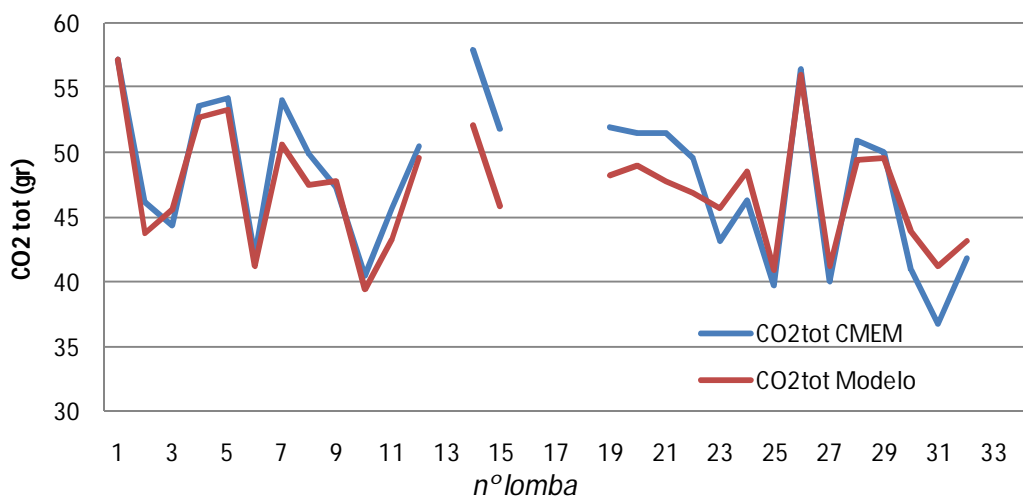


Figura 6.25 – Comparação entre os valores modelados e valores médios observados para a variável **CO2tot**

6.7.3 Modelos de Velocidade Contínuos

De forma similar ao referido para os modelos discretos a validação dos modelos contínuos, desenvolvidos⁶³ para estimação da velocidade deveria justificar a recolha de uma base de dados complementar assente em locais diferentes dos que serviram de base ao desenvolvimento dos modelos. Na ausência desses dados, optou-se por avaliar a qualidade do ajuste dos modelos desenvolvidos por comparação dos valores estimados pelos modelos com a média dos valores observados, num conjunto fixo e predefinido de pontos dos circuitos.

Essa análise foi efectuada para um conjunto alargado de lombas apresentando-se, nas figuras seguintes, os resultados relativos a três delas, consideradas representativas do conjunto global já que os resultados obtidos são genericamente bastante similares. Os casos seleccionados representam as lombas que, segundo o Quadro 6.41 obtiveram as melhores (lombas L2bCB e L4aCB) e as piores (lomba L2aPM) qualidades no ajuste, em termos de estimação da velocidade na lombas. Este conjunto integra ainda lombas que representam diferentes tipologias das lombas em termos de características físicas (circulares e trapezoidais).

O primeiro exemplo (Figura 6.26), corresponde a uma lombas circular do circuito de Casal do Barril. A lombas em causa (L2bCB) tem um comprimento relativamente baixo de 4,2 m, uma altura de 8 cm e está inserida numa faixa de rodagem com 7,44 m de largura. A observação da evolução dos perfis estimados relativamente aos perfis reais recolhidos revela um bom ajuste

⁶³ Dadas as características do modelo base, com condutores este não foi aqui analisado.

destes à mancha dos dados registados embora, visualmente, se possa descortinar alguma tendência de subestimação da velocidade, particularmente ao nível da entrada.

É igualmente notória a dispersão de valores resultante da variabilidade nos comportamentos dos condutores ao longo de todo o trecho considerado. Outro aspecto importante a assinalar é a concordância de valores entre o modelo de base (a laranja) e o modelo simplificado (a verde).

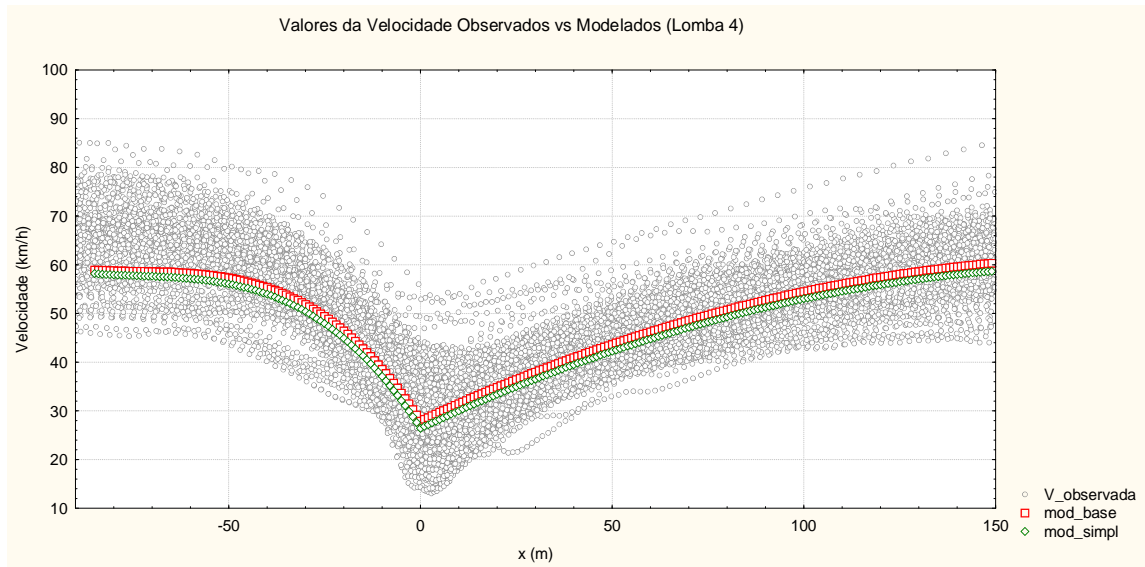


Figura 6.26 – Valores observados e modelados para a lombagem L2bCB

Dada a dispersão dos valores observados, optou-se por fazer uma comparação directa dos valores modelados aos valores médios observados. Optou-se por assumir a comparação dos valores relativos aos pontos determinantes do circuito pré-definidos, ajustando-lhes uma curva do tipo *spline* para lhe conferir o efeito de continuidade. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura 6.27 a qual confirma as tendências detectadas visualmente.

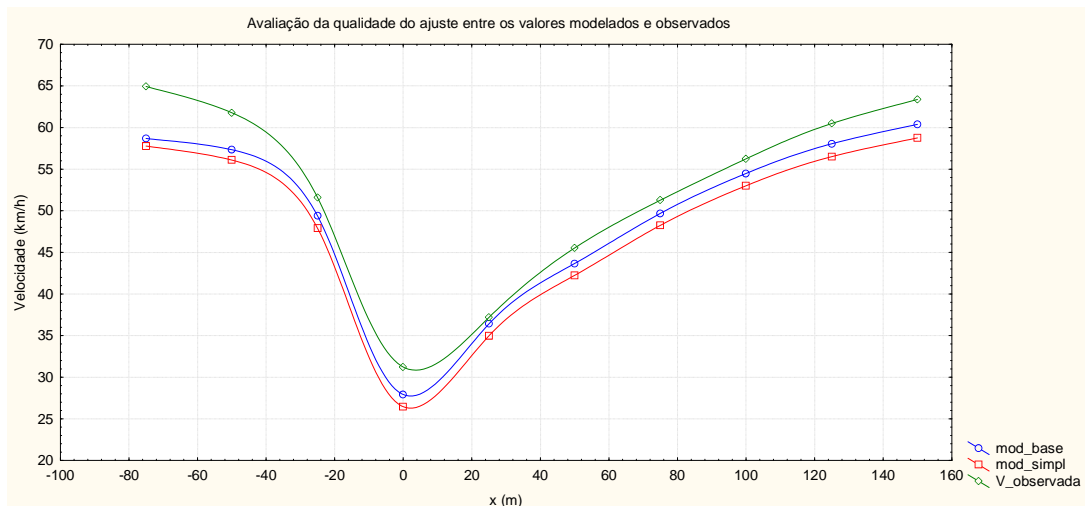


Figura 6.27 – Valores médios observados e modelados para a lombagem L2bCB

É evidente uma boa qualidade do ajuste, havendo no entanto uma subestimação dos valores da velocidade ao longo de todo o circuito, sendo esse efeito ainda mais evidente no trecho de aproximação à lomba e na secção de atravessamento da lomba. Essa subestimação é independente do modelo adoptado contudo é igualmente evidente uma tendência de melhoria de estimação do modelo base em relação ao simplificado.

De facto a aplicação do teste de *t-student* confirma a existência de diferenças estatisticamente significativas na comparação dos valores, ao nível de confiança de 95%. Apesar disso verifica-se que, em termos físicos, essas diferenças não são significativas, situando-se a maior das diferenças na secção de aproximação, com uma diferença em termos absolutos de cerca de 7 km/h, representando em termos relativos cerca de 11%.

As mesmas conclusões podem ser retiradas em relação à lomba L4aCB (Figura 6.28). Esta lomba é igualmente do tipo circular com um comprimento de 4,6 m e uma altura de 7,5 cm e está inserida numa faixa de rodagem com 6 m de largura. Com efeito, a análise da figura evidencia um bom ajustamento dos modelos à mancha de dados observados. Apesar da similaridade dos resultados, em relação ao caso anterior é, neste caso, notório algum afastamento dos resultados relativos aos dois modelos de estimação, tendendo o modelo base a estimar valores superiores aos do modelo simplificado. Apesar disso, qualquer um dos modelos apresenta, aparentemente, um andamento da curva bem ajustado à mancha de pontos observados.

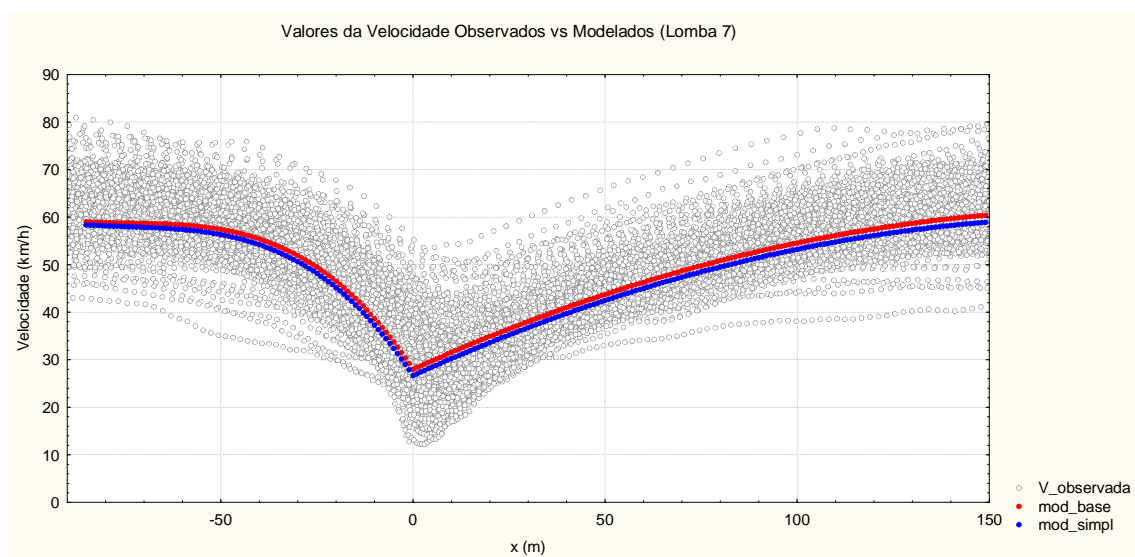


Figura 6.28 – Valores observados e modelados para a lomba L4aCB

Esse efeito é ainda mais claro quando avaliada a qualidade do ajuste dos modelos de estimação ao perfil resultante dos valores médios nas secções determinantes do circuito. A Figura 6.29 evidencia um melhor ajuste entre os valores observados e o modelo base,

situando-se os maiores afastamentos entre os valores observados e os estimados através do modelo simplificado. Trata-se assim de uma lomba onde a velocidade de aproximação assumiu um efeito muito importante na qualidade do ajuste final. É ainda de realçar, à semelhança do exemplo anterior, uma tendência de subestimação dos valores modelados, ao longo de todo o circuito, o que indicia que a estimação da velocidade ao longo do circuito depende significativamente da correcta estimação da velocidade de aproximação.

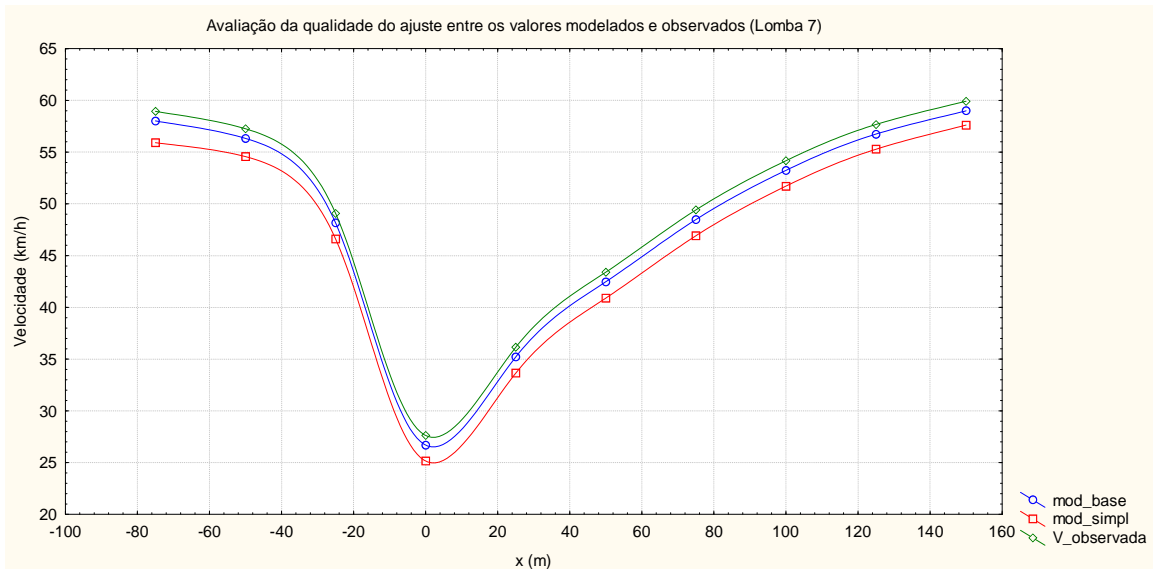


Figura 6.29 – Valores médios observados e modelados para a lomba L4aCB

A aplicação do teste de *t-student* evidencia a presença de diferenças significativas entre os valores estimados e os observados ao nível de confiança de 95%. Porém e também neste exemplo, as diferenças registadas em termos físicos são pouco significativas, registando-se a maior diferença na secção de aproximação com erros absolutos na ordem dos 5 km/h, o que em termos relativos representa um erro inferior a 8%.

Por sua vez, a Figura 6.30 apresenta a sobreposição dos resultados no modelo às observações registadas na lomba L2aPM. De acordo com o Quadro 6.41, esta representa uma das soluções que resultou num dos piores ajustes em termos de velocidade na lomba.

Também estes resultados podem ser considerados aceitáveis, já que o andamento das curvas representativas dos modelos de estimação se ajusta devidamente ao andamento da mancha de valores observados.

É neste caso extremamente visível a sobreposição dos resultados relativos aos dois modelos desenvolvidos (base e simplificado). Estes resultados (e que de forma geral são comuns à maioria das lombas estudadas) conferem uma boa robustez ao modelo simplificado

comparativamente ao modelo base, apesar de a sua aplicação ser menos exigente em termos de variáveis de entrada.

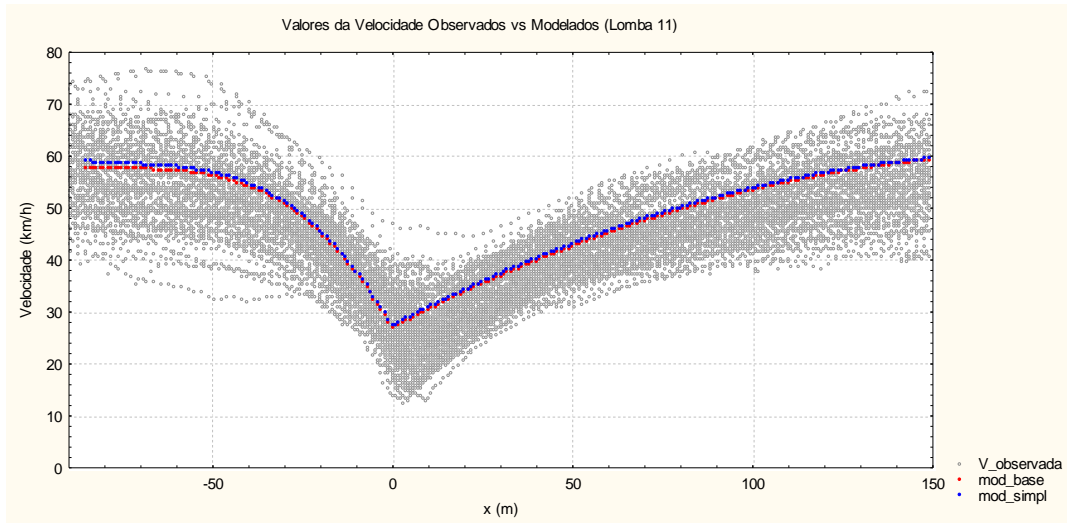


Figura 6.30 – Valores observados e modelados para a lomba L2aPM

Uma análise cuidada da qualidade do ajuste indicia, no entanto, um bom ajustamento na fase de aproximação e entrada, sendo notório algum afastamento entre as curvas na zona da saída, independentemente do modelo de estimação considerado. A comparação dos valores médios observados com os modelados pelos dois modelos veio confirmar este efeito, ao evidenciar um aumento do afastamento entre curvas, na zona da saída (Figura 6.31).

Contrariamente às outras duas soluções anteriores, este exemplo aponta para uma sobre estimação dos valores relativamente às médias observadas. Não deixa contudo de ser curioso o facto de apesar da sobre estimação generalizada dos valores no circuito, o valor da velocidade na lomba apontar para valores inferiores aos registados.

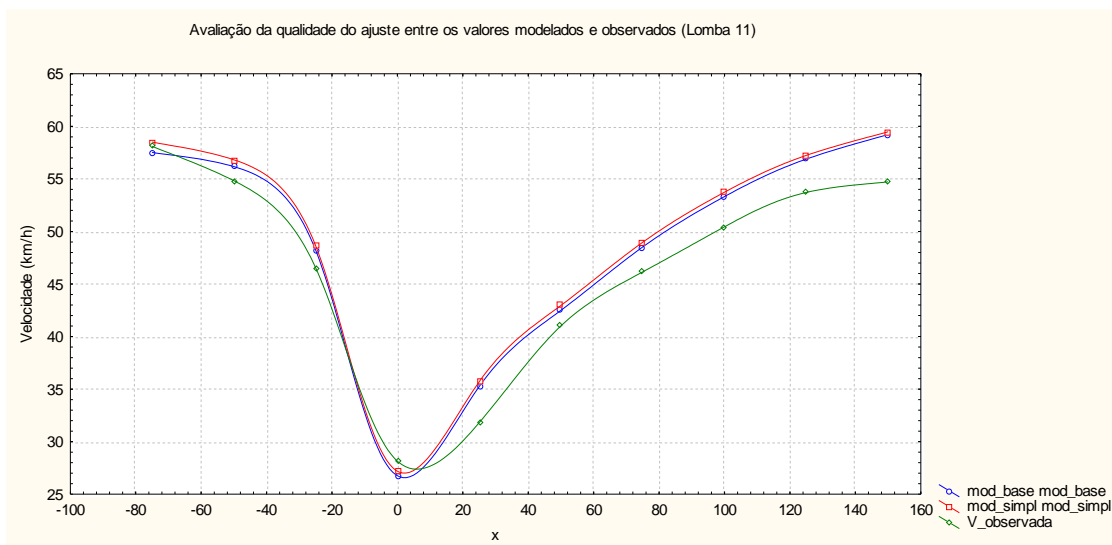


Figura 6.31 – Valores médios observados e modelados para a lomba L2aPM

A aplicação do teste de *t-student* comprova igualmente a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores modelados e as médias observadas. Essas diferenças situam-se no trecho de saída embora com valores absolutos e relativos bastante moderados (inferiores a 5 km/h e a 8%).

Embora se tenha optado por apresentar no corpo apenas estes 3 exemplos, a análise dos exemplos acima indicaram alguns aspectos que mereceram uma análise detalhada aplicada às 34 situações analisadas. Genericamente o problema da subestimação ou sobre estimação evidenciada pelos modelos em relação aos valores médios observados, não transpareceu de forma evidente. Identifica-se um conjunto de lombas onde as curvas de estimação sobrestimam, outro que subestimam e ainda um outro conjunto em que essa tendência não se mantém ao longo do circuito. Essa multiplicidade de resultados está genericamente transposta na aleatoriedade de distribuição dos resíduos sendo portanto expectável que no em termos gerais se tenha conseguido maior qualidade do ajuste.

O outro aspecto analisado com detalhe foi a tendência de subestimação da velocidade na secção de transposição da lomba. O alargamento da análise às 34 lombas revelou uma tendência quase generalizada de subestimação do valor da velocidade nesse ponto (33 das 34 lombas, sendo que a única que não é subestimada aponta para uma diferença de mais 0,7 km/h).

Esse facto deve-se, muito possivelmente, à metodologia em que se apoiou o desenvolvimento dos modelos contínuos de velocidade. Tal como referido anteriormente, de forma a garantir a estabilidade da curva final dos modelos, a metodologia assentou na adopção de duas curvas polinomiais de graus diferentes (grau 2 na entrada e 3 na saída), localizando-se a secção de fronteira na secção da lomba (ponto de $x=0$). Este ponto, por ser de oscilação da curva (ponto de fronteira), revela-se particularmente sensível à modelação já que, resulta da optimização global dos dois modelos que aí confluem. Por outro lado, importa ter presente que o objectivo implícito ao desenvolvimento matemático dos modelos contínuos é encontrar as curvas que melhor se ajustam à mancha global de valores observados, tendo por base a sua distribuição espacial quer no trecho de aproximação, quer no de e afastamento da lomba (variável x). É portanto expectável que, a estimação do valor da velocidade na lomba sofra, neste modelo contínuo, o efeito de optimização conjunta das duas curvas (de aproximação e de afastamento), resultando num valor, com grau de erro superior ao obtido no modelo discreto.

6.8 Síntese Conclusiva

Este capítulo foi dedicado à exploração das relações entre as diversas variáveis mais relevantes em jogo procurando-se estabelecer relações entre elas recorrendo a processos de modelação matemática.

A primeira questão abordada foi a velocidade de passagem nas lombas sendo efectuada uma caracterização dos principais factores que mostraram ter influência na estimação desta. Esta abordagem permitiu a identificação de algumas relações entre as variáveis em jogo tendo-se desenvolvido modelos de regressão que permitem a estimação do valor da velocidade de passagem. Registe-se, no entanto, que a variância explicada por estes não é muito elevada o que é maioritariamente justificado pela elevada variabilidade do comportamento do condutor, designadamente a inconsistência comportamental de cada condutor aliada à heterogeneidade inter-condutores. A inclusão de variáveis representativas dos condutores permitiu aumentar ligeiramente a justificação da variância, realçando contudo a importância assumida pela inconsistência comportamental.

A questão das emissões de CO₂ foi abordada tendo-se concluído que a implementação de uma lomba acarreta, sempre, uma externalidade negativa cuja dimensão tem uma correlação muito elevada com a atitude do condutor à saída desta mais concretamente com a aceleração horizontal do veículo adoptado.

O desconforto inerente à passagem numa lomba foi analisado recorrendo aos valores observados para a aceleração vertical nesta situação sendo este procedimento comum em estudos desta natureza. Nesta conformidade foi desenvolvido um modelo que, face às características geométricas principais da lomba e da velocidade com que é transposta permite a estimação dos valores de aceleração vertical, permitindo, deste modo, o cotejo de soluções geométricas alternativas. A velocidade de passagem e altura da lomba revelaram-se, neste aspecto, como os factores mais relevantes.

Por fim, recorrendo a técnicas de regressão múltipla hierarquizada, foram desenvolvidos vários modelos de velocidade que permitem estimar o perfil de velocidades na zona de influência da lomba. Estes modelos constituem uma ferramenta interessante, para auxiliar o meio técnico da especialidade, quer dimensionamento deste tipo de soluções quer eventualmente no estabelecimento de análises comparativas entre soluções.

A validade dos principais modelos desenvolvidos foi, igualmente, analisada tendo-se concluído que a fiabilidade e robustez dos modelos desenvolvidos é bastante satisfatória, obtendo-se comparativamente à média dos valores observados, uma boa qualidade do ajuste.

7. Potencial de Desempenho de Lombas

7.1 Introdução

As análises de correlação e o desenvolvimento dos modelos de estimação das velocidades e das emissões apontaram, consensualmente, para a importância assumida pelas características físicas da infra-estrutura e ambiente rodoviário, nas atitudes assumidas pelo condutor durante a aproximação e transposição da lomba.

O objectivo principal deste trabalho de investigação centra-se no estudo das inter-relações entre as várias componentes do sistema de tráfego e, em particular, a forma como as características prevalentes da lomba condicionam o comportamento do condutor e, com base no conhecimento dessas relações, avaliar o potencial de desempenho das mesmas quer numa perspectiva de redução de velocidade quer do seu impacte em termos de emissões poluentes.

Nesse contexto, este capítulo centra-se na avaliação da forma como a implantação de lombas, com determinadas características físicas, pode resultar em diferentes níveis de desempenho.

Finalmente, são tecidas algumas considerações relativamente aos efeitos esperados em termos de eficiência na redução de velocidade e das consequências ao nível da vertente ambiental em função de vários cenários de implementação e características geométricas das lombas.

7.2 Avaliação da Eficiência das Lombas na Redução de Velocidade

Tendo por base os modelos de regressão desenvolvidos no capítulo anterior, foram levadas a cabo algumas análises de sensibilidade, procurando-se avaliar o peso que a variação de algumas variáveis, assume nas velocidades registadas e, em particular, na redução registada na lomba relativamente à velocidade de aproximação. Para o efeito, fez-se variar, de forma gradual, cada uma das variáveis em estudo, atribuindo-se valores fixos às restantes variáveis. A gama de variação atribuída a cada uma das diferentes variáveis foi, por razões de robustez e fiabilidade das análises, limitada aos intervalos de valores recomendados para aplicação de cada um dos modelos previamente desenvolvidos.

7.2.1 O Efeito da Velocidade de Aproximação

Tendo por base o modelo discreto e contínuo de estimação da velocidade este sub-ponto centra-se na avaliação do efeito que a velocidade de aproximação assume na variação da

velocidade na lomba, quando fixadas as características geométricas dentro da gama de valores coerentes. Para o efeito considerou-se uma lomba caracterizada por uma altura de 0,075 m e um comprimento de 6 m, representando, de forma geral, uma lomba associada a uma passagem de peões elevada.

A Figura 7.1 mostra a relação entre a velocidade de aproximação (V_{max}) e a velocidade na lomba (V_l), tendo por base o modelo discreto de estimação da V_l (equação 6.1). Essa relação é do tipo linear assumindo uma magnitude de cerca de 0,312. Ou seja, é expectável que sempre que a velocidade de aproximação aumente um determinado valor, a velocidade na lomba aumente apenas 31,2% desse valor. Este valor é consentâneo com o apontado no capítulo anterior resultante de análises estatísticas preliminares.

Por outro lado, e face à gama corrente da variação das velocidades de aproximação entre os 50 e os 80 km/h, é expectável que, à semelhança do referido anteriormente, o nível de redução da velocidade na lomba relativamente à velocidade de aproximação, se aproxime, em média, dos 50%.

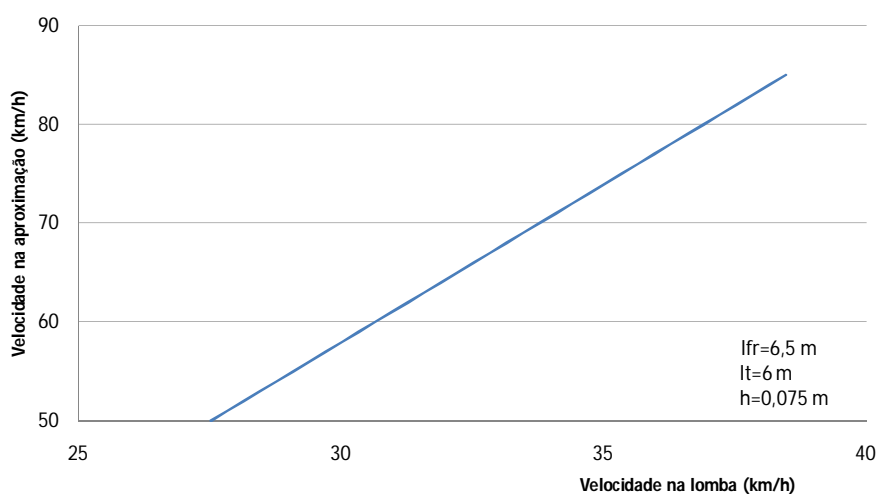


Figura 7.1 – Relação entre a V_{max} e a V_l por aplicação do modelo discreto

7.2.2 O Efeito da Altura da Lomba

Durante as fases de desenvolvimento dos modelos discreto e contínuo de estimação da velocidade, a altura da lomba (h) revelou-se sempre estatisticamente significativa, integrando, por isso, as formulações dos vários modelos finais. Nesse sentido e recorrendo à equação 6.1 optou-se por avaliar o peso que a variação deste parâmetro assume no comportamento do condutor e, em particular, na velocidade registada na lomba.

A Figura 7.2 mostra a relação entre a velocidade na lombas e a altura da mesma, quando a velocidade de aproximação é fixada em 60 km/h. Todos os restantes parâmetros mantiveram os mesmos valores assumidos na análise anterior.

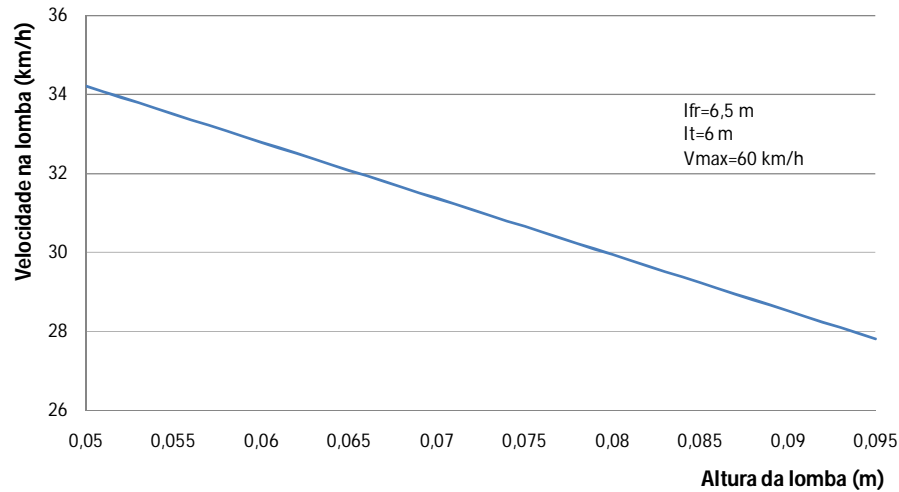


Figura 7.2 – Relação entre a velocidade na lombas (**VI**) e a altura da mesma (**h**) por aplicação do modelo discreto

Como se pode verificar, o efeito da altura da lombas é bastante significativo, sendo previsível que, em média, num local onde a velocidade de aproximação seja de 60 km/h, a redução da velocidade para 30 km/h deverá exigir a aplicação de uma lombas com 0,08 m. O aumento da altura da lombas para 0,095 resulta na diminuição da velocidade para cerca de 28 km/h na secção da transposição da lombas.

Atendendo a que as relações entre as variáveis são tendencialmente lineares, verifica-se que, independentemente da velocidade de aproximação, para se atingir uma redução de 5 km/h na velocidade da lombas, é necessário aumentar a altura da lombas em cerca de 0,035 m. Esta relação aponta para valores ligeiramente inferiores aos apontados por Engel e Thomsen (Engel e Thomsen, 1992), que apontam para reduções de velocidade de 1 km/h por cada cm de aumento de altura da lombas. O condutor português parece assim menos sensível ao desconforto.

7.2.3 Comprimento da Lombas

A Figura 7.3 mostra a variação da velocidade da lombas em função do comprimento na lombas quando fixada a velocidade de aproximação a 60 km/h e a altura da lombas a 0,075 m e quando utilizado o modelo discreto. Embora o efeito não seja muito acentuado, particularmente quando comparado com o efeito associado à altura da lombas, verifica-se que a velocidade aumenta à medida que o comprimento da lombas também aumenta. Essa relação é

tendencialmente linear, sendo que um aumento de 5 m no comprimento da lomba se traduz num aumento de cerca de 3,5 km/h.

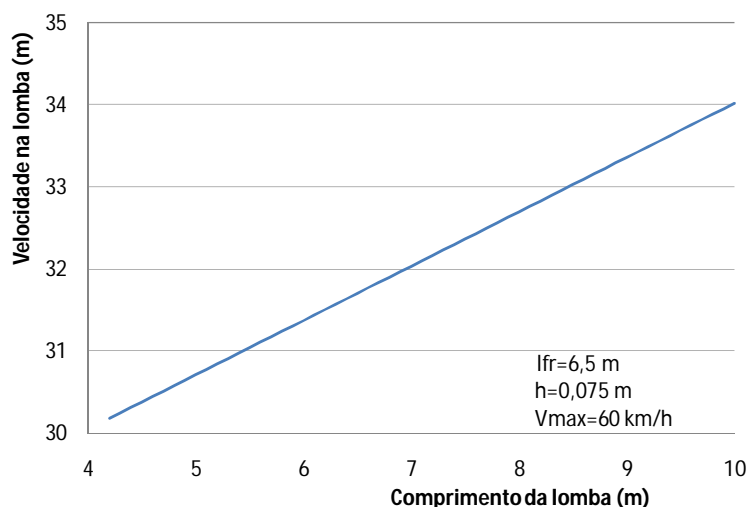


Figura 7.3 – Variação da velocidade na lomba em função do seu comprimento (**lt**)

É igualmente perceptível que, mesmo face a lombas curtas (cerca de 4 m) e num ambiente de velocidade controlada não é possível, para uma altura de lomba de 0,075 m, atingir velocidades inferiores a 30 km/h.

7.2.4 Efeito da Altura da Lomba e Velocidade de Aproximação

Neste ponto optou-se por avaliar o efeito conjunto da altura da lomba (**h**) e da velocidade de aproximação (**V_{max}**), na velocidade da lomba (**V_l**).

Mais uma vez, as restantes variáveis foram fixadas, mantendo-se os valores apontados previamente. Esta análise procura avaliar o impacto na alteração da altura da lomba e da velocidade de aproximação numa solução de uso comum na via pública, como sendo uma típica passagem de peões elevada.

O resultado pode ser visualizado na Figura 7.4, a qual sintetiza 3 variações de altura de lomba representando as soluções mais comumente utilizadas na via pública. A sua aplicação, pode assim constituir uma ferramenta expedita de apoio ao dimensionamento geométrico de lombas, permitindo definir a altura mais adequada, tendo por base a velocidade de aproximação local e a velocidade na lomba pretendida. A título de exemplo, a aplicação de uma lomba num local cuja velocidade de aproximação se aproxime dos 75 km/h, deverá assumir uma altura 0,075 m caso se pretenda que a velocidade na lomba se cifre nos 35 km/h.

Apesar da parametrização efectuada, verifica-se que a variação da velocidade na lomba em função da altura (Figura 7.2) e da velocidade de aproximação (Figura 7.1) segue variações

lineares, pelo que a adopção de valores intermédios pode ser conseguida por simples operações de interpolação linear.

A mesma Figura 7.4 evidencia um peso considerável das duas variáveis (**V_{max}** e **h**) na estimação da velocidade da lomba. Do ponto de vista dimensional, a análise desta figura permite ainda avaliar soluções alternativas. Ou seja, é possível concluir que, em termos médios, para se atingir a velocidade de 34 km/h na lomba numa via cuja velocidade de aproximação se cifre na ordem dos 80 km/h (redução de 57,5%), ou se opta por uma lomba com 0,10 m de altura, ou se utiliza uma de 0,05 necessariamente complementada por outra medida física localizada a montante, capaz de reduzir a velocidade de aproximação para cerca de 60 km/h.

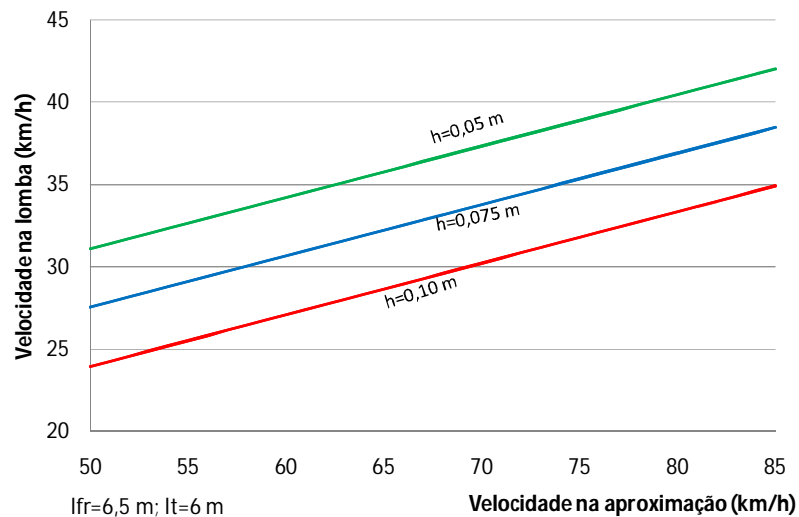


Figura 7.4 – Velocidade da lomba em função da velocidade de aproximação e altura da lomba

7.2.5 Velocidades nas Imediações das Lombas

Também a Figura 7.5 apresenta, de acordo com um código de cores, as velocidades nas imediações de uma lomba calculadas recorrendo ao modelo contínuo de base para a combinação das três alturas de lomba consideradas (0,05; 0,075 e 0,10 m), com quatro velocidades de aproximação. Os resultados evidenciam, de forma notória, a influência destes factores na velocidade ao longo de todo o trecho em análise. Analisando a influência da altura da lomba é possível observar que, em particular para velocidades de aproximação elevadas, para se conseguir aumentar a extensão do trecho com velocidades baixas o recurso a lombas de altura elevada se revela indispensável. O papel da velocidade de aproximação é igualmente marcante sendo notório que com velocidades baixas uma percentagem considerável do trajecto é percorrida a velocidades inferiores ao máximo legal estipulado para zonas urbanas.

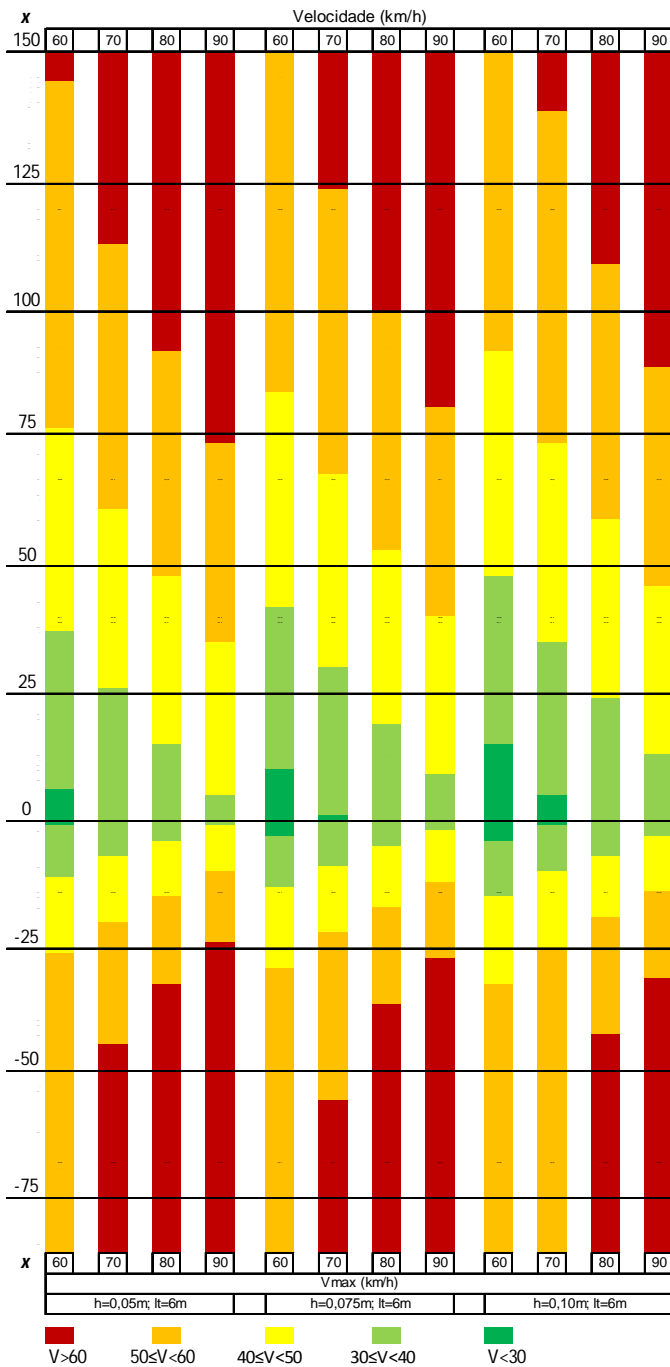


Figura 7.5 – Velocidade nas imediações da lomba de acordo com o modelo Base em função de **Vmax** e **h**

A mesma figura evidencia que a zona de influência à saída é mais extensa do que na zona da entrada.

Verifica-se ainda que maioritariamente a presença de uma lomba (independentemente das suas características geométricas e velocidade de aproximação) impõe a prática de velocidades moderadas (abaixo dos 50 km/h) no trecho compreendido entre os 25 m que a antecedem e nos 75 m que lhe sucedem.

É também possível concluir que, independentemente da altura da lomba (dentro das gamas tecnicamente aceitáveis – máximo 10 cm) para se assegurar a prática de velocidades na lomba inferiores a 30 km/h, obrigatoriamente terá de se salvaguardar que a velocidade na aproximação não ultrapasse os 70 km/h (ver também Figura 7.6).

Também a Figura 7.6 apresenta o efeito combinado da altura da lomba e da velocidade de aproximação, no desempenho da lomba. O indicador de eficácia, foi aqui traduzido pela redução percentual da velocidade na lomba relativamente à velocidade de aproximação.

Como se pode verificar, e à semelhança de resultados de estudos anteriores, concluiu-se que a eficácia da lomba aumenta com o incremento quer da velocidade de aproximação quer da altura da lomba. É ainda notório que esse aumento de eficácia é ligeiramente mais sensível ao aumento da altura da lomba do que em relação à velocidade de aproximação. Em termos

globais, a implementação de lombas, com estas características físicas, mostra-se capaz de reduzir a velocidade na lomba entre os 40 e 60%, ou seja atinge níveis de eficácia bastante elevados, mesmo para velocidades de aproximação e alturas de lombas, bastante moderadas. Estes resultados estão totalmente em consonância com os valores médios apresentados no capítulo 5 e com os valores apresentados nas subsecções anteriores, o que indicia que o modelo desenvolvido se releva particularmente adequado à representação dos comportamentos médios.

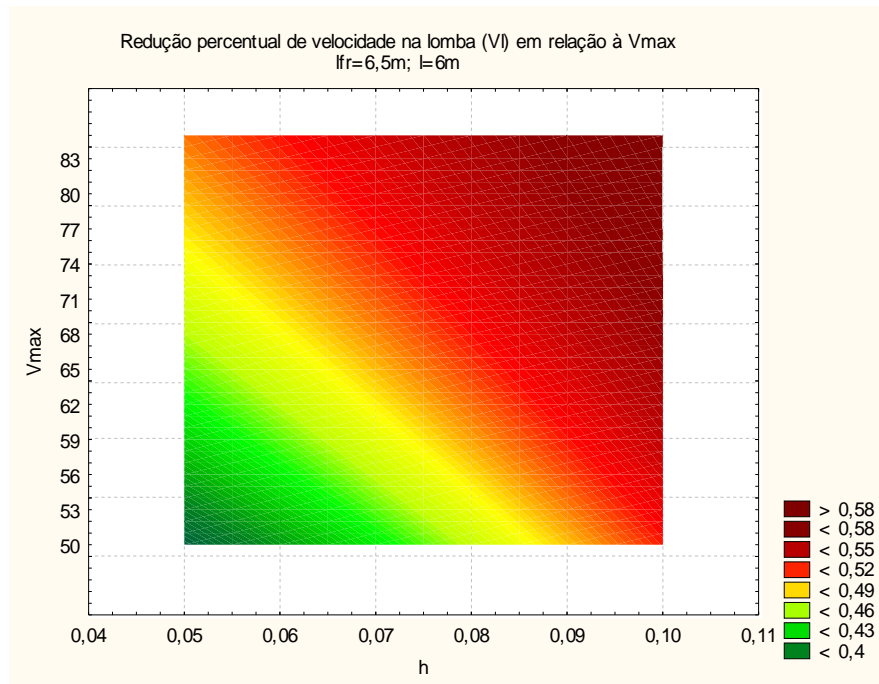


Figura 7.6 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com as variáveis **h** e **Vmax**

De facto as soluções menos eficazes em termos de redução de velocidades são as que associam cumulativamente velocidades de aproximação e alturas baixas. Apesar disso e tal como se pode verificar, mesmo as lombas com alturas de 0,05 m conseguem atingir níveis de eficácia bastante elevados, atingindo reduções superiores a 50% para velocidades de aproximação superiores a 75 km/h. Por sua vez, para velocidades de aproximação de 50 km/h, só a aplicação de uma lomba com 0,09 m de altura se revela capaz de atingir graus de eficácia na ordem dos 50%.

7.2.6 Efeito do Comprimento da Lomba e da Velocidade de Aproximação

A Figura 7.7 mostra, de forma conjugada, o efeito do comprimento da lomba e da velocidade de aproximação na velocidade de transposição da lomba. Para o efeito foi considerada uma lomba com 0,075 m de altura, mantendo-se os restantes parâmetros fixos e iguais aos apresentados anteriormente.

Os resultados correspondem ao expectável, apontando para um aumento da velocidade na lomba com o aumento quer da velocidade de aproximação quer do comprimento da lomba. O efeito do comprimento da lomba tende a ser linear e pouco relevante em termos físicos. De facto, quando comparado com a Figura 7.4, verifica-se que o comprimento da lomba assume um peso na variação da velocidade da lomba menos importante comparativamente à sua altura.

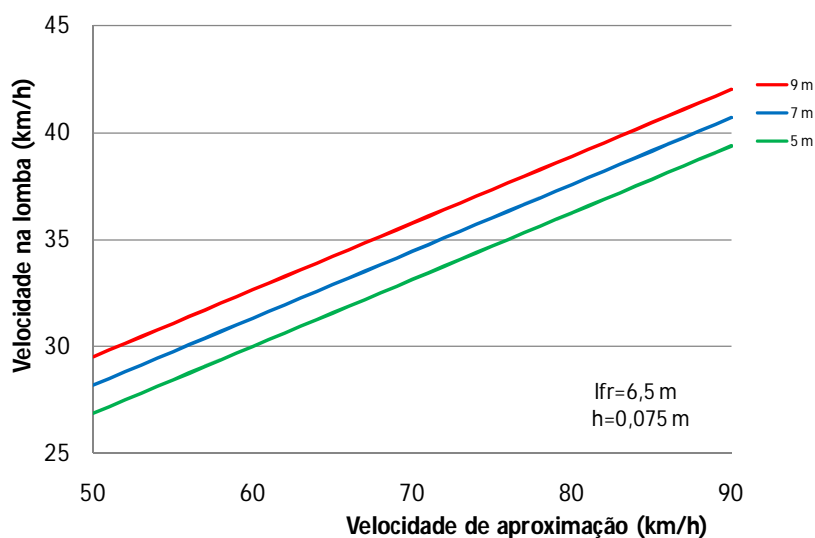


Figura 7.7 – Velocidade na lomba em função da velocidade de aproximação e comprimento da lomba

É como tal expectável que para uma velocidade de aproximação constante, a diminuição do comprimento da lomba de 9 para 5 m seja capaz de justificar cerca de 2,5 km/h de redução da velocidade na lomba.

Por sua vez, a Figura 7.8 permite avaliar o efeito do comprimento da lomba no grau de eficácia em termos de redução da velocidade, quando fixada a altura da lomba (neste caso foi fixada a altura em 0,075 m sendo apresentados no ponto 3.6 do anexo também para alturas de 5 e 10 cm). Mais uma vez, foi considerado como grau de eficácia a redução percentual da velocidade na lomba relativamente à velocidade de aproximação.

Os resultados obtidos pela utilização do modelo discreto, mostram, o elevado grau de eficácia associado a este tipo de dispositivo evidenciando a perda de eficácia da lomba à medida que aumenta o seu comprimento.

É igualmente evidente que o efeito do comprimento da lomba é pouco significativo, particularmente quando comparado com o efeito da velocidade máxima na aproximação, ou mesmo da altura da lomba (ver também ponto 3.6 do anexo). Mas, o resultado mais notório prende-se com o facto do grau de eficácia da lomba, subir consideravelmente com o aumento da velocidade de aproximação. De facto, para o caso das lombas com 0,075 m de altura,

verifica-se que mesmo para comprimentos reduzidos de lomba (5,6 m), só se atingem graus de redução de 50% para velocidades de aproximação superiores a 60 km/h. Estes resultados estão, novamente, em consonância com os resultados de investigações anteriores (DfT, 1996b; Weber, 1998).

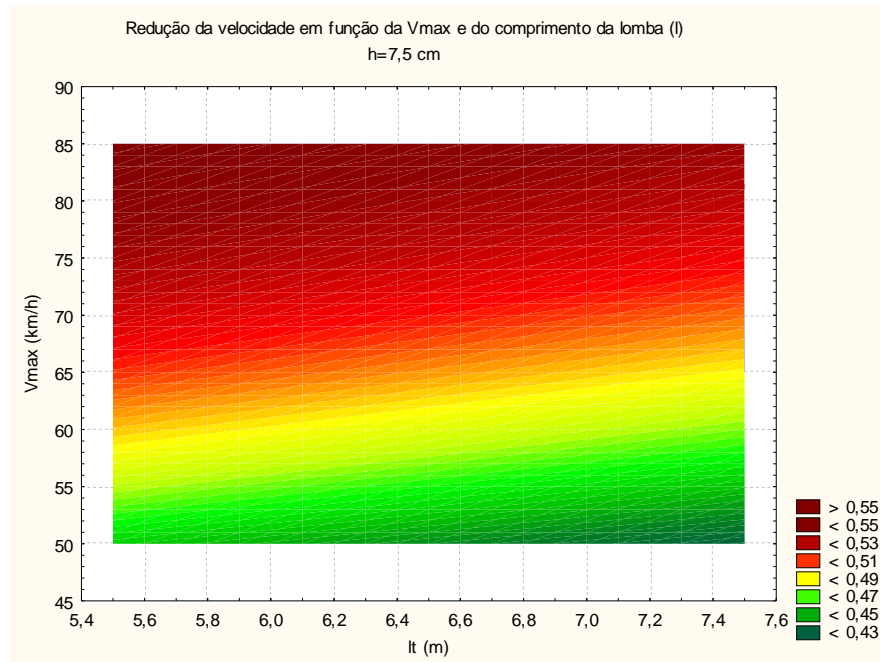


Figura 7.8 – Potencial de redução de velocidade das lombas em função do comprimento ($h=0,075$ m)

A comparação das figuras obtidas para as três alturas consideradas (0,05; 0,075 e 0,10 m – ver ponto 3.6 do anexo), permite concluir ainda que a diminuição do grau de eficácia das lombas à medida que aumenta o comprimento da mesma, é ligeiramente mais significativa à medida que aumenta a sua altura.

De facto, para uma lomba de 0,05 m de altura e para velocidades de 50 km/h, nunca se conseguem atingir graus de eficácia de 50%, independentemente do comprimento da lomba adoptado. Quando a altura da lomba sobe para 0,10 m, os resultados são similares, embora o grau de eficácia suba significativamente, sendo possível atingir o grau de eficácia de 50% para velocidades próximas dos 50 km/h (ver ponto 3.6 do anexo).

7.3 Influência nas Emissões de CO_2

7.3.1 Efeito do Comportamento do Condutor

Este ponto centra-se na avaliação do desempenho das lombas em termos de emissões de CO_2 , comparativamente à situação de referência sem existência de lomba. Dado que o valor das

emissões em causa é fortemente influenciado pelo comportamento dos condutores esta análise foi efectuada de forma segregada para cada um dos condutores envolvidos neste estudo.

Na simulação do cenário sem lomba partiu-se do pressuposto de que os condutores manteriam uma velocidade constante e igual à velocidade máxima registada na aproximação à lomba (**V_{max}**) no decurso dos 75 m precedentes à lomba e nos 150 m seguintes à passagem desta. Desta forma, o comprimento é igual ao definido para a variável **CO₂tot** legitimando a comparação dos valores obtidos pelos dois cenários. Para o cálculo dos valores de emissão de CO₂ a velocidade constante, recorreu-se novamente ao modelo CMEM. Os resultados desta análise, são apresentados de forma segregada por condutor (Quadro 7.1). Os condutores foram ordenados em função da variável **V_{max}** sendo apresentados os valores de **CO₂tot** calculados para a situação com e sem lomba, assim como a correspondente variação percentual. A análise da última coluna evidência um acréscimo significativo da variável **CO₂tot** na situação com lombas. Esse acréscimo varia entre um mínimo de 67,5% para o condutor que apresenta a menor **V_{max}** e 140% para o condutor mais célere em termos de **V_{max}**, atingindo em média um aumento de cerca de 100%. Saliente-se ainda o facto de, independentemente da velocidade de aproximação, das características da lomba e do comportamento do condutor, a instalação de uma lomba resultar sempre num aumento do nível de emissões.

Importa ainda sublinhar a diferença acentuada registada entre o condutor mais “ecológico” e o mais “poluente” corroborando, na íntegra, as considerações tecidas no ponto 3.4.4 bem como numerosas abordagens nesta área (De Vlieger et al., 2000; Ntziachristos e Samaras, 2000; Int Panis et al., 2006; Pandian et al., 2009; ACEA, 2010b; Carslaw et al., 2010). Os valores de acréscimo não são porém proporcionais à **V_{max}** dado que dependem igualmente das taxas de aceleração adoptadas pelos condutores à saída da lomba ou seja do tipo de comportamento adoptado. O valor médio do acréscimo de emissões ao aproximar-se dos 100%, significando que, em termos gerais, a introdução de uma lomba resulta na duplicação do nível de emissões de CO₂. Dado que o nível de emissões de CO₂ está directamente associado ao consumo de combustível este será, igualmente, afectado negativamente numa proporção similar.

Deve ser referido que estes valores, quer em termos absolutos quer em termos relativos, devem ser tomados como indicativos de uma ordem de grandeza dadas, por um lado, as premissas de base assumidas e, por outro lado, as incertezas no cálculo de emissões poluentes, conforme mencionado nos pontos 3.5.1 e 3.5.2.

Apesar destas reservas em relação à exactidão dos valores calculados de CO₂ a ordem de grandeza da diferença entre os dois cenários traçados aponta, de forma bastante explícita, para

o facto de a implementação de lombas se revelar um factor potenciador de uma externalidade negativa em termos ambientais e também num aumento do consumo de combustível. Este facto deve ser considerado em eventuais análises comparativas entre soluções de redução da velocidade dos veículos sendo, desde já, visível que medidas que promovam velocidades moderadas de forma contínua ao longo de um trecho tenderão a apresentar um melhor desempenho ambiental. No entanto conforme exposto no ponto 7.2 trata-se inequivocamente de uma medida de acalmia bastante eficaz e que, face ao seu custo relativamente reduzido⁶⁴, também se revela eficiente.

Quadro 7.1 – Emissões de CO₂, por condutor, comparação com e sem lombas

Ordem	Condutor	Vmax (km/h)	Emissões de CO ₂ (gr)		
			Cenário hipotético sem lombas (V=Const.=Vmax)	Situação actual com lombas CO ₂ tot	variação percentual
1	13	69,2	23,6	56,6	140,0
2	10	68,7	23,5	55,7	137,1
3	6	66,8	23,0	47,3	105,7
4	5	66,6	23,0	45,8	99,4
5	9	66,5	23,0	50,5	119,8
6	1	65,7	22,8	47,5	108,5
7	15	65,6	22,8	47,1	106,5
8	14	65,2	22,7	47,9	111,0
9	16	65,0	22,6	44,4	96,3
10	17	64,9	23,0	45,2	96,6
11	18	64,2	25,6	54,2	112,1
12	4	62,4	25,9	44,4	71,6
13	3	61,5	25,7	43,5	69,3
14	11	61,5	25,7	52,4	104,2
15	2	60,7	25,5	46,8	83,5
16	7	59,1	25,1	46,7	85,8
17	12	58,8	25,0	45,7	82,5
18	8	55,3	24,3	40,7	67,5
<i>média</i>		63,8	24,0	47,9	99,9

Nota: As emissões de CO₂ foram calculadas considerando um trecho de 225m de extensão em que 75msão antes da lomba e os restantes 150m após esta de acordo com a definição da variável CO₂tot.

Por sua vez, a Figura 7.9 mostra, de forma gráfica, a aplicação do modelo desenvolvido e apresentado no ponto 6.5.5 a um caso particular em que se assume que a velocidade na aproximação é igual à velocidade 150 m após a transposição da lomba. Refira-se que, conforme se verificou no capítulo anterior, a correlação entre estas duas variáveis é bastante forte, sendo a **V150**, geralmente um pouco inferior à **Vmax**. A Figura 7.9 permite assim

⁶⁴ O custo aproximado de implementação de uma lomba com 5 m de comprimento numa faixa de rodagem com 7 m é de cerca de 600€(informação obtida em Julho de 2010 junto dos serviços técnicos da Câmara Municipal de Coimbra).

visualizar a influência da aceleração longitudinal, que depende directamente do comportamento do condutor e, em particular, da velocidade adoptada no circuito.

É possível verificar que a variação do CO_2 com a velocidade de circulação no trecho não é linear, mas quadrática.

Também o acréscimo das emissões em função da aceleração longitudinal não é linear, verificando-se que esse acréscimo aumenta significativamente com o aumento da aceleração adoptada. Confirma-se que, a adopção de comportamentos agressivos (normalmente superiores a 0,1 g) assume um efeito muito acentuado nas emissões poluentes. De facto, pode-se constatar que o aumento da agressividade em termos de aceleração longitudinal assume implicações mais acentuadas em termos de emissões poluentes, comparativamente à velocidade de circulação. A título de exemplo, é expectável que o nível de emissões poluentes associadas a um condutor que circule a 55 km/h e que adopte acelerações bruscas à saída (próximas de 0,15 g) sejam semelhantes às emissões correspondentes a um percurso similar mas que mantenha velocidades de circulação elevadas (cerca de 80 km/h) e acelerações suaves a moderadas (0,05 g). Outras combinações de valores são possíveis de retirar a partir da Figura 7.9.

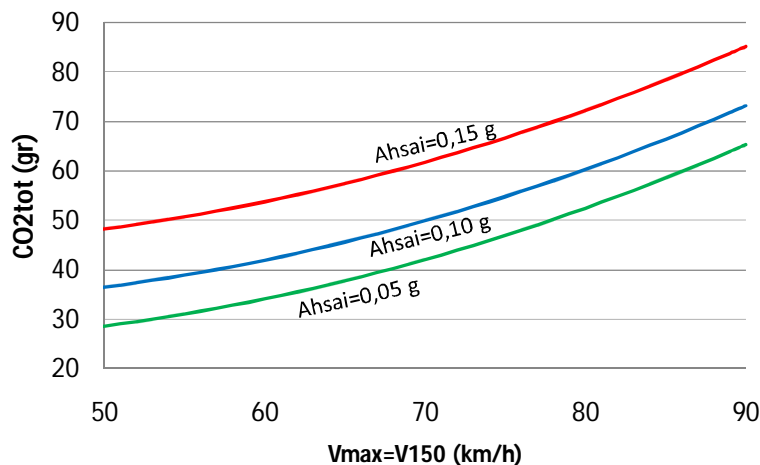


Figura 7.9 – Evolução dos valores da variável CO_2tot segundo o modelo desenvolvido

Os mesmos resultados podem ser retirados da análise da Figura 7.10. Nela se pode constatar que a imposição de um acréscimo de 10 km/h na velocidade de aproximação assume um efeito equivalente, em termos de emissões de CO_2 , a um aumento de cerca de 0,02 g na aceleração à saída.

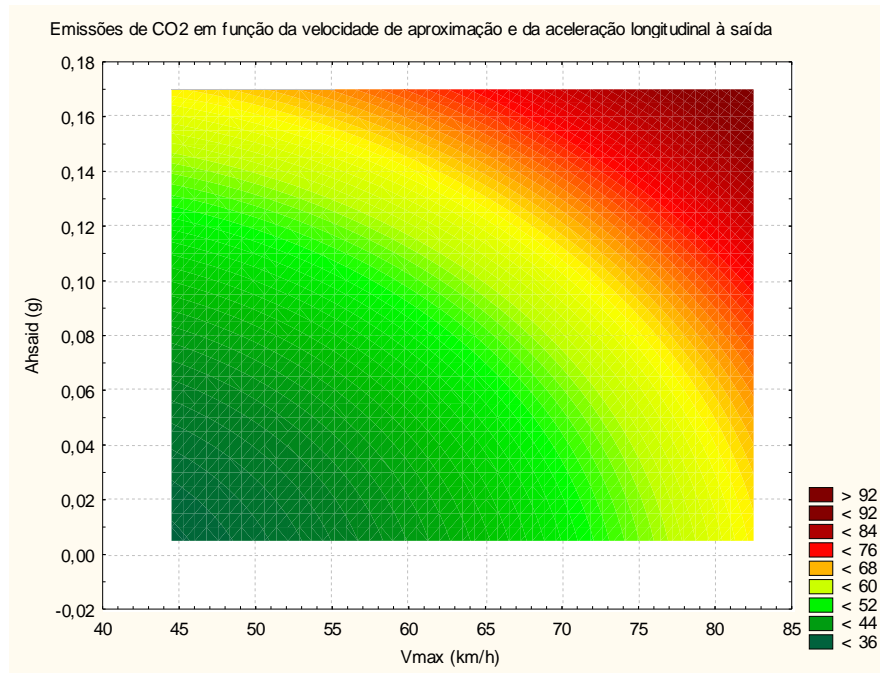


Figura 7.10 – Valores da variável **CO2tot** em função da aceleração à saída e velocidade de aproximação

Nesse sentido, é possível concluir que o grau de eficácia da lombas, em termos ambientais, depende não só da capacidade da lombas reduzir a velocidade, mas sobretudo da capacidade associada à mesma para impor a adoção de comportamento suaves, particularmente em termos de acelerações longitudinais no trecho de saída. Esta constatação sublinha a importância da realização de novas abordagens neste domínio direccionadas para o estudo comportamental dos condutores face a múltiplas lombas ou outro tipo de medidas de acalmia de tráfego quando implantadas sequencialmente ao longo de um trecho.

7.3.2 Efeito Conjunto da Aceleração Longitudinal e das Características Geométricas

Tendo por base os modelos discretos de regressão múltipla desenvolvidos para estimação da velocidade na lombas (equação 6.1) e das emissões de CO₂ (equação 6.4) este ponto centra-se no desenvolvimento de uma análise de sensibilidade sobre o efeito que algumas variáveis geométricas assumem nas emissões de CO₂. Optou-se por limitar a análise ao efeito da variação da altura da lombas, uma vez que, o seu comprimento, como visto anteriormente, assume um peso pouco relevante na velocidade e, por inerência, nas emissões de CO₂.

A metodologia adoptada passou por manter fixos alguns parâmetros, fazendo variar a altura da lombas e a aceleração longitudinal. O comprimento da lombas foi fixado em 6 m, a largura da faixa de rodagem em 6,5 m, tendo-se ainda considerado que a velocidade na aproximação

era equivalente a duas vezes o valor da velocidade na lomba (relação correspondente aos valores médios globais observados).

Os resultados finais estão apresentados na Figura 7.11, a qual resultou da utilização sequencial e interligada dos dois modelos: estimação da velocidade na lomba (**VI**) e estimação das emissões de CO₂ (**CO2tot**).

Tal como seria previsível, a análise da figura mostra que o efeito da aceleração longitudinal sobre as emissões é francamente mais acentuado do que o associado à altura da lomba. Confirma ainda a importância desta variável nos valores absolutos de emissões de CO₂ sendo notório o aumento destas com o incremento em ordenadas.

Igualmente interessante é perceber que os valores de CO₂ emitidos diminuem com o aumento da altura da lomba. Este facto é justificado pela diminuição da **V150** e da **Vmax** sempre que aumenta o **h**, o que tende a traduzir-se numa diminuição do valor de emissões de CO₂.

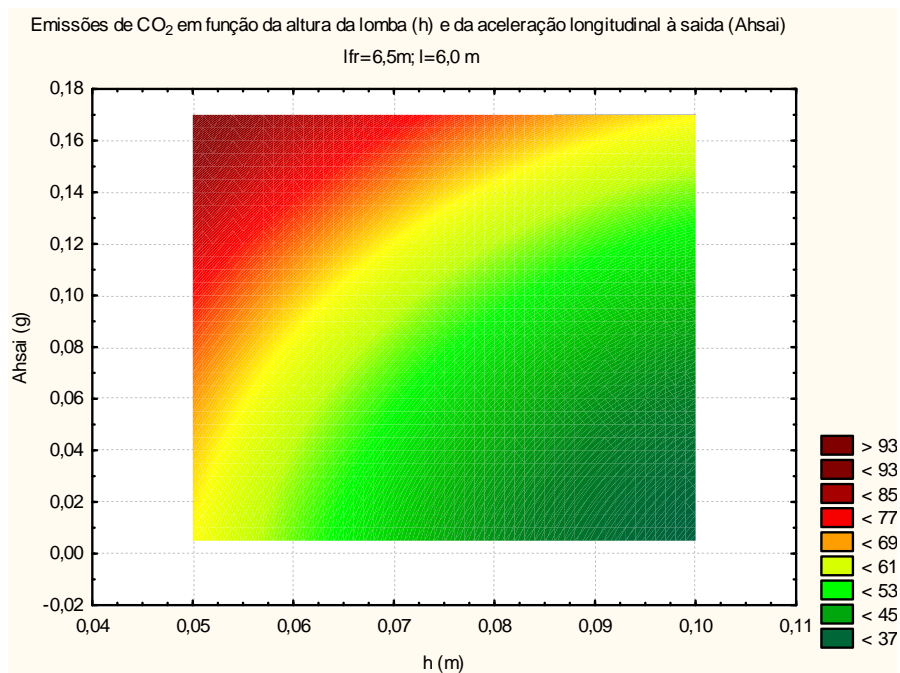


Figura 7.11 – Emissões de CO₂ (em gr) de acordo com a altura da lomba e a aceleração longitudinal

Volta assim a evidenciar-se o peso do comportamento do condutor nas emissões poluentes e, em particular, a adoção de comportamentos agressivos, seja em termos de acelerações longitudinais acentuadas, seja pela adoção de velocidades elevadas.

7.4 Síntese Conclusiva

Este capítulo procurou avaliar a facilidade de aplicação dos modelos desenvolvidos no capítulo anterior e a coerência dos resultados finais estimados por cada um deles, proporcionando de forma complementar análises de sensibilidade e de avaliação do peso assumido por cada variável envolvida.

A eficiência das lombas na redução da velocidade dos veículos foi avaliada tendo por base vários cenários de implementação baseados em variações impostas às características geométricas e à velocidade de aproximação. Confirmou-se, em termos gerais, o elevado grau de eficácia destes dispositivos, tendo-se obtido, em termos médios, uma de redução da velocidade na lomba próxima dos 50% comparativamente à velocidade de aproximação. A relação entre as velocidades de aproximação e na lomba é tendencialmente linear tendo-se concluído que a redução de 10 km/h na velocidade de aproximação se traduz, em termos médios, na redução de 3,1 km/h na lomba.

A velocidade de aproximação afigura-se como a variável com maior peso na determinação do grau de eficácia da lomba em termos de redução de velocidade. De facto foi possível concluir que, para uma determinada altura de lomba fixa, o grau de eficácia em termos de redução de velocidade, aumenta significativamente com a velocidade de aproximação. Para lombas curtas (5 m comprimento) com 0,05 m de altura, o grau de eficácia de 50% nunca chega a ser atingido, independentemente do comprimento da lomba adoptado. Para lombas mais altas com 0,075 e 0,10 m, esse grau é atingido para velocidades de aproximação superiores a 60 km/h e 50 km/h, respectivamente.

Foi também possível verificar que as características prevaletentes da lomba assumem um peso significativo na alteração da velocidade na lomba. A altura da lomba foi a que se traduziu em maiores variações, tendo-se revelado capaz de reduzir 5 km/h por cada 3,5 cm de acréscimo na altura (ou seja rácios de 1,43 km/h/cm). Já o comprimento da lomba aponta para efeitos menos significativos, prevendo-se que o aumento de 4 m se traduza no aumento de 2,5 km/h (0,6 km/h/m).

Em termos de indicadores ambientais, foi possível concluir que independentemente da velocidade de aproximação, das características da lomba e do comportamento do condutor, a instalação de uma lomba resulta sempre num aumento do nível de emissões de CO₂, assumindo esse aumento, em termos médios, cerca de 100% (duplicação do nível de emissões).

Concluiu-se ainda que a grandeza desse agravamento depende fortemente do comportamento do condutor, mas também de outros factores intrínsecos ao local e das características geométricas da solução. Contudo é a adopção de comportamentos agressivos na zona da saída que mais afecta os níveis de emissões, pelo que a eficiência das lombas depende significativamente da sua capacidade para controlar/condicionar a adopção de comportamentos agressivos, quer numa óptica de adopção de acelerações bruscas na zona da saída quer na manutenção de velocidades elevadas. A este nível, concluiu-se que por cada 10 km/h que aumente a velocidade de aproximação (e por inerência, cerca de 3,1 km/h, a velocidade de atravessamento na lomba), equivale, em termos de emissões, a aumentar a agressividade da aceleração longitudinal na saída em cerca de 0,02 g.

Estes resultados evidenciam a importância da análise integrada do efeito das lombas, sendo que importa ter sempre presente, não só a sua capacidade de redução de velocidade, mas também e cumulativamente os seus efeitos directos em termos de emissões poluentes.

8. Conclusões e Perspectivas de Trabalhos Futuros

8.1 *Resumo do Trabalho Efectuado*

As estatísticas nacionais apontam para que cerca de 70% dos acidentes em Portugal ocorram em zona urbana, sendo que um número significativo envolve a participação de utentes vulneráveis e, em particular, o peão. Segundo as entidades oficiais (IMTT e ANSR), o uso de velocidades excessivas, é um dos principais factores que está na sua origem, afectando quer a frequência quer a gravidade dos acidentes.

A consciência da necessidade de reduzir ou controlar a velocidade dos veículos automóveis é fomentada por diversos estudos técnico-científicos que evidenciam os seus efeitos directos. Alguns autores comprovam que a redução da velocidade se repercute num aumento do respeito pelos utilizadores mais vulneráveis, na criação de um ambiente envolvente mais agradável e, por consequência, num aumento da qualidade de vida dos utilizadores. Alguns estudos assinalam ainda que a imposição de um limite legal de velocidade, não se releva eficaz, resultando frequentemente em níveis muito baixos de acatamento. É assim cada vez mais consensual no meio técnico o reconhecimento da importância em definir traçados e ambientes rodoviários que respeitem as normais expectativas dos condutores.

Nessa óptica, a aplicação de medidas de acalmia de tráfego tem vindo a assumir cada vez maior relevância no tratamento de espaços e trechos de estrada onde coexistam diferentes utilizadores com características e necessidades relativamente diferenciadas. Estas medidas procuram, através da criação de obstáculos físicos ou de medidas de “coação psicológica”, “impedir” a prática de velocidades elevadas, por parte dos veículos automóveis, sem contudo prejudicar a normal fluidez destes, potenciando a criação de ambientes rodoviários aprazíveis, com qualidade urbana e ambiental, seguros e favoráveis à circulação dos modos não motorizados.

De entre as várias tipologias de medidas apresentadas, as lombas enquanto medida que impõe alterações verticais à infra-estrutura viária, estão entre as mais utilizadas por se considerarem extremamente eficazes na redução de velocidade. É possível contar com uma gama alargada de tipologias o que lhes confere um campo de aplicação relativamente abrangente, o qual aliado ao seu baixo custo justificou a sua rápida expansão em vários países, entre os quais Portugal.

Nessa linha de acção, o presente trabalho procurou contribuir para um melhor entendimento sobre os efeitos reais associados às lombas, procurando avaliar, de forma conjunta, os aspectos positivos e negativos directamente associados ao seu uso.

Esses efeitos têm vindo a ser estudados e validados por diversos estudos que apontam, de forma consensual, as lombas redutoras de velocidade como medidas que contribuem para uma redução efectiva da velocidade e, por inerência, do número de acidentes. A eficiência deste tipo de medidas está ainda indiscutivelmente relacionada com o seu custo de implementação o qual é, na generalidade das situações, extremamente baixo, particularmente quando comparado com outras medidas tais como estrangulamentos ou gincanas. No entanto, a generalidade desses estudos, omitem outros efeitos reais associados ao seu uso, designadamente o seu efeito nas emissões poluentes como consequência dos processos de travagem e aceleração associados à sua transposição. Nessa óptica, este trabalho abordou alguns aspectos relevantes relativos à poluição atmosférica resultantes da utilização de veículos automóveis movidos a combustíveis fósseis. Esta abordagem iniciou-se pela identificação dos principais poluentes e suas consequências na saúde humana e ecossistemas naturais. A evolução histórica das quantidades de poluentes emitidos bem como as medidas legislativas que, no contexto europeu, têm vindo a ser implementadas foram também apresentadas tendo-se identificado, de forma sintética, as principais tecnologias desenvolvidas pela indústria automóvel e tipos de combustível assinalando a forma como estas podem potencialmente afectar a quantidade e tipologia das emissões poluentes. Ficou devidamente evidenciado o esforço dispendido pelas entidades oficiais internacionais, na redução significativa das emissões, e das melhorias conseguidas ao nível da maioria dos poluentes. Ficou ainda clarificado que o CO₂, embora não seja considerado um poluente directo, não tem tido uma evolução tão favorável.

Foram identificados os principais factores que afectam as emissões realçando-se, de entre estes, pela sua relevância para este estudo, o tipo de condução adoptado, as condições de circulação e infra-estrutura rodoviária.

Foram identificados e apresentados os principais tipos de modelos de cálculo de emissões permitiu concluir que, face aos objectivos implícitos ao presente estudo, os modelos de emissões instantâneas que utilizam, no seu algoritmo de cálculo, a velocidade e aceleração instantânea se revelavam como os mais adequados. Esta temática revelou-se extremamente complexa pelo número e tipo de variáveis presentes no processo e pelo nível de incerteza

elevado que encerra. Nessa óptica, optou-se por estimar as correspondentes emissões poluentes por recurso ao modelo de emissões instantâneas CMEM.

O desenvolvimento do trabalho recorreu à construção de uma base de dados real, obtida por recurso a um veículo instrumentado e devidamente adaptado para o efeito. Nesse sentido, encontra-se no capítulo 4 uma descrição das fases mais relevantes que conduziram à recolha dos dados, os equipamentos e metodologias adoptadas no processo de instrumentação do veículo. Este foi dotado de dois sistemas independentes embora sincronizáveis entre si que possibilitaram a recolha de um conjunto de variáveis dinâmicas bem como de imagens do ambiente rodoviário. Este trabalho permitiu a obtenção de uma ferramenta basilar para o presente estudo, constituindo também uma plataforma facilmente adaptável a outros estudos de natureza similar.

A construção da base de dados envolveu um grupo de 18 condutores, com características básicas (gama de idades, experiência de condução, profissão, etc.), no seu essencial, homogéneas e que percorreram de forma sistemática e nos dois sentidos de circulação, 3 circuitos distintos que, no seu conjunto integravam 17 lombas com características diversificadas. Esta etapa do trabalho afigurou-se bastante exigente ao nível do planeamento, operacionalidade e compatibilização de todos os actores envolvidos, procurando assegurar condições similares de recolha aos diferentes condutores (condições de operação, climatéricas e luminosidade, etc.) a qual se prolongou ao longo de mais de 4 meses.

O processo de tratamento dos dados revelou-se igualmente trabalhoso, exigente e moroso, tendo-se prolongado por mais de 10 meses. Esta etapa assentou no desenvolvimento de vários algoritmos programados em linguagem VBA, que conduziram a aumentos assinaláveis na produtividade, tendo-se obtido um sistema integrado de tratamento de dados que poderá ser replicado e adaptado a outros estudos futuros de natureza semelhante. A selecção dos dados passou pelo visionamento exaustivo de imagens vídeo e que permitiram seleccionar as passagens percorridas em regime livre de circulação.

A caracterização preliminar dos dados recolhidos e validados permitiu descrever, de forma genérica, o comportamento dos condutores tendo-se optado por criar duas bases de dados em formato compatível com o seu tratamento pelos habituais programas de tratamento estatístico: base de dados discretos e base de dados contínua no tempo/espço.

A caracterização do comportamento do condutor foi conseguida por recurso a várias análises estatísticas, procurando ainda balizar os valores médios e gamas de variação assumidos pelas principais variáveis dinâmicas e indicadores de poluição emitidos. A comparação efectuada

entre os subgrupos de condutores e de condutoras revelou a existência de diferenças, estatisticamente significativas, para a maior parte das variáveis analisadas, sendo no entanto, as diferenças registadas muito baixas em termos absolutos. As condutoras optam por velocidades ligeiramente mais baixas e comportamentos menos agressivos, revertendo-se num desempenho ambiental ligeiramente mais favorável comparativamente aos homens, sendo que estes resultados estão em concordância com os resultados de outros trabalhos anteriormente publicados.

A análise da variação dentro do grupo de condutores e relativa às diferentes variáveis registadas, revela que a amplitude de variação é bastante assinalável seja ela inter-condutor, seja intra-condutor. Este resultado permitiu concluir que existem, ao nível da condução, comportamentos bastante díspares e que vêm confirmar a expectativa inicial de que, juntamente com a infra-estrutura o comportamento do condutor tem um papel fulcral nos perfis de velocidade e nos valores da aceleração adoptados ao longo do evento de condução. Identificou-se assim a existência de comportamentos heterogéneos e inconsistentes. A segregação do comportamento do condutor em três parâmetros distintos, velocidade, aceleração e conforto de passagem na lomba realçou a existência de uma grande heterogeneidade de combinações de resultados, não sendo evidente a definição de comportamentos padrão na ponderação global destes três parâmetros. Este facto comprova o nível de variabilidade e a complexidade subjacente aos estudos comportamentais aplicados à condução, já descritas em outros estudos desta natureza, em que a heterogeneidade e inconsistência dos condutores foi considerada nas análises.

Esta análise global permitiu ainda avaliar o comprimento de influência associado ao atravessamento de lombas e a capacidade das mesmas em reduzirem a velocidade. Tendo por base os valores médios por local, foi possível concluir que a implantação de uma lomba, se revela capaz de reduzir, em média, 52% a velocidade na lomba comparativamente à velocidade de aproximação, sendo esses valores bastante consistentes (amplitude máxima de variação de 20%). Estes valores confirmam os resultados de estudos nacionais anteriores, com levantamento de velocidade por recurso a radares (Cruz, 2008).

No que concerne às emissões de CO₂, os resultados são igualmente consistentes confirmando-se a relação positiva entre os valores da velocidade e, em particular, da aceleração longitudinal à saída, nas emissões de CO₂. Neste aspecto particular é de realçar a diferença percentual entre valores extremos que se cifrou em cerca de 40%, confirmando o papel central da agressividade do condutor nesta questão.

A análise da velocidade de passagem nas lombas permitiu identificar algumas relações entre as variáveis em jogo, identificando-se a velocidade de aproximação, a altura e comprimento da lombas como as variáveis estatisticamente mais significativas.

A modelação da velocidade esperada na lombas, foi desenvolvida por recurso a técnicas de regressão múltipla, permitindo a estimação do valor da velocidade de passagem. O modelo final mostrou-se capaz de explicar cerca de 20% da variação observada, valor não muito elevado e que realça o peso assumido pela variabilidade do comportamento do condutor, designadamente a sua inconsistência e a heterogeneidade comportamental. Trata-se, no entanto, de uma ferramenta extremamente útil para o meio técnico da especialidade já que permite, de uma forma expedita, inferir a redução previsível de velocidade resultante da implementação de uma lombas com características geométricas conhecidas e num determinado local. A velocidade na lombas foi também modelada considerando o efeito de variabilidade associada aos condutores envolvidos o que permitiu aumentar a percentagem de variância explicada para cerca de 35%. O facto deste valor ainda assim ser relativamente baixo vem evidenciar a importância associada à variabilidade intra-condutor neste tipo de análises.

Complementarmente foram ainda desenvolvidos modelos contínuos de velocidades permitindo estimar o andamento do perfil de velocidades ao longo do trajecto de aproximação, transposição e afastamento da lombas. Os modelos foram desenvolvidos recorrendo a técnicas de regressão múltipla hierarquizada, tendo-se optado por desenvolver 3 modelos: (i) Modelo Base, Com condutores que tem em consideração todas as variáveis que se revelaram estatisticamente significativas e os condutores envolvidos, o qual se revelou capaz de explicar 78,1% da variação observada; (ii) Modelo Base, idêntico ao anterior mas sem o contributo dos condutores, que tem um nível de explicação da variância de 76,4%; (iii) Modelo Simplificado, similar ao anterior, mas onde se rejeitou a variável velocidade de aproximação, explicando 69,7% da variação observada. Este último modelo, embora perca variância explicada, permitiu estimar o perfil de velocidades por recurso unicamente a variáveis explicativas facilmente mensuráveis. Estes modelos tendem a constituir uma ferramenta bastante interessante para auxiliar o meio técnico da especialidade no dimensionamento deste tipo de soluções ou eventualmente no estabelecimento de avaliações comparativas entre soluções. Assinale-se, novamente, que a ligeira diferença de variância explicada entre os dois primeiros modelos é revelador de um nível elevado de variabilidade intra-condutor.

Foram também exploradas as relações entre a aceleração vertical resultante da passagem na lombagem, velocidade de passagem nesta e características geométricas da lombagem. Confirmou-se a existência de uma forte correlação entre a aceleração vertical e a velocidade na lombagem, sendo que a influência das características geométricas, na aceleração é também estatisticamente significativa. O modelo de regressão desenvolvido e apresentado, não pode ser considerado de aplicação generalizada (por se tratar de uma aplicação limitada a um veículo específico), potenciando contudo o desenvolvimento de análises comparativas entre diferentes soluções alternativas.

As análises de sensibilidade aplicadas à avaliação da qualidade do ajuste entre os modelos matemáticos desenvolvidos e os valores médios observados, mostraram que o modelo discreto de estimação de velocidades na lombagem se releva mais adequado à sua estimação, comparativamente aos modelos contínuos, os quais revelaram alguma falta de ajustamento nesta secção de fronteira. Apesar disso mostraram-se capazes de representar os comportamentos médios com uma qualidade de ajustamento muito aceitável, apontando-se para margens de erro inferiores a 8% (5 km/h).

A análise de sensibilidade aplicada à avaliação do efeito das diferentes variáveis no nível de eficiência das lombagens, confirma o efeito acentuado quer da velocidade de aproximação quer da altura da lombagem, na redução da velocidade.

A velocidade de aproximação revelou ser a variável que mais influencia a velocidade na lombagem, sendo que o grau de eficácia em termos de redução aumenta com a velocidade de aproximação. Concluiu-se ainda, à semelhança das análises preliminares que em termos médios a presença de uma lombagem é capaz de reduzir a velocidade na lombagem em cerca de 50% comparativamente à velocidade de aproximação. A relação entre as velocidades de aproximação e na lombagem é tendencialmente linear sendo que a redução de 10 km/h na velocidade de aproximação se traduz, em termos médios, na redução de 3,1 km/h na velocidade da lombagem.

Mas também as características preponderantes da lombagem assumem um peso significativo na alteração da velocidade na lombagem. A altura da lombagem foi a que se traduziu em maiores variações, tendo-se revelado capaz de reduzir 5 km/h por cada 3,5 cm de acréscimo na altura (ou seja rácios de 1,43 km/h/cm).

A análise aplicada às emissões de CO₂ revelou-se bastante interessante e conclusiva. Concluiu-se que a implementação de uma lombagem envolve sempre uma externalidade negativa cuja dimensão está bastante dependente da atitude/agressividade do condutor, particularmente

à saída desta. A implementação de uma lombas, independentemente da velocidade de aproximação, das suas características físicas e do comportamento do condutor, resulta sempre num aumento do nível de emissões de CO₂, assumindo esse aumento, em termos médios, cerca de 100%.

Concluiu-se ainda que a grandeza desse agravamento depende fortemente do comportamento do condutor, mas também das características geométricas da solução. Contudo é a adopção de comportamentos agressivos na zona da saída que mais afecta os níveis de emissões, pelo que a eficiência das lombas depende significativamente da sua capacidade para controlar/condicionar a adopção desse tipo de comportamentos.

Em termos conclusivos, estes resultados confirmam que a colocação de uma lombas assume efeitos extremamente positivos do ponto de vista da segurança rodoviária, aqui traduzidos em termos de redução efectiva e significativa da velocidade de circulação. Importa contudo ter presente que a colocação de lombas numa determinada secção tem também aspectos negativos, sendo um deles o aumento comprovado das emissões poluentes.

Existem ainda outros aspectos negativos que aqui não foram contemplados e que importa ter em consideração numa avaliação global e integrada. Entre os mais comuns identifica-se o incómodo que algumas das lombas (pelas suas dimensões) incutem aos condutores e passageiros dos veículos motorizados bem como o aumento dos tempos de percurso que podem ser particularmente gravosos para os veículos de emergência. Por outro lado, importa avaliar o efeito migratório, quer em termos de desvios de tráfego para trajectos alternativos quer em termos de sinistralidade.

Neste contexto, importa realçar que é essencial que a implementação de qualquer lombas seja precedida de um estudo global e integrado que avalie, nomeadamente a sua adaptação ao local e efectue o cotejo entre as vantagens e inconvenientes decorrentes da sua implementação.

8.2 *Perspectivas Futuras de Investigação*

Este trabalho não pretende constituir um produto acabado, mas pelo contrário, procura constituir um passo relevante no sentido de se apurar a eficiência real das lombas face às suas características geométricas prevalentes e ao ambiente rodoviário em que se integram. Considera-se assim que o presente estudo deverá evoluir em diferentes áreas de investigação complementar.

A nível conceptual, é possível identificar algumas linhas interessantes para a prossecução da investigação neste domínio que compreende o estudo das interacções entre o condutor, infraestrutura rodoviária e os impactos ambientais associados.

Assim a base de dados coligida, no âmbito deste estudo, permitiu a recolha de uma informação extremamente completa cujo tratamento não foi esgotado nas análises efectuadas. Dado que o estudo foi direccionado essencialmente para o desenvolvimento de ferramentas de apoio à avaliação do desempenho das lombas como medidas de acalmia de tráfego há ainda um campo vasto a explorar nomeadamente no que concerne ao comportamento do condutor e no estudo mais aprofundado da variabilidade deste quer em termos intra quer inter condutor e das suas eventuais variações entre os diversos locais analisados. Este será certamente um caminho a trilhar num horizonte temporal curto a médio e que se espera poder ajudar a melhorar a compreensão relativamente à variabilidade assinalada a este nível nomeadamente no capítulo 5 e nos modelos desenvolvidos no capítulo 6.

A validação dos vários modelos desenvolvidos, em particular, do modelo de previsão da velocidade de passagem na lomba e dos modelos de velocidade será outro aspecto a merecer atenção. Para que esta validação tenha a maior verosimilhança possível esta deverá compreender duas fases principais e independentes entre si. Uma dessas fases, na sua essência, seria o recurso ao mesmo veículo instrumentado mas recorrendo a outros condutores e locais de teste. Outra fase de validação seria o recurso a equipamentos de medição de velocidade exteriores (radares) que seriam utilizados na medição dessa grandeza em veículos que circulem isoladamente em lombas que não façam parte da amostra original. Refira-se que a medição de velocidades teria de se efectuar de forma discreta e necessariamente imperceptível para os condutores de forma a não comprometer a validade dos dados. Esta segunda fase de validação tem o objectivo de esclarecer possíveis dúvidas que possam existir relativamente à utilização de um veículo instrumentado para recolha de dados.

A análise de situações onde sejam utilizadas lombas sequenciais com diferentes espaçamentos constituirá, igualmente, uma linha de investigação bastante relevante perspectivando-se a sua abordagem futura.

A vertente ambiental deste tipo de abordagens será, igualmente, um aspecto em que se perspectiva uma evolução futura. De facto como foi referido ao longo do texto a quantificação de emissões poluentes, recorrendo a modelos de emissões, encerra ainda um grau de incerteza apreciável, fruto por um lado do facto de ser uma temática relativamente recente e, por outro lado, pela sua própria complexidade decorrente da presença de um elevado número de

variáveis e do contínuo desenvolvimento de novas soluções tecnológicas mitigadoras da poluição gerada pelos veículos. Este estudo permitiu o desenvolvimento de uma metodologia que permite incorporar esta componente na avaliação do desempenho de um determinado elemento da infra-estrutura rodoviária pelo que a melhoria da qualidade dos resultados dos modelos de emissões instantâneas irá reflectir-se positivamente na avaliação global. Refira-se a este nível que, mesmo a quantificação dos efeitos nefastos da poluição está longe de ser consensual pelo que será uma área a acompanhar com muito interesse e da qual se esperam desenvolvimentos importantes a curto/médio prazo.

Também a integração de outros indicadores de eficiência deverá merecer a atenção futura. O efeito das lombas em termos de alteração da sinistralidade é um dos campos que deverá evoluir, tendo por base dados “antes e depois” da aplicação das lombas. A análise detalhada da tipologia dos acidentes deverá indiciar se as tendências e o tipo de conflitos se alteraram com a aplicação desta medida. Também os efeitos migratórios devem merecer uma atenção especial e devem ser incorporados numa análise de eficiência global. A relação entre esses efeitos migratórios e a tipologia das vias e as alternativas viárias oferecidas deverá ver avaliada de modo a incorporar no processo de avaliação efeitos ligados à intrusão do veículo automóvel em espaços eventualmente a preservar (residenciais, centrais, de valor patrimonial acrescido, etc.).

Será ainda de prever a utilização da plataforma de recolha de dados e metodologias de tratamento de dados desenvolvidas no âmbito deste estudo a outras situações particulares da infra-estrutura que podem ou não ser situações de acalmia de tráfego. Refira-se que a realização de outros estudos recorrendo a uma metodologia similar permitirá, por exemplo, a análise comparativa de soluções de acalmia de tráfego permitindo ao meio técnico uma maior fundamentação das opções tomadas.

Face ao exposto pode concluir-se que este trabalho possibilitou a abertura de opções de investigação bastante interessantes as quais estão essencialmente vocacionadas para a melhoria da compreensão das interacções entre os condutores e a estrada associando a esta análise a componente ambiental e energética da questão.

Referências Bibliográficas

- AAM. (2009) *Ecodrivingusa*. The Alliance of Automobile Manufacturers. acessado a 10/09/2010 a partir de <http://www.ecodrivingusa.com/>.
- Aarts, L. e L. V. Schagen (2006) *Driving speed and the risk of road crashes: A review*. Accident, Analysis and Prevention 38: pp. 215-224.
- AASHTO (2004) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 5th Edition*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC.
- Abo-Qudais, S. e H. A. Qdais (2005) *Performance evaluation of vehicles emissions prediction models*. Clean Technologies and Environmental Policy 7 (4): 279-284.
- ACAP. (2010) *Eco-condução Portugal*. Associação Automóvel de Portugal. acessado a 10/09/2010 a partir de <http://www.ecoconducao-portugal.pt/>.
- ACEA. (2010a) *Cars, Trucks and the Environment*. European Automobile Manufacturers Association. acessado a 31/08/2010 a partir de http://www.acea.be/index.php/news/news_detail/cars_trucks_and_the_environment/.
- ACEA. (2010b) *Eco-driving: Easy to apply, impressive results*. European Automobile Manufacturers Association. acessado a 31/08/2010 a partir de http://www.acea.be/index.php/news/news_detail/eco_driving_easy_to_apply_impressive_results/.
- ACEA. (2010c) *Overview of CO2 Based Motor Vehicle Taxes in the EU*. European Automobile Manufacturers Association. acessado a 25/08/2010 a partir de http://www.acea.be/images/uploads/files/20100420_CO2_tax_overview.pdf.
- ACEA. (2010d) *Statistics*. European Automobile Manufacturers Association. acessado a 22/08/2010 a partir de <http://www.acea.be/index.php/collection/statistics>.
- Afonso, J. L. F. (1997) *Modelização do Comportamento de um Condutor Real no Controlo Direccional de Veículos Automóveis* PhD Thesis, Departamento Engenharia Mecânica – Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Agarwal, S. K. (2009) *Air Pollution*. APH Publishing Corporation. New Delhi.
- Ahn, K. e H. Rakha (2008) *The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 13 (3): 151-167.
- Ahrens, C. D. (2008) *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere, 5th Edition*. Thomson Brooks/Cole. Belmont, CA.
- Akcelik e Associates (2002) *aaSIDRA User Guide*. Akcelik and Associates Pty. Ltd. Melbourne.
- Alduán, A. S. (1996) *Calmar el Tráfico, Monografías*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.
- Alessandrini, A., F. Orecchini, et al. (2009) *Drive-style emissions testing on the latest two Honda hybrid technologies*. European Transport Research Review 1 (2): 57-66.
- Alizon, F., S. B. Shooter, et al. (2009) *Henry Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization*. Design Studies 30 (5): 588-605.
- Aljanahi, A. A. M., A. H. Rhodes, et al. (1999) *Speed, speed limits and road traffic accidents under free flow conditions*. Accident Analysis & Prevention 31 (1-2): 161-168.
- Anderson, C. D. e J. Anderson (2010) *Electric and Hybrid Cars: A History*. McFarland & Company, Inc. Jefferson, NC.
- André, J.-M. e R. Joumard (2005) *Modelling of Cold Start Excess Emissions for Passenger Cars, INRETS report LTE 0509*. Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. Bron.

- ANSR (2009) *Relatório de Sinistralidade*. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária - Observatório de Segurança Rodoviária. Lisboa.
- ANWB (1977) *Woonerf: A different approach to environmental management in residential areas and the related traffic legislation*. Royal Dutch Touring Club. The Hague, Holand.
- APA. (2010) *Qualidade do Ar*. Agência Portuguesa do Ambiente,. acessido a 10 de Julho de 2010 a partir de <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=5&subpage=1>.
- APVGN. (2010) *Veículos a Gás Natural*. Associação Portuguesa de Veículos a Gás Natural. acessido a 02/09/2010 a partir de <http://www.apvgn.pt/>.
- Auberlet, J.-M., M.-P. Pacaux, et al. (2010) *The impact of perceptual treatments on lateral control: A study using fixed-base and motion-base driving simulators*. Accident Analysis & Prevention 42 (1): 166-173.
- Ausubel, J. H. (2007) *The future environment for the energy business*. APPEA Journal 47: 487-485.
- Baguley, C. (1981) *Speed Control Humps - Further Public Road Trials*. Transport and Road Research Laboratory (TRRL) Report 1017, Department of the Environment and Department of Transport. Crowthome, United Kingdom.
- Barbosa, H. M. (1995) *Impacts of Traffic Calming Measures on Speeds on Urban Roads*. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds.
- Barbosa, H. M., M. R. Tight, et al. (2000) *A model of speed profiles for traffic calmed roads*. Transportation Research Part A 34: 103-123.
- Barker (2001) *Road Safety Good Practice Guide*. Department of Transport.
- Barth, M., Feng An, et al. (2000) *User's Guide: Comprehensive Modal Emissions Model, Version 2.0*. National Cooperative Highway Research Program, Project 25-11. Washington, D.C.
- Bastos Silva, A. M. C. (1997) *Aplicação e Concepção de Intersecções Giratórias nas Redes Viárias Urbana e Rural Portuguesas*. Master Thesis, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade Coimbra, Coimbra.
- Bastos Silva, A. M. C. (2004) *Definição de uma metodologia de concepção de cruzamentos giratórios*. PhD Thesis, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Bastos Silva, A. M. C. e A. J. M. Seco (2001) *A Aplicação de Rotundas como uma Medida de Acalmia de Tráfego*. 1º Congresso Nacional Sobre Segurança Viária em Meio Urbano, 14 a 15 de Maio, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Bastos Silva, A. M. C. e A. J. M. Seco (2006) *O Uso de Lombas e Plataformas como Medidas de Acalmia de Tráfego*. 4º Congresso Rodoviário Português, 2-4 Abril, Lisboa.
- Bastos Silva, A. M. C., A. J. M. Seco, et al. (2004) *Potencialidades das técnicas de acalmia de tráfego na regulação do atravessamento de localidades*. 3º Congresso Rodoviário Português, CRP, 24 a 26 de Novembro LNEC Lisboa, Portugal.
- Bastos Silva, A. M. C., A. J. M. Seco, et al. (2007) *A contribuição das medidas de acalmia de tráfego na transformação do ambiente rodoviário - o caso dos atravessamentos de povoações XXI ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino de Transportes*, 18-23 Novembro, Rio de Janeiro.
- Bella, F. (2008) *Driving simulator for speed research on two-lane rural roads*. Accident Analysis & Prevention 40 (3): 1078-1087.
- Bendtsen, H., J. Haberl, et al. (2004) *Traffic Management and Noise Reducing Pavements, Recommendations on Additional Noise reducing Measures* Road Directorate, Danish Road Institute. Copenhagen.
- BIPM (2006) *The International System of Units (SI), 8th Edition*. Bureau International des Poids et Mesures. Sèvres, France.

- Bjarnason, S. (2004) *Round top and flat top humps - The influence of design on the effects*. Department of Technology and Society, Lunds Tekniska Hogskola, Institutionen for Tecknik och samhalle, Lund, Sweden.
- Blana, E. (1996) *Driving Simulator Validation Studies: A Literature Review*. Institute of Transport Studies, University of Leeds. Leeds, UK.
- Blundell, M. e D. Harty (2004) *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics* Butterworth-Heinemann. Oxford, UK.
- Bonnick, A. (2008) *Automotive Science and Mathematics*. A Butterworth-Heinemann Title. Oxford, UK.
- Booker, C. (2009) *The Real Global Warming Disaster: Is The Obsession With `Climate Change` Turning Out To Be The Most Costly Scientific Blunder In History?* Continuum International Publishing Group. London.
- Borrego, C. e A.-L. Norman, Eds. (2007) *Air Pollution Modeling and its Application XVII*. Springer Science + Business Media, LLC. New York.
- Boslaugh, S. e P. A. Watters (2008) *Statistics in a Nutshell*. O'Reilly Media. Sebastopol, CA.
- Boulter, P. G. (2001) *The Impacts of Traffic Calming Measures on Vehicle Exhaust Emissions*. Phd Thesis, Middlesex University, London.
- Bowin, C. (1991) *The Earth's gravity field and plate tectonics*. Tectonophysics 187 (1-3): 69-89.
- Boyce, T. E. e E. S. Geller (2002) *An instrumented vehicle assessment of problem behavior and driving style: Do younger males really take more risks?* Accident Analysis & Prevention 34 (1): 51-64.
- Bunte Jr, L. W. (2000) *Traffic Calming Programs & Emergency Response: A Competition of Two Public Goods*. Master Thesis, Faculty of the Graduate School, University of Texas, Austin.
- Buren, D. (2006a) *High visibility crosswalk crossing island in Brighton, Michigan*. Pedestrian and Bicycle Information Center. acedido a 25/09/2010 a partir de <http://www.pedbikeimages.org/pubdetail.cfm?picid=1024>.
- Buren, D. (2006b) *Traffic calming chicane in Toronto - Ontario, Canada*. Pedestrian and Bicycle Information Center. acedido a 25/09/2010 a partir de <http://www.pedbikeimages.org/pubdetail.cfm?picid=1217>.
- Burrington, S. H. (1996) *Restoring the Rule of Law and Respect for Communities in Transportation*. Environmental Law Journal, New York University 5 (3).
- CAFE (2005) *Clean Air For Europe Programme*. European Commission, Environment Directorate General. Brussels.
- Cardoso, J. P. L. e Castilho A. J. (1990) *Estudo das relações entre as características da estrada e os acidentes rodoviários. Relações entre as características da estrada e a velocidade*. LNEC. Lisboa.
- Carslaw, D. C., P. S. Goodman, et al. (2010) *Comprehensive analysis of the carbon impacts of vehicle intelligent speed control*. Atmospheric Environment 44 (23): 2674-2680.
- Chen, K. e L. Yu (2007) *Microscopic Traffic-Emission Simulation and Case Study for Evaluation of Traffic Control Strategies*. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology 7 (1): 93-99.
- Chhatwal, G. R., D. K. Pandey, et al. (1988) *Encyclopaedic Dictionary of Environment*. Anmol Publications Pvt Ltd. New Dehli.
- Chhetri, A. B. e M. R. Islam (2008) *Inherently-sustainable technology development*. Nova Science Publishing. New York, NY.
- Clement, J. P. (1983) *Speed Humps and the Thousand Oaks Experience*. ITE Journal: 35-39.
- Coelho, M. C., T. L. Farias, et al. (2005a) *Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 10 (4): 323-340.

- Coelho, M. C., T. L. Farias, et al. (2005b) *A methodology for modeling and measuring traffic and emission performance of speed control traffic signals*. Atmospheric Environment (39): 2367-2376.
- Cook, A. (2007) *The Greenhouse Effect - A Legacy*. Dog Ear Publishing. Indianapolis, IN.
- Cook, R. D. (1977) *Detection of Influential Observation in Linear Regression*. Technometrics 19 (1): 15-18.
- Costa, A. P., A. J. Vasconcelos, et al. (2002) *Recolha de Dados de Tráfego com Recurso a um Veículo Instrumentado*. 2º Congresso Rodoviário Português - Estrada 2002, 18 a 20 de Novembro, Lisboa.
- Craveiro, J. P. (2009) *Análise da Eficácia dos Sistemas Semaforizados de Controlo de Velocidade*. Master Thesis, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Cruz, F. (2008) *Avaliação do Efeito das Lombas Redutoras de Velocidade*. Master Thesis, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Daham, B., G. E. Andrews, et al. (2005) *Quantifying the Effects of Traffic Calming on Emissions Using On-road Measurements*. In: General Emissions 2005. SAE Paper (2005-01-1620). Society of Automotive Engineers, USA: 155-164.
- Daughters, D. (2003) *Traffic Calming Manual*. City of Sarasota Engineering Department. Sarasota, Florida.
- DDT (2000) *Standards and Regulations for Subdivision Streets and State Highway Access*. Delaware Department of Transportation. Delaware.
- De, A. K. e A. K. De (2005) *Environmental Studies, Second Edition*. New Age Publications. New Delhi.
- De Vlioger, I., D. De Keukeleere, et al. (2000) *Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars*. Atmospheric Environment 34 (27): 4649-4655.
- De Wit, I. T. (1993) *Dutch Experiences with Speed Control Humps*. ITE 1993 Compendium of Technical Papers, Institute of Transportation Engineers: 6-10.
- Denton, T. (2004) *Automobile Electrical and Electronic Systems*. Butterworth-Heinemann Oxford, UK.
- DfT (1993) *Geometric Design of Roundabouts* Department for Transport, U.K. London.
- DfT (1994) *"THUMPS" Thermoplastic road humps - Traffic Advisory Leaflet 7/94*. Department for Transport. London.
- DfT (1995) *Geometric Design of Major/minor Priority Junctions - TD 42/95*. Department of Transport. London.
- DfT (1996a) *Traffic Advisory Leaflet 02/96 - 75mm high road humps*. Department for Transport. London.
- DfT (1996b) *Traffic Advisory Leaflet 7/96 - Highways (Road Humps) Regulations*. Department for Transport. London.
- DfT (2007) *Traffic calming, Local transport note 1/07* Department for Transport, UK. London.
- DGV (2004) *Instalação e Sinalização de Lombas Redutoras de velocidade – Nota técnica*. Despacho nº 109/2004, Direção dos Serviços de Trânsito. Lisboa.
- Dieselnet. (2010) *Emission Standards, European Union*. Dieselnet. acessido a 31/08/2010 a partir de <http://www.dieselnet.com/standards/eu/>.
- DOE. (2010) *Advanced Technologies & Energy Efficiency*. US Department of Energy. acessido a 03/09/2010 a partir de <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>.
- EA. (2010) *Oxone*. The Environment Agency, UK. acessido a 20/08/2010 a partir de <http://www.environment-agency.gov.uk/business/topics/pollution/493.aspx>.
- EC. (2010a) *Air Quality - Existing Legislation*. European Commission. acessido a 31/08/2010 a partir de http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/existing_leg.htm.

- EC. (2010b) *Reducing CO2 emissions from light-duty vehicles*. European Commission
acedido a 31/08/2010 a partir de http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/co2_home.htm.
- EC. (2010c) *Transport & Environment - Road Vehicles*. European Commission. acedido a 31/08/2010 a partir de <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/road.htm>.
- ECODRIVEN. (2006) *About campaign*. European Union. acedido a 10/09/2010 a partir de <http://www.ecodrive.org/About-campaign.218.0.html>.
- Edlin, G. e E. Golanty (2009) *Health and Wellness: Student Resources, 10th Edition*. Jones and Bartlett Publishers, Inc. Sudbury, MA.
- EEA (2009) *Transport at a crossroads: on the way to a new common transport policy: TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union*. European Environment Agency. Copenhagen.
- EEA (2010) *European Union emission inventory report 1990 — 2008 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)*. European Environment Agency. Copenhagen.
- El-Shawarby, I., K. Ahn, et al. (2005) *Comparative field evaluation of vehicle cruise speed and acceleration level impacts on hot stabilized emissions*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 10 (1): 13-30.
- Elvic e T. Vaa (2004) *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier Science. Oxford.
- Elvik, R. (2002) *Optimal Speed Limits, Limits of Optimality Models*. Transportation Research Record 1818: pp. 32-38.
- Engel, U. e L. K. Thomsen (1992) *Safety effects of speed reducing measures in danish residential areas*. Accident Analysis & Prevention 24 (1): 17-28.
- EPA (1994) *User's Guide to MOBILE5*. U.S. Environmental Protection Agency. Ann Arbor, MI.
- EPA (2005) *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*. United States Environmental Protection Agency. Washington, DC.
- EPA. (2010) *Health and Environment*. US Environmental Protection Agency,. acedido a 05/07/2010 a partir de <http://www.epa.gov/air/particlepollution/health.html>.
- Ericsson, E. (2001) *Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 6 (5): 325-345.
- Erjavec, J. (2009) *Automotive Technology*. Delmar Cengage Learning. Clifton Park, NY.
- ETSC (2006) *Intelligent Speed Assistance - Myths and Reality, ETSC position on ISA*. European Transport Safety Council. Brussels.
- ETSC (2008) *Show me How Slow - Reducing Excessive and Inappropriate Speed Now: a Toolkit*. European Transport Safety Council.
- ETSC. (2010) *Portugal: Road deaths per million population: comparison between 2001 and 2009*. acedido a 23/10/2010 a partir de <http://www.etsc.eu/map-of-europe/?country=Portugal>.
- EU (2009) *REGULAMENTO (CE) N.º 443/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho*. Jornal Oficial da União Europeia, European Union. Brussels.
- EU (2010a) *EU Energy and Transport in Figures - Statistical pocketbook 2010*. European Union. Luxembourg.
- EU. (2010b) *Low Emission Zones in Europe*. European Union. acedido a 25/08/2010 a partir de <http://www.lowemissionzones.eu/home-mainmenu-90>.
- EU. (2010c) *Why LEZs? - Health!*, acedido a 30/08/2010 a partir de <http://www.lowemissionzones.eu/what-are-lezs--othermenu-32?start=1>.
- Eugenia Gras, M., M. J. M. Sullman, et al. (2006) *Spanish drivers and their aberrant driving behaviours*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 9 (2): 129-137.

- Evans, L. F., I. A. Weeks, et al. (1986) *A chamber study of photochemical smog in Melbourne, Australia-present and future*. *Atmospheric Environment* (1967) 20 (7): 1355-1368.
- Ewing, R. e S. J. Brown (2010) *U.S. Traffic Calming Manual*. American Planning Association. Washington, DC.
- Ewing, R. H. (1999) *Traffic Calming: State of the Practice*. Institute of Transportation Engineers. Washington, DC.
- Faiz, A., C. S. Weaver, et al. (1996) *Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions*. World Bank Publications. Washington, DC.
- FAO (2008) *State of Food and Agriculture: 2008: Biofuels Prospects, Risks and Opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Farmer, C., R. Retting, et al. (1999) *Changes in motor vehicle occupant fatalities after repeal of the national maximum speed limit*. *Accident Analysis and Prevention* 31 (5): pp. 537-543.
- Farmer, C. M., B. B. Kirley, et al. (2010) *Effects of in-vehicle monitoring on the driving behavior of teenagers*. *Journal of Safety Research* 41 (1): 39-45.
- Favez, J.-Y., M. Weilenmann, et al. (2009) *Cold start extra emissions as a function of engine stop time: Evolution over the last 10 years*. *Atmospheric Environment* 43 (5): 996-1007.
- Fenger, J., O. Hertel, et al., Eds. (1998) *Urban Air Pollution: European aspects*. Kluwer Academic publishers. Dordrecht.
- FHWA (1997) *CORSIM User's Manual*. Federal Highway Administration, US Department of Transportation Office of Safety and Traffic Operations. Washington, DC.
- FHWA (2000a) *Roundabouts: An Informational Guide – Report No. FHWA - RD-00-067*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. McLean, VA.
- FHWA (2000b) *A Sampling of Emissions Analysis Techniques for Transportation Control Measures*. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Washington, DC.
- FHWA (2002) *Pedestrian Facilities Users Guide. Providing Safety and Mobility* U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, DC.
- Fiat. (2010) *eco:Drive*. acessado a 09/09/2010 a partir de <http://www.fiat.com/ecodrive/pt/default.htm>.
- Field, A. (2009) *Discovering Statistics Using SPSS, Third Edition*. SAGE Publications Ltd. London.
- FOE (2000) *Cleaner Cars and Fuels*. Friends of the Earth. London.
- Freedman, B. (1995) *Environmental Ecology: The Ecological Effects of Pollution, Disturbance, and Other Stresses, Second Edition*. Academic Press. San Diego, CA.
- Frumkin, H. (2010) *Environmental Health: From Global to Local*. San Francisco, CA.
- Fwa, T. F. e L. S. Tan (1992) *Geometric Characterization of Road Humps for Speed Control Design*. *Journal of Transportation Engineering* 118 (4): 593 - 598.
- Gambar, J. M. (1985) *Approche du comportement cinématique du véhicule libre sur un axe routier*. École des Ponts ParisTech. Paris.
- García, A., A. Torres, et al. (2010) *Evolución de las Velocidades ante Dispositivos Moderadores del Tráfico*. XVI Congresso Pan-Americano de Engenharia de Tráfego e Transportes e Logística, Julho 15-18, Lisboa.
- Gaudio, R. e E. Volpi (2009) *Position paper: Natural Gas and CO₂*. Natural Gas Vehicle Association. Madrid.
- Geddes, E. (1996) *Safety Benefits of Traffic Calming*. Insurance Corporation of British Columbia. Vancouver.
- Geovision. (2006) *GV-800 Video Capture Card*. Geovision Inc. acessado a 05/06/2006 a partir de <http://www.geovision.com.tw/english/index>.

- Ghilani, C. D. e P. R. Wolf (2008) *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics (12th Edition)* Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- Gifford, R. (2004) *Road Humps should be dug up: The Case Against* Parliamentary Advisory Council for Transport Safety. London.
- Girard, J. E. (2010) *Principles of Environmental Chemistry, 2nd Revised Edition*. Jones and Bartlett Publishers, Inc. Sudbury.
- Godley, S. T., T. J. Triggs, et al. (2002) *Driving simulator validation for speed research*. Accident Analysis & Prevention 34 (5): 589-600.
- Gois, V., L. Nogueira, et al. (2005) *Using aerial photographic data for inventory of air emissions from road traffic sources: case study in the city of Lisbon*. WIT Transactions on Ecology and the Environment 82: 337-346.
- Golias, I. e M. G. Karlaftis (2001) *An international comparative study of self-reported driver behavior*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 4 (4): 243-256.
- Gray, H. B., J. D. Simon, et al. (1995) *Braving the Elements*. University Science Books. Sausalito, CA.
- Grewal, M. S., L. R. Weill, et al. (2007) *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- Griffin, M. J. (1996) *Handbook of Human Vibration*. Academic Press. London.
- Guerra, G., A. Lemma, et al. (1995) *Benzene emissions from motor vehicle traffic in the urban area of milan: Hypothesis of health impact assessment*. Atmospheric Environment 29 (23): 3559-3569.
- Guicherit, R. (1997) *Traffic as a source of volatile hydrocarbons in ambient air*. Science of The Total Environment 205 (2-3): 201-213.
- Gwilliam, K., M. Kojima, et al. (2004) *Reducing Air Pollution from Urban Transport*. The World Bank. Washington, D.C.
- Hakkert, A. S., V. Gitelman, et al. (2007) *Road Safety Performance Indicators: Theory*. Deliverable D3.6 of the EU FP6 project SafetyNet. Brussels.
- Hallmark, S. L., I. Fomunung, et al. (2000) *Assessing impacts of improved signal timing and transportation control measure using an activity-specific modeling approach*. Annual Meeting of the Transportation Research Board No79. Washington, DC.
- Hallmark, S. L., E. Peterson, et al. (2007) *Evaluation Of Gateway And Low-Cost Traffic-Calming Treatments For Major Routes In Small Rural Communities*. Iowa State University. Ames, IA.
- Harrison, R. M. (2001) *Pollution: causes, effects and control, 4th Revised edition*. Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK.
- Harvey, C. (2009) *Development of a Method for Evaluating the Usability of In-Vehicle Information Systems (IVISs)*. Human-Computer Interaction – INTERACT 2009. T. Gross, J. Gulliksen, P. Kotzé et al, Springer Berlin / Heidelberg. 5727: 856-859.
- Harvey, T. (1992) *A Review of Current Traffic Calming Techniques*. acessado a 15 Julho de 2006 a partir de http://www.its.leeds.ac.uk/projects/primavera/p_calming.html#fn3.
- Hass-Klau, C. (1990) *An Illustrated Guide to Traffic Calming: the Future Way of Managing Traffic*. Friends of the Earth. London.
- Hass-Klau, C., I. Nold, et al. (1992) *Civilised Streets: A guide to traffic calming*. Environmental & Transport Planning. Brighton, UK.
- HC. (2010) *Health Effects of Air Pollution*. Health Canada. acessado a 30/08/2010 a partir de http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/out-ext/effe/health_effects-effets_sante-eng.php#a2.
- HCTC (2008) *Ending the Scandal of Complacency: Road Safety Beyond 2010*. House of Commons Transport Committee, Stationery Office Books. Norwich, UK.

- Helander, M. e B. Hagvall (1976) *An instrumented vehicle for studies of driver behaviour*. Accident Analysis & Prevention 8 (4): 271-277.
- Herrstedt, L. (1992) *Traffic calming design--a speed management method: Danish experiences on environmentally adapted through roads*. Accident Analysis & Prevention 24 (1): 3-16.
- Herrstedt, L. (1993) *An Improved Traffic Environment A Catalogue of Ideas*. Road Directorate, Ministry of Transport. Copenhagen.
- HFCN. (2010) *Hydrogen Fuel Cars*. acessado a 01/09/2010 a partir de <http://www.hydrogencarsnow.com/>.
- Hill, T. e P. Lewicki (2006) *Statistics: Methods and Applications*. StatSoft, Inc. Tulsa, OK.
- Hillier, V. e P. Coombes (2004) *Fundamentals of motor vehicle technology, 5th Edition*. Nelson Thornes. Cheltenham, UK.
- Hillier, V. A. W. e F. W. Pittuck (1993) *Fundamentals of Motor Vehicle Technology*. Nelson Thornes Ltd. Cheltenham, UK.
- Höglund, P. G. e J. Niittymäki (1999) *Estimating Vehicle Emissions and Air Pollution related to Driving Patterns and Traffic Calming*. Urban Transport Systems, 2nd KFB-Research Conference, 7-8 June, 1999, Lund, Sweden.
- Hu, Y., Z. Bai, et al. (2007) *Health risk assessment for traffic policemen exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Tianjin, China*. Science of The Total Environment 382 (2-3): 240-250.
- Hung, W.-T., K.-M. Tam, et al. (2005) *Comparison of driving characteristics in cities of Pearl River Delta, China*. Atmospheric Environment 39 (4): 615-625.
- Hunt, P. B., D. L. Robertson, et al. (1982) *The SCOOT on-line traffic signal optimisation technique*. Traffic Engineering and Control 23: 190-192.
- Husch, D. (1998) *Synchro 3.2 User Guide*. Trafficware. Berkeley, CA.
- IEA (2004) *Biofuels for Transport, An International Perspective*. International Energy Agency. Paris.
- IMTT. (2010) *Eco-condução*. Instituto da Mobilidade e Transportes Terrestres. acessado a 10/09/2010 a partir de <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Condutores/Ecoconducao/Paginas/Ecoconducao.aspx>.
- Int Panis, L., C. Beckx, et al. (In Press) *PM, NOx and CO2 emission reductions from speed management policies in Europe*. Transport Policy In Press, Corrected Proof.
- Int Panis, L., S. Broekx, et al. (2006) *Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits*. Science of The Total Environment 371 (1-3): 270-285.
- ITE (1976) *Transportation and Traffic Engineering handbook*. Prentice-Hall International. Hoboken, NJ.
- ITE (1993) *Guidelines for the Design and Application of Speed Humps*. Technical Council Task Force on Speed Humps, Institute of Transportation Engineers. Washington, DC.
- JAE (1995) *Norma de Marcas Rodoviárias JAE P3.1.2/95*. Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma de Estradas, Edição JAE. Lisboa.
- Jarvis, J. R. (1980) *Legal Aspects of Round Humps on Public Roads*. Research Report ARR No. 109, Australian Road Research Board (ARRB) Ltd. Victoria, Australia.
- Jarvis, J. R. (1992) *An Investigation on Road Humps for use on Bus Routes*. Research Report ARR No. 222, Australian Road Research Board (ARRB) Ltd. Victoria, Australia.
- Joksch, H. C. (1993) *Velocity change and fatality risk in a crash: a rule of thumb*. Accident Analysis and Prevention 25 (1): 103-104.
- Joumard, R., A. J. Hickman, et al. (1992) *Modelling of Emissions and Consumption in Urban Areas-Final Report*. DRIVE Project V1053, INRETS Report LEN9213. Bron.

- Joumard, R., F. Philippe, et al. (1999) *Reliability of the current models of instantaneous pollutant emissions*. The Science of The Total Environment 235 (1-3): 133-142.
- Joumard, R., R. Vidon, et al. (1995) *Changes in Pollutant Emissions from Passenger Cars under Cold Start Conditions, INRETS Report n° 197*. Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. Bron.
- Kandhal, P. S. (2004) *Asphalt Pavements Mitigate Tire/Pavements Noise Hot Mix Asphalt Technology*. National Center for Asphalt Technology. Lanham, MD.
- Kassem, E. e Y. Al-Nassar (1981) *Dynamic Considerations of Speed Control Humps*. Transportation Research B 16B (4): 291-302.
- Kean, A. J., R. A. Harley, et al. (2003) *Effects of Vehicle Speed and Engine Load on Motor Vehicle Emissions*. Environmental Science & Technology 37 (17): 3739-3746.
- Khorshid, E., F. Alkalby, et al. (2007) *Measurement of whole-body vibration exposure from speed control humps*. Journal of Sound and Vibration 304 (3-5): 640-659.
- Kloeden C.N., M. A., Moore V. M., Ponte G. (1997) *Travelling speed and the risk of crash involvement*. Federal Office of Road Safety, Transport and Communications, Canberra.
- Kloeden, C. N., A. McLean, et al. (1997) *Travelling speed and the risk of crash involvement*. Federal Office of Road Safety, Transport and Communications, Canberra.
- Ko, J., R. Guensler, et al. (2010) *Analysis of effects of driver/vehicle characteristics on acceleration noise using GPS-equipped vehicles*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 13 (1): 21-31.
- Kobayashi, S., S. Plotkin, et al. (2009) *Energy efficiency technologies for road vehicles*. Energy Efficiency 2 (2): 125-137.
- Kockelman, K. e J. Bottom (2006) *Safety impacts and other implications of raised speed limits on high-speed roads*. National Cooperative Research Program. Washington, D.C.
- Kokowski, P. e R. Makarewicz (2006) *Predicted effects of a speed bump on light vehicle noise*. Applied Acoustics 67 (6): 570-579.
- Korol, J. (2006) *Excel 2003 VBA Programming with XML and ASP*. Wordware Publishing, Inc. Plano, TX.
- Kourtidis, K. A., I. C. Ziomas, et al. (1999) *Evaporative traffic hydrocarbon emissions, traffic CO and speciated HC traffic emissions from the city of Athens*. Atmospheric Environment 33 (23): 3831-3842.
- Krzyzanowski, M., B. Kuna-Dibbert, et al., Eds. (2005) *Health Effects of Transport-Related Air Pollution*. World Health Organization, Regional Office for Europe. Copenhagen.
- Kutz, M. (2008) *Environmentally Conscious Transportation*. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ.
- Larminie, J. e J. Lowry (2003) *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Larssen, S. e L. O. Hagen (1996) *AIR QUALITY IN EUROPE, 1993 - A PILOT REPORT*. European Environment Agency. Copenhagen.
- Layfield, R. E. e D. I. Parry (1998) *Traffic calming-Speed cushion schemes*. Transport Research Laboratory, UK.
- Lee, D.-S., B. Melamed, et al. (1992) *TES modeling for analysis of a video multiplexer*. Performance Evaluation 16 (1-3): 21-34.
- Lee, H. C., A. H. Lee, et al. (2003) *Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes*. Journal of Safety Research 34 (4): 453-459.
- Li, J., Z. Q. Yue, et al. (2004) *Performance evaluation of signalized urban intersections under mixed traffic conditions by gray system theory*. Transportation Engineering 130 (1): 113-121.

- Lipman, T. E. e M. A. Delucchi (2010) *Expected Greenhouse Gas Emission Reductions by Battery, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles*. *Electric and Hybrid Vehicles*. Elsevier: 113-158, Amsterdam.
- Litman, T. A. (1999) *Traffic Calming Benefits, Costs and Equity Impacts*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria, Canada.
- Liu, B.-S. e Y.-H. Lee (2005) *Effects of car-phone use and aggressive disposition during critical driving maneuvers*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8 (4-5): 369-382.
- Liu, P. I.-f. (2005) *Energy, technology, and the environment*. American Society of Mechanical Engineers. New York, NY.
- Mackay, G. M. (1970) *The Role of the Accident Investigator*. *Journal of the Forensic Science Society* 10 (4): 245-254.
- Mackay, G. M. (1975) *Pedestrian and Cyclist Road Accidents*. *Journal of the Forensic Science Society* 15 (1): 7-15.
- Mahalanobis, P. C. (1936) *On the generalised distance in statistics*. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India* 2 (1): 49-55.
- MAI (2003) *Plano Nacional de Prevenção Rodoviária*. Ministério da Administração Interna. Lisboa.
- Mak, K. K. (1986) *A Further Note on Undulation as a Speed Control Device*. *Transportation Research Record* 1069: 13-20.
- Malaterre, G. (1994) *Method de Mesure de la charge de Travail em situation de Conduite simulée et réelle*. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. Bron.
- Mandavilli, S., M. J. Rys, et al. (2008) *Environmental impact of modern roundabouts*. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 (2): 135-142.
- Marek, J. (1998) *Mid-Block Speed Control: Chicanes and Speed Humps*. *ITE Journal* 68 (11).
- Marek, J. e S. Walgren (2003) *Mid-Block Speed Control: Chicanes and Speed Humps*. Seattle Department of Transport. Seattle, WA.
- Marques, J. S. (2004) *Engenharia de Segurança Rodoviária em Áreas Urbanas, Recomendações e Boas Práticas*. Prevenção Rodoviária Portuguesa. Lisboa.
- MATD (2001) *Traffic Calming Protocol Manual* Municipality of Anchorage Traffic Department. Anchorage, AK.
- Maxqdata, L. (2007) *MQ200 User Manual*. Maxqdata. Bellevue, WA.
- Mendenhall, W. e T. Sincich (2006) *Statistics for Engineering and the Sciences*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- MF (2008) *Instruccion Tecnica para la Instalacion de Reductores de Velocidad y Bandas Transversales de Alerta en Carreteras de la Red de Carreteras del Estado*. Ministerio de Fomento. Madrid.
- Moinat, P. (1991) *Étude et Simulation du Passage d'un Véhicule Sur un Dos d'Âne: Prédiction de l'Inconfort*. Université de Sherbrooke, Québec.
- MoTeC. (2010) *About Data Acquisition*. MoTeC Pty Ltd. acedido a 26/09/2010 a partir de <http://www.motec.com.au/aboutdata/dataoverview/>.
- Mountain, L. J., W. M. Hirst, et al. (2005) *Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? The impact of speed management schemes on 30 mph roads*. *Accident Analysis and Prevention* 37: 742-754.
- Mullera, N. Z. e R. Mendelsohn (2007) *Measuring the Damages of Air Pollution in the United States*. *Journal of Environmental Economics and Management* 54 (1): 1-14.
- Nersesian, R. L. (2010) *Energy for the 21st Century: A Comprehensive Guide to Conventional and Alternative Sources, Second Edition*. M.E. Sharpe, Inc. Armonk, NY.

- Nesamani, K. S. e K. P. Subramanian (2006) *Impact of real-world driving characteristics on vehicular emissions*. Japanese Society of Mechanical Engineers, International Journal, Series B, Fluids and thermal engineering 49 (1): 19-26.
- Nicodemus, D. A. (1991) *Safe and Effective Roadway Humps: The Seminole County Profile*. ITE 1991 Compendium of Technical Papers. Institute of Transportation Engineers. Washington, DC.
- Nicolopoulou-Stamati, P., L. Hens, et al., Eds. (2005) *Environmental Health Impacts of Transport and Mobility*. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Nilsson, G. (1981) *The effect of speed limits on traffic accidents in Sweden*. Organization for Economic Cooperation and Development. Proceedings of the International Symposium on the Effects of Speed Limits on Traffic Accidents and Transport Energy Use, Dublin.
- Nisbet, R., J. E. IV, et al. (2009) *Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications*. Academic Press. Burlington, MA.
- Noland, R. B. e M. A. Quddus (2006) *Flow improvements and vehicle emissions: Effects of trip generation and emission control technology*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 11 (1): 1-14.
- Ntziachristos, L. e Z. Samaras (2000) *Speed-dependent representative emission factors for catalyst passenger cars and influencing parameters*. Atmospheric Environment 34 (27): 4611-4619.
- OECD (2002) *Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Road Transport: Analytical Methods*. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris.
- OECD (2004) *Can Cars Come Clean? Strategies for Low-emission Vehicles*. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris.
- OECD/ECMT (2006) *Speed management*. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD/European Conference of Ministers of Transport ECMT. Paris.
- OECD/ITF (2009) *The Cost and Effectiveness of Policies to Reduce Vehicle Emissions*. Organization for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum: Transport Research Centre. Paris.
- OECD/ITF (2010) *Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions: Trends & Data 2010*. Organization for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum. Paris.
- Oppenlander, J. C. (1963) *Sample size determination for spot-speed studies at rural, intermediate and urban locations*. Transportation Research Board. Washington D.C.
- Paleti, R., N. Eluru, et al. (2010) *Examining the influence of aggressive driving behavior on driver injury severity in traffic crashes*. Accident Analysis & Prevention 42 (6): 1839-1854.
- Pandian, S., S. Gokhale, et al. (2009) *Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 14 (3): 180-196.
- Pandiana, S., S. Gokhaleb, et al. (2009) *Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 14 (3): 180-196.
- Panisa, L. I., S. Broekxa, et al. (2006) *Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits*. Science of The Total Environment 371 (1-3): 270-285.
- Park, H. M. (2008) *Univariate Analysis and Normality Test Using SAS, Stata, and SPSS. Working Paper*. The University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Mathematical Computing, Indiana University. Indianapolis.

- Pau, M. (2002) *Speed Bumps May Induce Improper Drivers' Behavior: Case Study in Italy*. Journal of Transportation Engineering 128 (5): 472-478.
- Pau, M. e S. Angius (2000) *Do speed bumps really decrease traffic speed?* . Accident Analysis and Prevention 33: 585-597.
- Pau, M. e S. Angius (2001) *Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience*. Accident Analysis & Prevention 33 (5): 585-597.
- Peden M, Scurfield R, et al. (2004) *World Report on Road Traffic Injury Prevention*. World Health Organization. Geneva.
- PennDOT (2001) *Pennsylvania's Traffic Calming Handbook* Pennsylvania Department of Transportation, Bureau of Highway Safety and Traffic Engineering. Harrisburg, PA.
- Pereira, T. C., T. Seabra, et al. (2010) *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2008*. Agência Portuguesa do Ambiente, A. P. d. Ambiente. Amadora.
- Pestana, M. H. e J. N. Gageiro (2005) *Descobrimos a Regressão com a Complementaridade do SPSS*. Edições Sílabo. Lisboa.
- Pestana, M. H. e J. N. Gageiro (2008) *Análise de Dados para Ciências Sociais - A complementaridade do SPSS*. Edições Sílabo, Lda. Lisboa.
- Pestana, M. H. e J. N. Gageiro (2009) *Análise Categórica, Árvores de Decisão e Análise de Conteúdo*. Lidel. Lisboa.
- Pharoah, T. e J. Russell (1989) *Traffic Calming: Policy and Evaluations in three European Countries* Occasional Paper 2/1989, South Bank Polytechnic. London.
- Pierson, W. R., A. W. Gertler, et al. (1996) *Real-world automotive emissions-Summary of studies in the Fort McHenry and Tuscarora mountain tunnels*. Atmospheric Environment 30 (12): 2233-2256.
- Plimer, I. (2009) *Heaven And Earth: Global Warming - The Missing Science*. Quartet Books. London.
- Popp, K. e W. Schiehlen (2010) *Ground Vehicle Dynamics: A System Dynamics Approach*. Springer-Verlag. Berlin.
- Prabhu, C. S. R. e P. A. Reddi (2006) *Bluetooth Technology and Its Applications with JAVA and J2ME* Prentice-Hall of India Pvt.Ltd. New Delhi.
- Price, R. L. (2003) *The VW Beetle: A Production History of the World's Most Famous Car, 1936-1967*. HP Books. New York.
- Racelogic. (2009) *VBOX Accuracy*. Racelogic Limited. acessado a 25/06/2009 a partir de <http://www.racelogic.co.uk/?show=VBOX-Accuracy>.
- Racelogic. (2010) *The Velocity Box from Racelogic*. Racelogic Limited. acessado a 26/09/2010 a partir de <http://www.racelogic.co.uk/?show=VBOX>.
- Rajamani, R. (2006) *Vehicle dynamics and control*. Springer Science+Business Media, Inc. New York.
- Rakha, H., M. Van Aerde, et al. (2000) *Requirements for evaluating traffic signal control impacts on energy and emissions based on instantaneous speed and acceleration measurements*. Annual Meeting of the Transportation Research Board No79 , National Research Council. Washington, DC.
- Ribeiro, A. S. N. (1996) *As Medidas de Acalmia de Tráfego na Promoção da Segurança e na Melhoria do Ambiente Rodoviário*. Master Thesis, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Ribeiro, A. S. N. e Á. J. M. Seco (1999) *Soluções de Acalmia de Tráfego - Textos Didáticos, 1ª Edição*. DEC da Universidade de Coimbra, DEC da Universidade do Porto. Coimbra.
- Richard, J. e H. Steven (1991) *Noise reduction in accustomed races. Effect of Traffic Calming Measures on Load Behavior, Sound Emission, Exhaust Fume Emission and Fuel Consumption*. Research Reports 105, 05, 207, Environment Federal Bureau. Bonn.

- Richter, E. D., T. Berman, et al. (2006) *Speed, Road Injury, and Public Health*. Annual Review of Public Health 27: 125-152.
- Rimmö, P.-A. e L. Hakamies-Blomqvist (2002) *Older drivers' aberrant driving behaviour, impaired activity, and health as reasons for self-imposed driving limitations*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 5 (1): 47-62.
- Rosqvist, L. S. (1999) *Vehicular emissions and fuel consumption for street characteristics in residential areas*. Urban Transport Systems, 2nd KFB-Research Conference, 7-8 June, 1999, Lund, Sweden.
- Rouphail, N. M., H. C. Frey, et al. (2001) *Vehicle Emissions and Traffic Measures: Explanatory Analysis of Field Observations at Signalized Arterials*. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- RT. (2008) *SPEEDBOX Technical Datasheet*. Race Technology Ltd, .
acedido a 20/04/2008 a partir de http://www.race-technology.com/product_data_sheets_2_30524.html.
- RT. (2010) *Data Loggers and Performance Meters from Race Technology*. Race Technology Ltd. acedido a 26/09/2010 a partir de http://www.race-technology.com/data_loggers_2_11.html.
- Saleeb, S. e M. G. Hartley (1968) *Simulation of traffic behaviour through a linked-pair of intersections*. Transportation Research 2 (1): 51-61.
- Samama, N. (2008) *Global Positioning: Technologies and Performance* WileyBlackwell Hoboken, NJ.
- Sandalow, D., Ed. (2009) *Plug-in electric vehicles: what role for Washington?* , The Brookings Institution Press. Washington, DC.
- Santos, F. M. S. M. d. e F. A. C. M. d. Santos (2005) *Combustível Hidrogénio*. Millenium - Revista do Instituto Superior Politecnico de Viseu (31): 252-270.
- SARTRE (2004) *European drivers and road risk*. Social Attitudes to Road Traffic Risk in Europe. Arcueil.
- SCDOT (2006) *Traffic Calming Guidelines. Reducing the speed and volume of traffic to acceptable levels* Traffic Engineering, South Carolina Delaware Department of Transportation. Columbia, EUA.
- Schlabbach, L. (1997) *Traffic Calming in Europe*. Institute of Transport Engineers Journal: 38-40.
- Schwaller, A. E. (2004) *Total Automotive Technology, 4th Edition*. Delmar Cengage Learning. Clifton Park, NY.
- Seco, A. J. M. (1991) *Driver Behaviour at Uncontrolled Junctions* PhD Department of Civil Engineering, University of Leeds – Institute for Transport Studies, Leeds.
- SETRA (1998) *Aménagement des Carrefours Interurbains sur les routes principales – Carrefours plans - Guide Technique*. Sevice d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes. Bagneux, France.
- Sherman, J. (2010) *The Hindenburg Disaster*. Abdo Publishing Company. North Mankato, MN.
- Silva, A. B., J. P. Silva, et al. (2010) *Evaluation of the Performance of Light Speed Enforcement Systems*. 12th World Conference on Transport Research, July 11-15, Lisbon, Portugal.
- Silva, C., M. Ross, et al. (2009) *Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles*. Energy Conversion and Management 50 (7): 1635-1643.
- Silva, C. M., T. L. Farias, et al. (2002a) *EcoGest - Numerical modelling of the dynamic, fuel consumption and tailpipe emissions of vehicles equipped with spark ignition engines*. Urban Transport and the Environment 2002, Eighth International Conference on Urban Transport and The Environment in the 21st Century, 13 – 15 March Seville.

- Silva, J. P. C. (2001) *Novas Soluções na Optimização de Atravessamentos Pedonais Regulados por Sinalização Luminosa*. Master Thesis, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, University of Coimbra, Coimbra.
- Silva, J. P. C., A. M. C. Bastos Silva, et al. (2002b) *Instrumentação de um veículo para apoio à análise comportamental de condutores*. XII Congresso Panamericano de Trânsito e Transportes, 18-21 Novembro, Quito, Equador.
- Simões, A., M. Coelho, et al. (2002) *Analysis of Environmental Impact of Urban Buses: Application to a Case Study in Lisbon*. Urban Transport and the Environment 2002, Eighth International Conference on Urban Transport and The Environment in the 21st Century, March Seville.
- Sioshansi, R., R. Fagiani, et al. *Cost and emissions impacts of plug-in hybrid vehicles on the Ohio power system*. Energy Policy In Press, Corrected Proof.
- Smit, R., L. Ntziachristos, et al. (2010) *Validation of road vehicle and traffic emission models - A review and meta-analysis*. Atmospheric Environment 44 (25): 2943-2953.
- Speight, J. G. (2005) *Environmental analysis and technology for the refining industry*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- Sperling, D. e D. Gordon (2009) *Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability*. Oxford University Press. New York, NY.
- Sportisse, B. (2009) *Fundamentals in Air Pollution: From Processes to Modelling*. Springer. Dordrecht.
- Steen, M. e C. Hageback (1999) *Buses & Bumps*. Vagverket, Swedish National Road Administration. Borlange, Sweden.
- Stephens, A. N. e J. A. Groeger (2009) *Situational specificity of trait influences on drivers' evaluations and driving behaviour*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 12 (1): 29-39.
- Stephens, B. W. (1986) *Road Humps for the Control of Vehicular Speeds and Traffic Flow*. Public Roads 50 (3): 82-90.
- Streetswiki. (2010) *Speed Bumps, Humps, and Cushions*. Streetswiki. acedido a 25/09/2010 a partir de <http://streetswiki.wikispaces.com/Speed+Bumps,+Humps,+and+Cushions>.
- Stuster, J., Z. Coffman, et al. (1998) *Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Management*. Federal Highway Administration, National Highway Traffic Safety Association. Washington D.C.
- T&E (2007) *Reducing car CO2 emissions through the use of low rolling resistance tyres*. European Federation for Transport and Environment. Brussels.
- TAC (1995) *Urban Supplement to the Geometric Design Guide for Canadian Roads*. Transportation Association of Canada. Ottawa.
- TAC (1998) *Canadian Guide to Neighbourhood Traffic Calming*. Transportation Association of Canada. Ottawa.
- Tate, J. E., M. C. Bell, et al. (2005) *The Application of an Integrated Traffic Microsimulation and Instantaneous Emission Model to Study the Temporal and Spatial Variations in Vehicular Emissions at the Local-Scale*. Transport and Air Pollution, 14th International Symposium, June 1 - 3, Graz, Austria.
- Taylor, M., D. Lynam, et al. (2000) *The effect of driver's speed on the frequency of roads accidents*. Transport Research Laboratory Crowthorne.
- Tchepele, O. (2003) *Modelo de Emissões para o Apoio à Decisão na Gestão da Qualidade do Ar* PhD Thesis, Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Aveiro.
- Toledo, T., H. N. Koutsopoulos, et al. (2009) *Estimation of an integrated driving behavior model*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 17 (4): 365-380.
- Trackvision. (2006) *Trackvision*. acedido a 05/05/2006 a partir de <http://www.trackvision.net/>.

- Tranter, P. (2010) *Speed Kills: The Complex Links Between Transport, Lack of Time and Urban Health*. Journal of Urban Health 87 (2): 155-166.
- TRB (1998) *Management Speed – Review of current practice of setting and enforcing speed limits*. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Várhelyi, A. (2002) *The effects of small roundabouts on emissions and fuel consumption: a case study*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 7 (1): 65-71.
- Vasconcelos, A. L., B. A. Lucena, et al. (2002) *Caracterização Numérica e Experimental do Nível de Ruído do Tráfego num Eixo Rodoviário*. Actas das 2as Jornadas Politécnicas de Engenharia, Novembro, Setúbal.
- Vejdirektoratet (1991) *Road Standards Part 7 - Speed Reducers*. Denmark Ministry of Transport Urban Traffic Areas Report, Road Data Laboratory, Road Standards Division. Copenhagen.
- VTPI. (2005) *Energy Conservation and Emission Reduction Strategies - Online Transportation Demand Management Encyclopedia*. Victoria Transport Policy Institute. acessado a 10/5/2006 a partir de <http://www.vtpi.org/tm/tm59.htm>.
- VTPI (2009) *Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications*. Victoria Transport Policy Institute Victoria, Canada.
- Walkenbach, J. (2007) *Excel 2007 Power Programming with VBA*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.
- Walsh, M. P. (2009) *Moving toward clean vehicles and fuels: A global vision*. EM Magazine. Air & Waste Management Association. Pittsburgh, PA.
- Warner, H. W. e L. Aberg (2006) *Drivers' decision to speed: A study inspired by the theory of planned behavior*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 9 (6): 427-433.
- Washington, S., R. Guensler, et al. (2000) *Validation of the MEASURE Automobile Emissions Model: A Statistical Analysis*. Journal of Transportation and Statistics: 65-84.
- Watt, J., J. Tidblad, et al. (2009) *The Effects of Air Pollution on Cultural Heritage*. Springer. New York, NY.
- Watts, G. R. (1973) *Road Humps for the Control of Vehicle Speeds*. Transport and Road Research Laboratory (TRRL) Report 597, Department of the Environment and Department of Transport. Crowthorne, UK.
- Watts, G. R. (1974) *Road humps for the control of vehicle speeds: G. R. Watts 1973 Transport and Road Research Laboratory Report 597 (40 pages, 14 figures, 6 tables, 2 references)*. Journal of Sound and Vibration 37 (4): 585-586.
- Watts, G. R. e V. V. Krylov (2000) *Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions*. Applied Acoustics 59 (3): 221-236.
- Weber, P. A. (1998) *Towards a Canadian Standard for the Geometric Design of Speed Humps*. Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ottawa, ON.
- Weber, P. A. e J. P. Braaksma (2000) *Towards a North American Geometric Design Standard for Speed Humps*. ITE Journal 70:1: 30-34.
- Webster, D. e A. Mackie (1996) *Review of traffic calming schemes in 20 mph zones*. Transport Research Laboratory. London.
- Webster, D. C. (1993a) *The Grounding of Vehicles on Road Humps*. Traffic Engineering and Control 34 (8): 369-371.
- Webster, D. C. (1993b) *Road Humps for Controlling Vehicle Speeds*. Transport Research Laboratory (TRL) Project Report 18, Department of the Environment and Department of Transport. London.
- Webster, D. C. e R. E. Layfield (1996) *Traffic calming—road hump schemes using 75mm high humps*. TRL Report 186. Transport Research Laboratory. Crowthorne, UK.

- Weilenmann, M., J.-Y. Favez, et al. (2009) *Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories*. Atmospheric Environment 43 (15): 2419-2429.
- Wheeler, A. e M. Taylor (1995) *Reducing Speeds in villages: the VISIP study*. Transport Research Laboratory, Berkshire, U.K.
- White, C. M., R. R. Steepera, et al. (2006) *The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review*. International Journal of Hydrogen Energy 31 (10): 1292-1305.
- WHO (2000) *Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition*. World Health Organization, Regional Office for Europe. Copenhagen.
- WHO (2005) *Health Effects of Transport-Related Air Pollution Summary for Policie-Makers*. World Health Organization, Regional Office for Europe. Copenhagen.
- Witte, T. H. e A. M. Wilson (2004) *Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground*. Journal of Biomechanics, Elsevier 37: 1891-1898.
- Wu, C. (2007) *Thermodynamics and heat powered cycles: a cognitive engineering approach*. Nova Science Publishers, Inc. New York, NY.
- Yacobucci, B. D. (2007) *Alternative Transportation Fuels and Vehicles: Energy, Environment, and Development Issues*. Congressional Research Service , The Library of Congress. Washington, DC.
- Yamada, K. e T. N. Lam (1985) *Simulation analysis of two adjacent traffic signals*. Association for Computer Machinery. Proceedings of the 17th Conference on Winter Simulation, San Francisco, CA.
- Yang, J. e J. Daniel (2004) *Study of Optimal Travel Speed Limits for Shared Traffic*. New Jersey Institute of Technology. Newark, NJ.
- Young, M. S., S. A. Birrell, et al. *Safe driving in a green world: A review of driver performance benchmarks and technologies to support [']smart' driving*. Applied Ergonomics In Press, Corrected Proof.
- Zachariadis, T., L. Ntziachristos, et al. (2001) *The effect of age and technological change on motor vehicle emissions*. Transportation Research Part D: Transport and Environment 6 (3): 221-227.
- Zaidel, D., A. S. Hakkert, et al. (1992) *The use of road humps for moderating speeds on Urban streets*. Accident Analysis & Prevention 24 (1): 45-56.
- Zhang, L. (2003) *Development of a GPS-based System for Monitoring Driver Performance*. Department of Electric and Electronic Engineering, University of Auckland. Auckland, New Zeland.

Modelação e Avaliação do Potencial de Desempenho das Lombas Redutoras de Velocidade

ANEXO

ÍNDICE DO ANEXO

1.	Lombas Analisadas	13
1.1	Casal do Barril.....	15
1.1.1	Lomba 1.....	16
1.1.2	Lomba 2.....	17
1.1.3	Lomba 3.....	18
1.1.4	Lomba 4.....	19
1.2	Porto de Mós	20
1.2.1	Lomba 1.....	21
1.2.2	Lomba 2.....	22
1.2.3	Lomba 3.....	23
1.2.4	Lomba 4.....	24
1.2.5	Lomba 5.....	25
1.2.6	Lomba 6.....	26
1.2.7	Lomba 7.....	27
1.3	N110.....	28
1.3.1	Lomba 1.....	29
1.3.2	Lomba 2.....	30
1.3.3	Lomba 3.....	31
1.3.4	Lomba 4.....	32
1.3.5	Lomba 5.....	33
1.3.6	Lomba 6.....	34
2.	Programação em <i>Visual Basic for Applications</i>	35
2.1	Código Desenvolvido.....	35
3.	Elementos de Apoio às Análises.....	49
3.1	Passagens nas Lombas/Passadeiras Elevadas	49
3.1.1	Por Condutor e Local	49
3.1.2	Por Género.....	50
3.1.3	Altura da Lomba	51
3.1.4	Comprimento da Lomba.....	53
3.1.5	Largura da Faixa de Rodagem.....	55
3.1.6	Existência de Passeio	57
3.1.7	Visibilidade/Distância Livre.....	58
3.2	Variáveis Dinâmicas	62
3.2.1	Distância de Abrandamento	62
3.2.2	Velocidades	63
3.3	Caracterização do Comportamento dos Condutores.....	78
3.3.1	Diferenças a Nível de Género.....	78
3.3.2	Teste <i>One-way</i> ANOVA para as Variáveis Comportamentais.....	79
3.3.3	Teste de Contraste para a variável V-75VIV150.....	80
3.3.4	Distância de Abrandamento	80
3.3.5	Velocidades	81
3.3.6	Modelos Log-Linear	85
3.3.7	Acelerações Horizontais.....	87
3.3.8	Passagem na Lomba.....	89
3.3.9	Emissões de CO ₂	91
3.4	Relações entre Variáveis Dinâmicas, Características da Via e Enquadramento Rodoviário	92

3.4.1	Tipologia da Lomba.....	92
3.4.2	Altura da Lomba.....	93
3.4.3	Comprimento da Lomba	93
3.4.4	Existência de Passeio	94
3.4.5	Largura da Faixa de Rodagem	95
3.4.6	Visibilidade/Distância Livre à Entrada.....	95
3.4.7	Velocidade Máxima na Abordagem.....	95
3.4.8	Aceleração Vertical Máxima.....	95
3.5	Modelações	97
3.5.1	Modelo de Regressão da Variável VI, sem Condutores	97
3.5.2	Modelo de Regressão da Variável VI, com Condutores.....	101
3.5.3	Modelo de Regressão da Variável Avmax.....	104
3.5.4	Modelo de Regressão da Variável CO2tot.....	107
3.5.5	Modelo de Regressão da Velocidade – Modelo Base, com Condutores.....	111
3.5.6	Modelo de Regressão da Velocidade – Modelo Base	116
3.5.7	Modelo de Regressão da Velocidade – Modelo Simplificado.....	120
3.6	Avaliação do Desempenho Global das Lombas	124
3.6.1	Redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento	124

ÍNDICE DE FIGURAS DO ANEXO

Figura 1.1 – Circuito do Casal do Barril (Fonte: Google Earth e Google Maps).....	15
Figura 1.2 – Vista aérea da Lomba 1 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)....	16
Figura 1.3 – Lomba 1 do circuito de Casal do Barril (foto do autor).....	16
Figura 1.4 – Vista aérea da Lomba 2 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)....	17
Figura 1.5 – Lomba 2 do circuito de Casal do Barril (foto do autor).....	17
Figura 1.6 – Vista aérea da Lomba 3 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)....	18
Figura 1.7 – Lomba 3 do circuito de Casal do Barril (foto do autor).....	18
Figura 1.8 – Vista aérea da Lomba 4 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)....	19
Figura 1.9 – Lomba 4 do circuito de Casal do Barril (foto do autor).....	19
Figura 1.10 – Circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth e Google Maps).....	20
Figura 1.11 – Vista aérea da Lomba 1 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	21
Figura 1.12 – Lomba 1 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	21
Figura 1.13 – Vista aérea da Lomba 2 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	22
Figura 1.14 – Lomba 2 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	22
Figura 1.15 – Vista aérea da Lomba 3 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	23
Figura 1.16 – Lomba 3 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	23
Figura 1.17 – Vista aérea da Lomba 4 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	24
Figura 1.18 – Lomba 4 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	24
Figura 1.19 – Vista aérea da Lomba 5 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	25
Figura 1.20 – Lomba 5 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	25
Figura 1.21 – Vista aérea da Lomba 6 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	26
Figura 1.22 – Lomba 6 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	26
Figura 1.23 – Vista aérea da Lomba 7 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)....	27
Figura 1.24 – Lomba 7 do circuito de Porto de Mós (foto do autor).....	27
Figura 1.25 – Circuito da N110 (Fonte: Google Earth e Google Maps).....	28
Figura 1.26 – Vista aérea da Lomba 1 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth).....	29
Figura 1.27 – Lomba 1 do circuito da N110 (foto do autor).....	29
Figura 1.28 – Vista aérea da Lomba 2 do Circuito da N110 (Fonte: Google Earth).....	30
Figura 1.29 – Lomba 2 do circuito da N110 (foto do autor).....	30
Figura 1.30 – Vista aérea da Lomba 3 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth).....	31
Figura 1.31 – Lomba 3 do circuito da N110 (foto do autor).....	31
Figura 1.32 – Vista aérea da Lomba 4 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth).....	32
Figura 1.33 – Lomba 4 do circuito da N110 (foto do autor).....	32
Figura 1.34 – Vista aérea da Lomba 5 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth).....	33
Figura 1.35 – Lomba 5 do circuito da N110 (foto do autor).....	33
Figura 1.36 – Vista aérea da Lomba 6 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth).....	34
Figura 1.37 – Lomba 6 do circuito da N110 (foto do autor).....	34
Figura 3.1 – Gráficos de caracterização estatística do número de passagens segundo a altura da lomba.....	52
Figura 3.2 – Gráficos de caracterização estatística do número de passagens segundo o comprimento da lomba.....	54
Figura 3.3 – Gráficos de caracterização estatística do número de passagens segundo a largura da faixa de rodagem.....	56
Figura 3.4 – Gráficos de caracterização estatística do número de passagens segundo a visibilidade/distância livre à entrada.....	59
Figura 3.5 – Gráficos de caracterização estatística do número de passagens segundo a visibilidade/distância livre à saída.....	61

Figura 3.6 – Gráficos de caracterização estatística do número de passagens segundo a visibilidade/distância livre à saída	62
Figura 3.7 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade máxima na abordagem à lombra (Vmax)	63
Figura 3.8 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade a 75 m da lombra (V-75)	64
Figura 3.9 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade a 50 m da lombra (V-50)	65
Figura 3.10 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade a 25 m da lombra (V-25) ..	66
Figura 3.11 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade na lombra (VI).....	67
Figura 3.12 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 25 m após a lombra (V25)	68
Figura 3.13 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 50 m após a lombra (V25)	69
Figura 3.14 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 75 m após a lombra (V75)	70
Figura 3.15 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 100 m após a lombra (V100)	71
Figura 3.16 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 125 m após a lombra (V125)	72
Figura 3.17 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 150 m após a lombra (V150)	73
Figura 3.18 – Gráficos de caracterização estatística da aceleração horizontal anterior à lombra (Ahent).....	74
Figura 3.19 – Gráficos de caracterização estatística da aceleração horizontal à saída da lombra (Ahsai)	75
Figura 3.20 – Gráficos de caracterização estatística da aceleração vertical máxima na lombra (Avmax).....	76
Figura 3.21 – Gráficos de caracterização estatística do <i>Pitch</i> (Pitch)	77
Figura 3.22 – Caixas de bigodes da variável Vmax por condutor (a) e geral (b).....	82
Figura 3.23 – Caixas de bigodes da variável V-75 por condutor (a) e geral (b).....	83
Figura 3.24 – Caixas de bigodes da variável V150 por condutor (a) e geral (b)	84
Figura 3.25 – Caixas de bigodes da variável Ahent por condutor (a) e geral (b).....	87
Figura 3.26 – Caixas de bigodes da variável Ahsai por condutor (a) e geral (b)	88
Figura 3.27 – Caixas de bigodes da variável <i>Pitch</i> por condutor (a) e geral (b)	91
Figura 3.28 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados do modelo VI , sem condutores	100
Figura 3.29 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo VI , sem condutores	100
Figura 3.28 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados, com condutores	104
Figura 3.29 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo VI , com condutores	104
Figura 3.30 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados do modelo de regressão Avmax	106
Figura 3.31 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo Avmax	107
Figura 3.32 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> dos resíduos estandardizados do modelo de regressão CO2tot	109
Figura 3.33 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo CO2tot	110
Figura 3.34 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> da regressão do modelo Base, com condutores	115
Figura 3.35 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo Base, com condutores	115
Figura 3.34 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> da regressão do modelo Base de velocidade...	119

Figura 3.35 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo Base de velocidade	119
Figura 3.36 – Histograma e <i>normal P-P plot</i> da regressão do modelo Simplificado de velocidade	123
Figura 3.37 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo B de velocidade	123
Figura 3.38 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento (h=5 cm)	124
Figura 3.39 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento (h=7,5 cm)	124
Figura 3.40 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento (h=10 cm)	124

ÍNDICE DE QUADROS DO ANEXO

Quadro 1.1 – Características das Lombas do circuito de Casal do Barril (dimensões em metro)	15
Quadro 1.2 – Características da Lomba 1 de Casal do Barril	16
Quadro 1.3 – Características da Lomba 3 de Casal do Barril	17
Quadro 1.4 – Características da Lomba 3 de Casal do Barril	18
Quadro 1.5 – Características da Lomba 4 de Casal do Barril	19
Quadro 1.6 – Características das Lombas do circuito de Porto de Mós (dimensões em metro)	20
Quadro 1.7 – Características da Lomba 1 do circuito de Porto de Mós	21
Quadro 1.8 – Características da Lomba 2 do circuito de Porto de Mós	22
Quadro 1.9 – Características da Lomba 3 do circuito de Porto de Mós	23
Quadro 1.10 – Características da Lomba 4 do circuito de Porto de Mós	24
Quadro 1.11 – Características da Lomba 5 do circuito de Porto de Mós	25
Quadro 1.12 – Características da Lomba 6 do circuito de Porto de Mós	26
Quadro 1.13 – Características da Lomba 7 do circuito de Porto de Mós	27
Quadro 1.14 – Características das Lombas do circuito da N110 (dimensões em metro)	28
Quadro 1.15 – Características da Lomba 1 do circuito da N110	29
Quadro 1.16 – Características da Lomba 2 do circuito da N110	30
Quadro 1.17 – Características da Lomba 3 do circuito da N110	31
Quadro 1.18 – Características da Lomba 4 do circuito da N110	32
Quadro 1.19 – Características da Lomba 5 do circuito da N110	33
Quadro 1.20 – Características da Lomba 6 do circuito da N110	34
Quadro 3.1 – Número de passagens válidas por condutor em cada lomba	49
Quadro 3.2 – Número de passagens por lomba e género	50
Quadro 3.3 – Número de passagens em função da altura da lomba e local	51
Quadro 3.4 – Diagrama do caule e folhas do número de passagens segundo a altura da lomba	52
Quadro 3.5 – Número de passagens em função do comprimento da lomba e local	53
Quadro 3.6 – Diagrama do caule e folhas do número de passagens segundo o comprimento da lomba	54
Quadro 3.7 – Número de passagens em função da largura da faixa de rodagem e local	55
Quadro 3.8 – Diagrama do caule e folhas do número de passagens segundo o comprimento da lomba	56
Quadro 3.9 – Número de passagens em função da existência de passeio e local	57
Quadro 3.10 – Número de passagens em função da visibilidade/distância livre à entrada e local	58
Quadro 3.11 – Diagrama do caule e folhas do número de passagens segundo a visibilidade/distância livre à entrada	59
Quadro 3.12 – Número de passagens em função da visibilidade/distância livre à saída e local	60
Quadro 3.13 – Diagrama do caule e folhas do número de passagens segundo a visibilidade/distância livre à saída	61
Quadro 3.14 – Diagrama do caule e folhas do número de passagens segundo a visibilidade/distância livre à saída	62
Quadro 3.15 – Diagrama do caule e folhas da velocidade máxima na abordagem à lomba (V_{max})	63
Quadro 3.16 – Diagrama do caule e folhas da velocidade a 75 m da lomba (V-75)	64
Quadro 3.17 – Diagrama do caule e folhas da velocidade a 50 m da lomba (V-50)	65

Quadro 3.18 – Diagrama do caule e folhas da velocidade a 25 m da lomba (V-25)	66
Quadro 3.19 – Diagrama do caule e folhas da velocidade na lomba (VI)	67
Quadro 3.20 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 25 m após a lomba (V25)	68
Quadro 3.21 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 50 m após a lomba (V50)	69
Quadro 3.22 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 75 m após a lomba (V75)	70
Quadro 3.23 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 100 m após a lomba (V100).....	71
Quadro 3.24 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 125 m após a lomba (V125).....	72
Quadro 3.25 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 150 m após a lomba (V150).....	73
Quadro 3.26 – Diagrama do caule e folhas da aceleração horizontal anterior à lomba (Ahent)	74
Quadro 3.27 – Diagrama do caule e folhas da aceleração horizontal à saída da lomba (Ahsai)	75
Quadro 3.28 – Diagrama do caule e folhas da aceleração vertical máxima na lomba (Avmax)	76
Quadro 3.29 – Diagrama do caule e folhas do <i>Pitch</i> (Pitch).....	77
Quadro 3.30 – Resultados da análise <i>t-test</i> para as diferenças de comportamento entre condutores e condutoras.....	78
Quadro 3.31 – Resultados do teste de <i>Levene</i> para avaliação da homogeneidade das variâncias	79
Quadro 3.32 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a análise comportamental dos condutores	79
Quadro 3.33 – Resumo dos resultados do teste <i>One-Way</i> ANOVA efectuado para a variável V-75VIV150	80
Quadro 3.34 – Contrastes utilizados para a variável V-75VIV150	80
Quadro 3.35 – Resultados do teste de contrastes efectuado para a variável V-75VIV150	80
Quadro 3.36 – Caracterização estatística da variável Dabr por condutor, Condutores 1 a 9... 80	
Quadro 3.37 – Caracterização estatística da variável Dabr por condutor, Condutores 10 a 18	81
Quadro 3.38 – Caracterização estatística da variável Vmax por condutor, Condutores 1 a 9. 81	
Quadro 3.39 – Caracterização estatística da variável Vmax por condutor, Condutores 10 a 18	81
Quadro 3.40 – Caracterização estatística da variável V-75 por condutor, Condutores 1 a 9... 82	
Quadro 3.41 – Caracterização estatística da variável V-75 por condutor, Condutores 10 a 18... 82	
Quadro 3.42 – Caracterização estatística da variável VI por condutor, Condutores 1 a 9..... 83	
Quadro 3.43 – Caracterização estatística da variável VI por condutor, Condutores 10 a 18... 83	
Quadro 3.44 – Caracterização estatística da variável V150 por condutor, Condutores 1 a 9... 84	
Quadro 3.45 – Caracterização estatística da variável V150 por condutor, Condutores 10 a 18	84
Quadro 3.46 – Caracterização estatística da variável V-75VIV150 por condutor, Condutores 1 a 9.....	85
Quadro 3.47 – Caracterização estatística da variável V-75VIV150 por condutor, Condutores 10 a 18.....	85
Quadro 3.48 – Valores esperados e observados para as variáveis CO2totR e VmaxR	85
Quadro 3.49 – Valores esperados e observados para as variáveis CO2totR e VmaxR	86
Quadro 3.50 – Valores esperados e observados para as variáveis CO2totR e V150R	86
Quadro 3.51 – Valores esperados e observados para as variáveis CO2totR e AhsaiR	86
Quadro 3.52 – Caracterização estatística da variável Ahent por condutor, Condutores 1 a 9. 87	
Quadro 3.53 – Caracterização estatística da variável Ahent por condutor, Condutores 10 a 18	87
Quadro 3.54 – Caracterização estatística da variável Ahsai por condutor, Condutores 1 a 9.. 88	

Quadro 3.55 – Caracterização estatística da variável Ahsai por condutor, Condutores 10 a 18	88
Quadro 3.56 – Caracterização estatística da variável AhentAhsai por condutor, Condutores 1 a 9	89
Quadro 3.57 – Caracterização estatística da variável AhentAhsai por condutor, Condutores 10 a 18	89
Quadro 3.58 – Caracterização estatística da variável Avmax por condutor, Condutores 1 a 989	
Quadro 3.59 – Caracterização estatística da variável Avmax por condutor, Condutores 10 a 18	90
Quadro 3.60 – Caracterização estatística da variável Pitch por condutor, Condutores 1 a 9	90
Quadro 3.61 – Caracterização estatística da variável Pitch por condutor, Condutores 10 a 1890	
Quadro 3.62 – Caracterização estatística da variável CO2tot por condutor, Condutores 1 a 991	
Quadro 3.63 – Caracterização estatística da variável CO2tot por condutor, Condutores 10 a 18	91
Quadro 3.64 – Caixas de bigodes da variável CO2tot por condutor (a) e geral (b)	92
Quadro 3.65 – Caracterização da velocidade na lomba sua tipologia	92
Quadro 3.66 – Análise <i>t-test</i> para as diferenças na VI segundo o tipo de lomba	93
Quadro 3.67 – Variação da variável VI em função da variável h	93
Quadro 3.68 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a VI em função de h	93
Quadro 3.69 – Variação da variável VI em função da variável lt	93
Quadro 3.70 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a VI em função de lt	94
Quadro 3.71 – Caracterização da velocidade na lomba sua a existência de passeio	94
Quadro 3.72 – Análise <i>t-test</i> para as diferenças na VI segundo a existência de passeio	94
Quadro 3.73 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a VI em função de lfr	95
Quadro 3.74 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a VI em função de Visent	95
Quadro 3.75 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a VI em função de Vmax	95
Quadro 3.76 – Caracterização da aceleração vertical máxima segundo o tipo de lomba	95
Quadro 3.77 – Análise <i>t-test</i> para as diferenças na Avmax segundo o tipo de lomba	96
Quadro 3.78 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a Avmax em função de h	96
Quadro 3.79 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a Avmax em função de lt	96
Quadro 3.80 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a Avmax em função de VI	96
Quadro 3.81 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a variável CO2ent em função de Vmax	96
Quadro 3.82 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a variável CO2sai em função de Ahsai	96
Quadro 3.83 – Resultados do teste <i>One-way</i> ANOVA para a variável CO2sai em função de V150	97
Quadro 3.84 – Correlações das variáveis do modelo VI , sem condutores	97
Quadro 3.85 – Resumo das características do modelo de regressão VI , sem condutores	97
Quadro 3.86 – Análise <i>ANOVA</i> do modelo VI , sem condutores	98
Quadro 3.87 – Coeficientes de regressão do modelo VI , sem condutores	98
Quadro 3.88 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão VI , sem condutores	99
Quadro 3.89 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão VI , sem condutores	99
Quadro 3.90 – Teste do <i>t-Student</i> aplicado à média observada e calculada da VI por lomba	100
Quadro 3.91 – Correlações das variáveis do modelo VI , com condutores	101
Quadro 3.92 – Resumo das características do modelo de regressão VI , com condutores	101
Quadro 3.93 – Análise <i>ANOVA</i> do modelo VI , com condutores	102
Quadro 3.94 – Coeficientes de regressão do modelo VI , com condutores	102
Quadro 3.95 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão VI , com condutores	103
Quadro 3.96 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão VI , com condutores	103

Quadro 3.97 – Correlações das variáveis do modelo Avmax	104
Quadro 3.98 – Resumo das características do modelo de regressão Avmax	105
Quadro 3.99 – Análise <i>ANOVA</i> do modelo de regressão Avmax	105
Quadro 3.100 – Coeficientes de regressão do modelo Avmax	105
Quadro 3.101 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão Avmax	106
Quadro 3.102 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão Avmax	106
Quadro 3.103 – Correlações das variáveis do modelo CO2tot	107
Quadro 3.104 – Resumo das características do modelo de regressão CO2tot	107
Quadro 3.105 – Análise <i>ANOVA</i> do modelo de regressão CO2tot	108
Quadro 3.106 – Coeficientes de regressão do modelo CO2tot	108
Quadro 3.107 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão CO2tot	109
Quadro 3.108 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão CO2tot	109
Quadro 3.109 – Teste do <i>t-Student</i> aplicado à média observada e calculada da VI por lombo	110
Quadro 3.110 – Correlações das variáveis do modelo de velocidade Base, com condutores	111
Quadro 3.111 – Resumo das características do modelo Base, com condutores	112
Quadro 3.112 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo Base, com condutores.....	112
Quadro 3.113 – Coeficientes de regressão do modelo Base, com condutores	113
Quadro 3.114 – Diagnostico de colinearidade do modelo Base, com condutores.....	114
Quadro 3.115 – Estatísticas dos resíduos do modelo Base, com condutores	115
Quadro 3.116 – Correlações das variáveis do modelo de velocidade Base.....	116
Quadro 3.117 – Resumo das características do modelo Base de regressão de velocidade ...	116
Quadro 3.118 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo Base de regressão de velocidade	116
Quadro 3.119 – Coeficientes de regressão do modelo Base de velocidade.....	117
Quadro 3.120 – Diagnostico de colinearidade do modelo Base de regressão de velocidade.	118
Quadro 3.121 – Estatísticas dos resíduos do modelo Base de regressão de velocidade	119
Quadro 3.122 – Correlações das variáveis do modelo Simplificado de velocidade	120
Quadro 3.123 – Resumo das características do modelo Simplificado de regressão de velocidade	120
Quadro 3.124 – Análise <i>ANOVA</i> ao modelo Simplificado de regressão de velocidade.....	120
Quadro 3.125 – Coeficientes de regressão do modelo Simplificado de velocidade	121
Quadro 3.126 – Diagnostico de colinearidade do modelo Simplificado de regressão de velocidade	122
Quadro 3.127 – Estatísticas dos resíduos do modelo Simplificado de regressão de velocidade	123

1. Lombas Analisadas

1.2 Casal do Barril

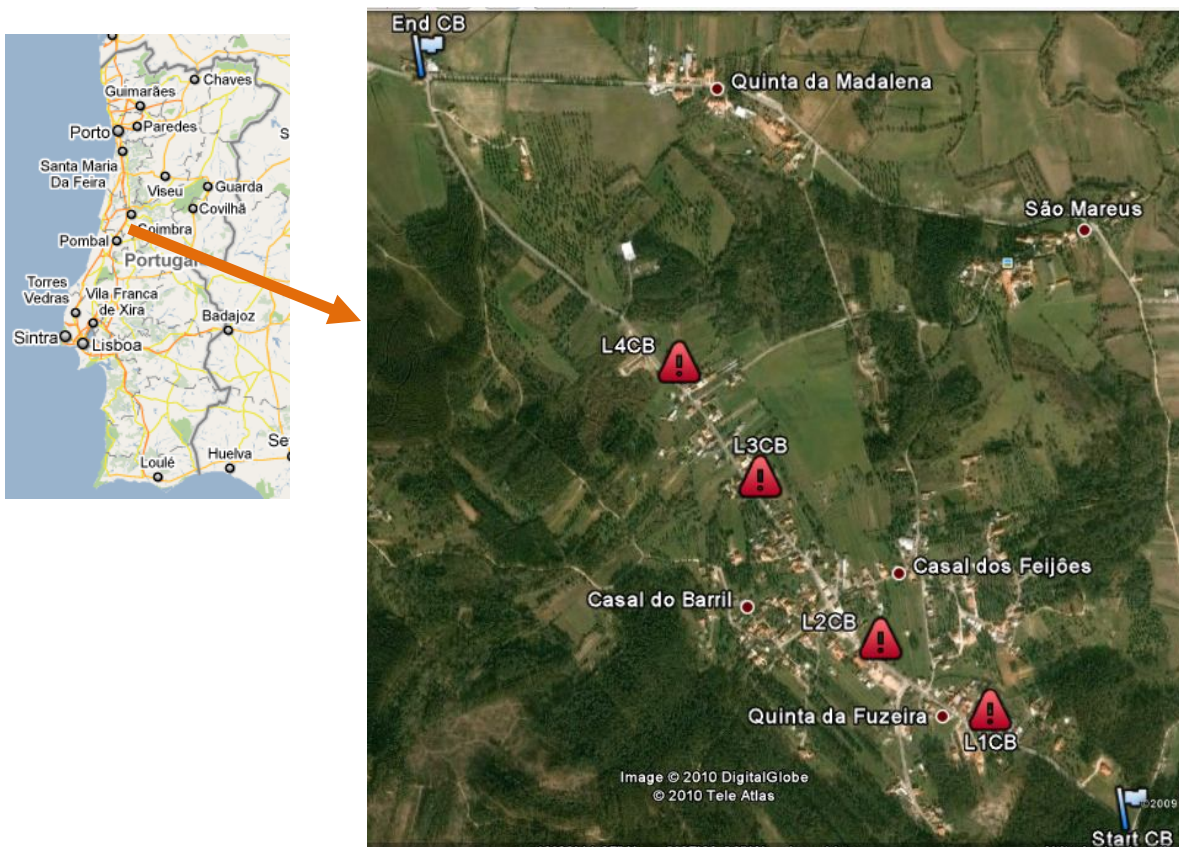


Figura 1.1 – Circuito do Casal do Barril (Fonte: Google Earth e Google Maps)

Localização: Cerca de 1,5 km de Soure na EM 589

Número de Lombas: 4

Tipologia: Lomba circular tipo “Watts”

Comprimento de uma volta completa: 4,6 km

Quadro 1.1 – Características das Lombas do circuito de Casal do Barril (dimensões em metro)

Local	Dimensões					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas		
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura da faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude	
	T	Re/Rs	It	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W	
Casal do Barril	L1aCB	0	Redonda	4,6	0,075	5,7	0	130	280	130	200	40°02'26	8°36'30
	L1bCB	0	Redonda	4,6	0,075	5,7	0	280	130	130	200	40°02'26	8°36'30
	L2aCB	0	Redonda	4,2	0,080	7,4	0	280	120	110	210	40°02'31	8°36'40
	L2bCB	0	Redonda	4,2	0,080	7,4	0	120	280	110	210	40°02'31	8°36'40
	L3aCB	0	Redonda	4,6	0,075	6,0	0	170	260	90	210	40°02'42	8°36'50
	L3bCB	0	Redonda	4,6	0,075	6,0	0	260	170	90	210	40°02'42	8°36'50
	L4aCB	0	Redonda	4,3	0,075	5,9	0	140	210	120	210	40°02'50	8°36'58
	L4bCB	0	Redonda	4,3	0,075	5,9	0	210	140	120	210	40°02'50	8°36'58

1.2.1 Lomba 1

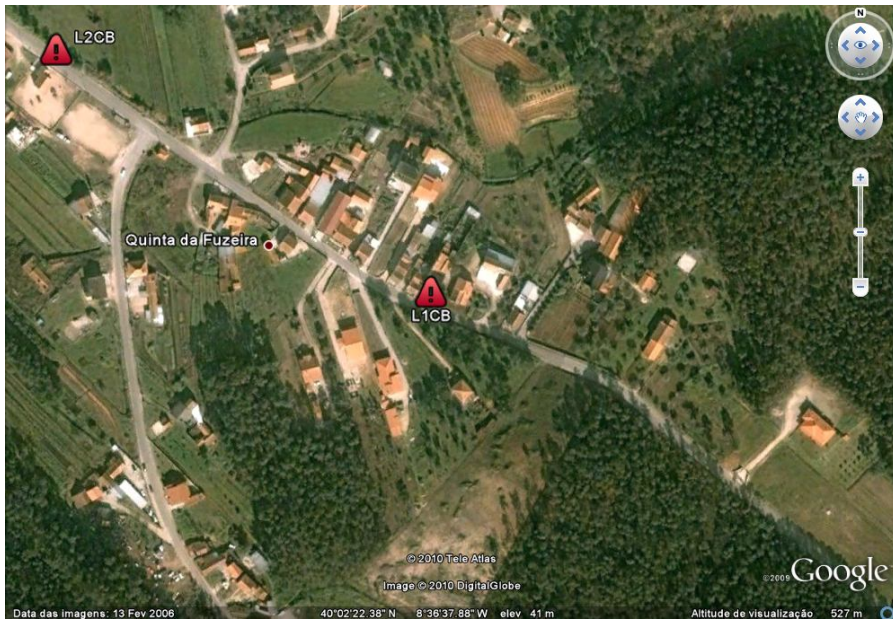


Figura 1.2 – Vista aérea da Lomba 1 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)



Figura 1.3 – Lomba 1 do circuito de Casal do Barril (foto do autor)

Quadro 1.2 – Características da Lomba 1 de Casal do Barril

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L1aCB	0	Redonda	4,6	0,075	5,7	0	130	280	130	200	40°02'26	8°36'30
L1bCB	0	Redonda	4,6	0,075	5,7	0	280	130	130	200	40°02'26	8°36'30

1.2.2 Lomba 2

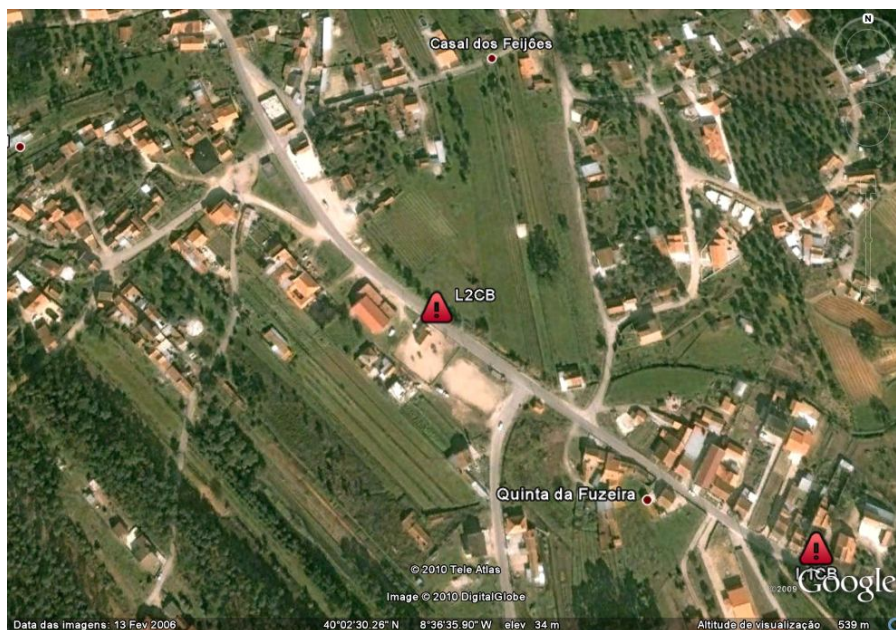


Figura 1.4 – Vista aérea da Lomba 2 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)



Figura 1.5 – Lomba 2 do circuito de Casal do Barril (foto do autor)

Quadro 1.3 – Características da Lomba 3 de Casal do Barril

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L2aCB	0	Redonda	4,2	0,080	7,4	0	280	120	110	210	40°02'31	8°36'40
L2bCB	0	Redonda	4,2	0,080	7,4	0	120	280	110	210	40°02'31	8°36'40

1.2.3 Lomba 3

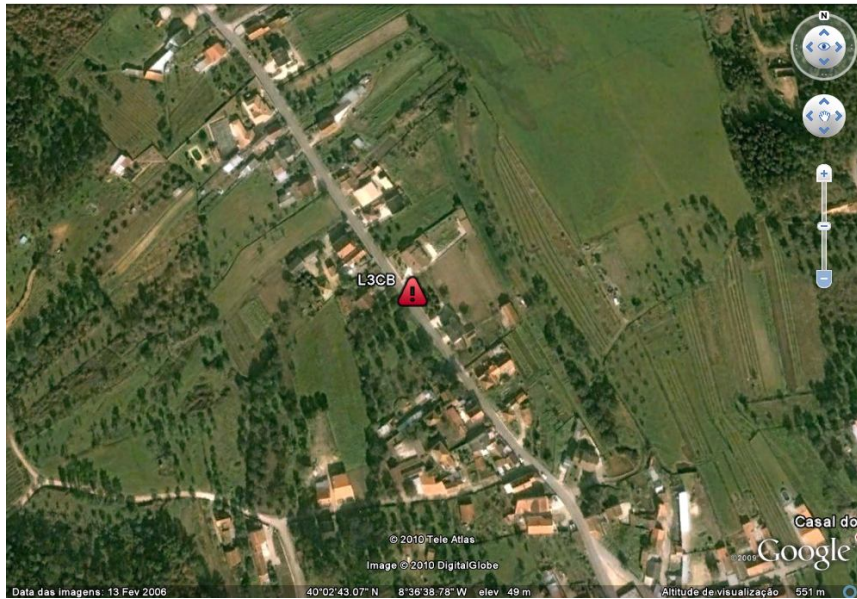


Figura 1.6 – Vista aérea da Lomba 3 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)



Figura 1.7 – Lomba 3 do circuito de Casal do Barril (foto do autor)

Quadro 1.4 – Características da Lomba 3 de Casal do Barril

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L3aCB	0	Redonda	4,6	0,075	6,0	0	170	260	90	210	40°02'42	8°36'50
L3bCB	0	Redonda	4,6	0,075	6,0	0	260	170	90	210	40°02'42	8°36'50

1.2.4 Lomba 4

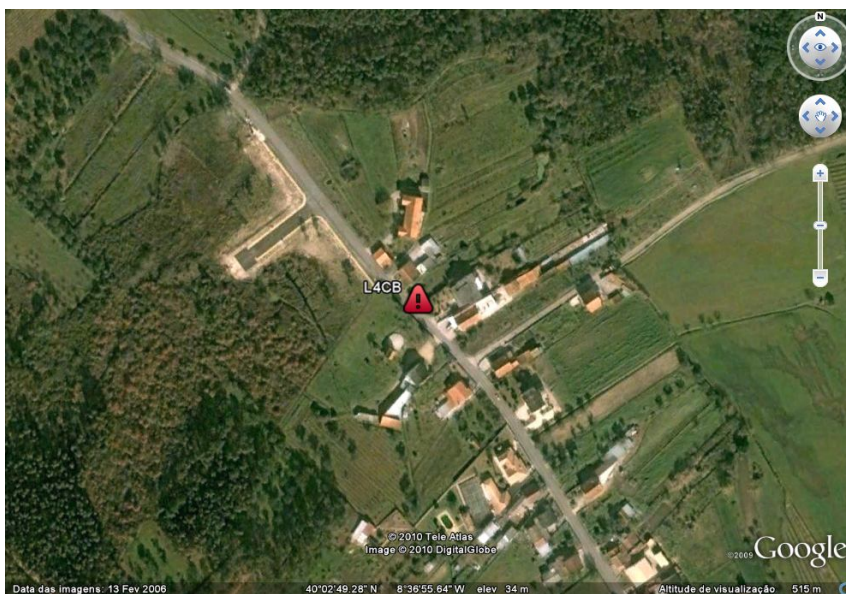


Figura 1.8 – Vista aérea da Lomba 4 do circuito de Casal do Barril (Fonte: Google Earth)



Figura 1.9 – Lomba 4 do circuito de Casal do Barril (foto do autor)

Quadro 1.5 – Características da Lomba 4 de Casal do Barril

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L4aCB	0	Redonda	4,3	0,075	5,9	0	140	210	120	210	40°02'50	8°36'58
L4bCB	0	Redonda	4,3	0,075	5,9	0	210	140	120	210	40°02'50	8°36'58

1.3 Porto de Mós

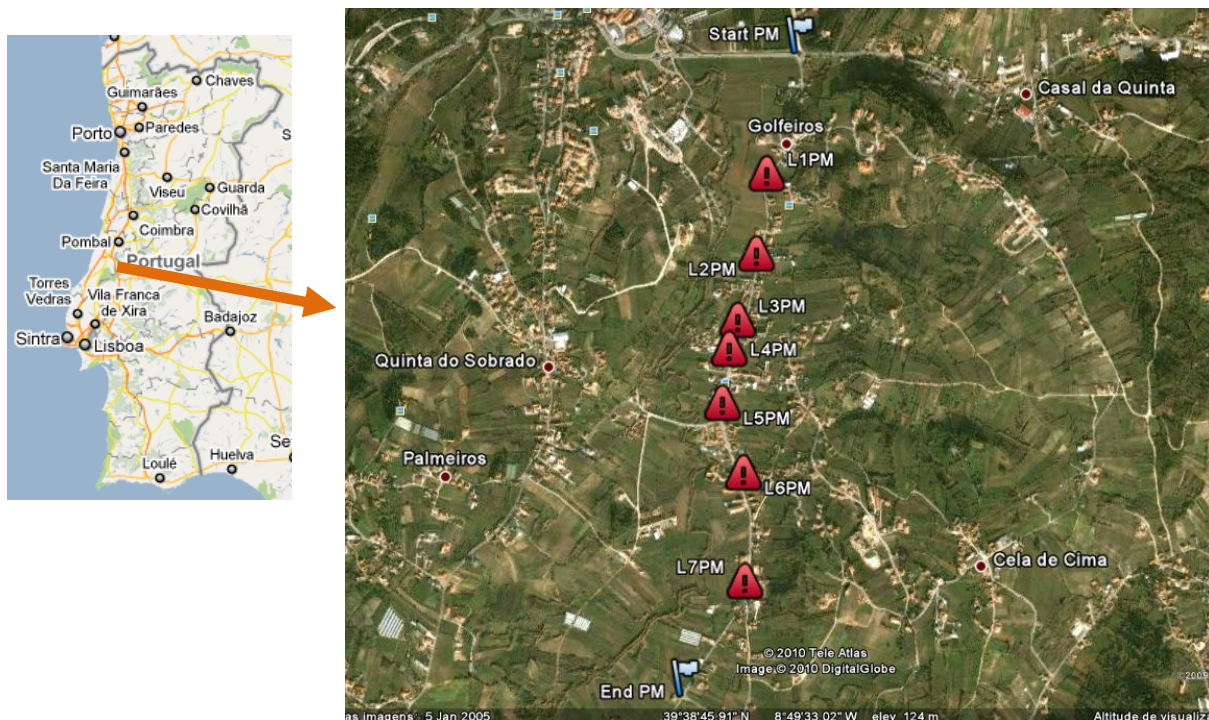


Figura 1.10 – Circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth e Google Maps)

Localização: Cerca de 5 km de Porto de Mós na EN362

Número de Lombas: 7

Tipologia: Lomba trapezoidal

Comprimento de uma volta completa: 5 km

Quadro 1.6 – Características das Lombas do circuito de Porto de Mós (dimensões em metro)

Local	Dimensões					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas		
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura da faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude	
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
Porto de Mós	L1aPM	1	1	6,8	0,07	6,8	0	60	120	140	200	39°39'03	8°49'01
	L1bPM	1	1	6,8	0,07	6,8	1	120	60	140	200	39°39'03	8°49'01
	L2aPM	1	1	6,6	0,07	6,6	0	170	190	130	200	39°38'54	8°49'03
	L2bPM	1	1	6,6	0,07	6,6	1	190	170	130	200	39°38'54	8°49'03
	L3aPM	1	1	7,3	0,09	7,3	0	80	100	110	180	39°38'46	8°49'06
	L3bPM	1	1	7,3	0,09	7,3	1	100	80	110	180	39°38'46	8°49'06
	L4aPM	1	1	6,9	0,08	6,9	0	100	120	90	150	39°38'43	8°49'07
	L4bPM	1	1	6,9	0,08	6,9	1	120	100	90	150	39°38'43	8°49'07
	L5aPM	1	1	7,1	0,09	7,1	0	100	250	120	220	39°38'37	8°49'08
	L5bPM	1	1	7,1	0,09	7,1	1	250	100	120	220	39°38'37	8°49'08
	L6aPM	1	1	6,4	0,1	6,4	0	260	90	130	240	39°38'29	8°49'05
	L6bPM	1	1	6,4	0,1	6,4	1	90	260	130	240	39°38'29	8°49'05
	L7aPM	1	1	6,3	0,08	6,3	0	50	380	150	300	39°38'16	8°49'05
	L7bPM	1	1	6,3	0,08	6,3	1	380	50	150	300	39°38'16	8°49'05

1.3.1 Lomba 1

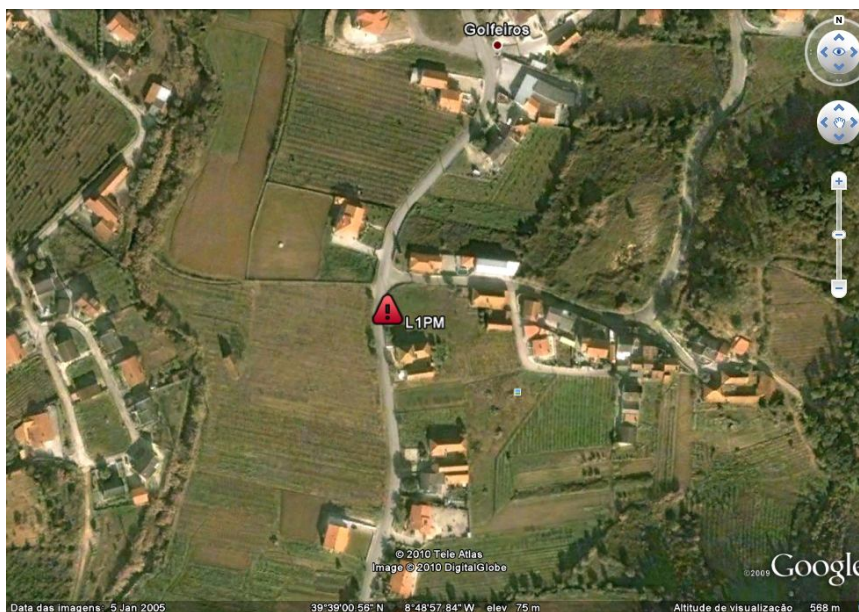


Figura 1.11 – Vista aérea da Lomba 1 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.12 – Lomba 1 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.7 – Características da Lomba 1 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L1aPM	1	1	6,8	0,07	6,8	0	60	120	140	200	39°39'03	8°49'01
L1bPM	1	1	6,8	0,07	6,8	1	120	60	140	200	39°39'03	8°49'01

1.3.2 Lomba 2

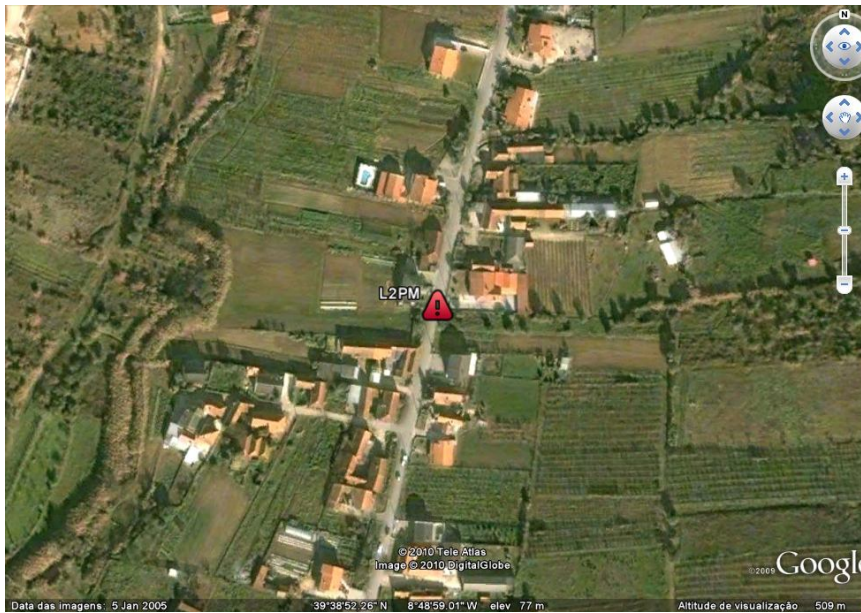


Figura 1.13 – Vista aérea da Lomba 2 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.14 – Lomba 2 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.8 – Características da Lomba 2 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L2aPM	1	1	6,6	0,07	6,6	0	170	190	130	200	39°38'54	8°49'03
L2bPM	1	1	6,6	0,07	6,6	1	190	170	130	200	39°38'54	8°49'03

1.3.3 Lomba 3

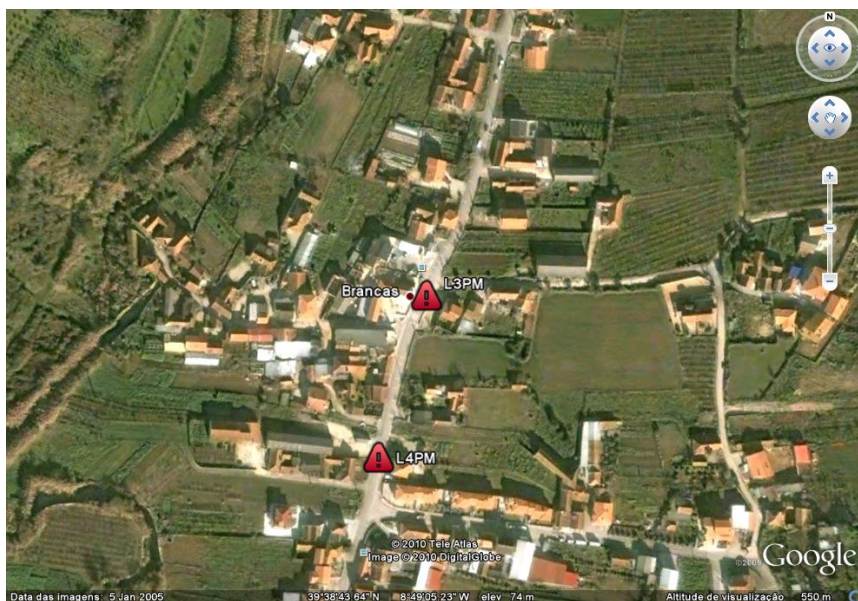


Figura 1.15 – Vista aérea da Lomba 3 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.16 – Lomba 3 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.9 – Características da Lomba 3 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L3aPM	1	1	7,3	0,09	7,3	0	80	100	110	180	39°38'46	8°49'06
L3bPM	1	1	7,3	0,09	7,3	1	100	80	110	180	39°38'46	8°49'06

1.3.4 Lomba 4



Figura 1.17 – Vista aérea da Lomba 4 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.18 – Lomba 4 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.10 – Características da Lomba 4 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L4aPM	1	1	6,9	0,08	6,9	0	100	120	90	150	39°38'43	8°49'07
L4bPM	1	1	6,9	0,08	6,9	1	120	100	90	150	39°38'43	8°49'07

1.3.5 Lomba 5



Figura 1.19 – Vista aérea da Lomba 5 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.20 – Lomba 5 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.11 – Características da Lomba 5 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L5aPM	1	1	7,1	0,09	7,1	0	100	250	120	220	39°38'37	8°49'08
L5bPM	1	1	7,1	0,09	7,1	1	250	100	120	220	39°38'37	8°49'08

1.3.6 Lomba 6



Figura 1.21 – Vista aérea da Lomba 6 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.22 – Lomba 6 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.12 – Características da Lomba 6 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L6aPM	1	1	6,4	0,1	6,4	0	260	90	130	240	39°38'29	8°49'05
L6bPM	1	1	6,4	0,1	6,4	1	90	260	130	240	39°38'29	8°49'05

1.3.7 Lomba 7



Figura 1.23 – Vista aérea da Lomba 7 do circuito de Porto de Mós (Fonte: Google Earth)



Figura 1.24 – Lomba 7 do circuito de Porto de Mós (foto do autor)

Quadro 1.13 – Características da Lomba 7 do circuito de Porto de Mós

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L7aPM	1	1	6,3	0,08	6,3	0	50	380	150	300	39°38'16	8°49'05
L7bPM	1	1	6,3	0,08	6,3	1	380	50	150	300	39°38'16	8°49'05

1.4 N110

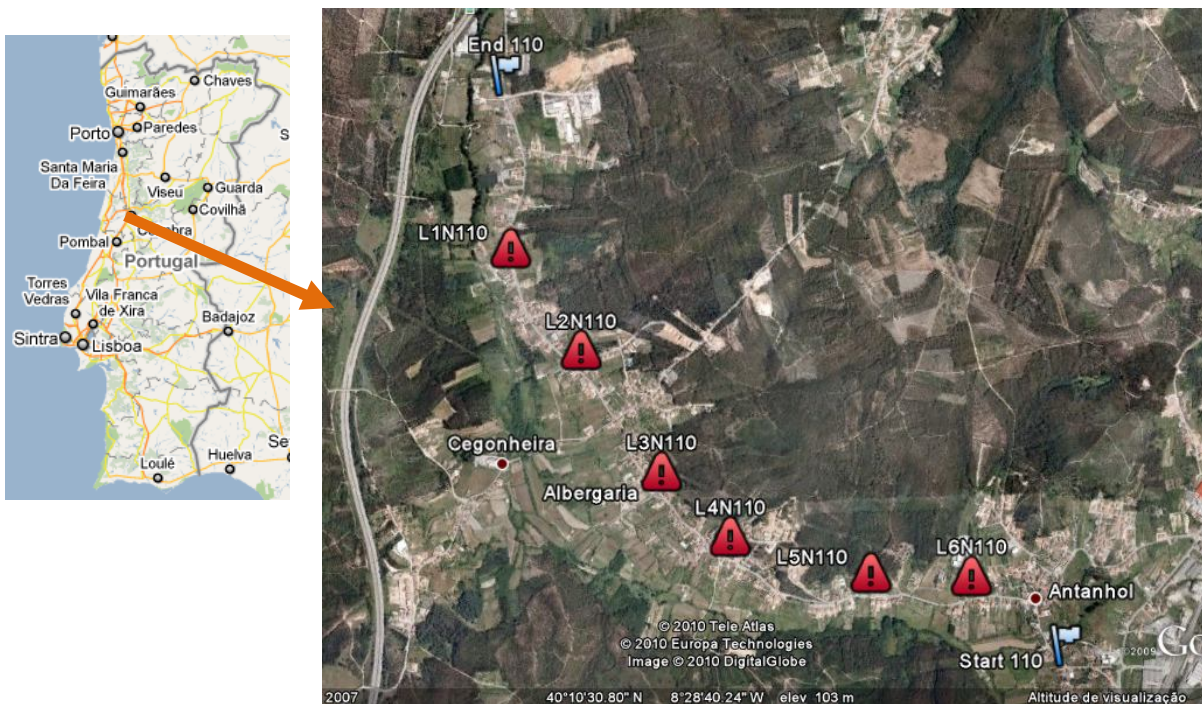


Figura 1.25 – Circuito da N110 (Fonte: Google Earth e Google Maps)

Localização: Cerca de 5 km de Coimbra na EN110

Número de Lombas: 6

Tipologia: Lomba trapezoidal

Comprimento de uma volta completa: 8 km

Quadro 1.14 – Características das Lombas do circuito da N110 (dimensões em metro)

Local	Dimensões					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas		
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura da faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude	
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W	
N110	L1a110	1	1	6,0	0,060	7,5	1	200	220	170	250	40°10'45	8°29'14
	L1b110	1	1	6,0	0,060	7,5	1	220	200	170	250	40°10'45	8°29'14
	L2a110	1	1	6,7	0,060	6,0	1	280	110	160	250	40°10'32	8°29'03
	L2b110	1	1	6,7	0,060	6,0	1	110	280	160	250	40°10'32	8°29'03
	L3a110	1	1	6,0	0,050	5,9	1	200	140	100	230	40°10'17	8°28'50
	L3b110	1	1	6,0	0,050	5,9	1	140	200	100	230	40°10'17	8°28'50
	L4a110	1	1	5,7	0,065	5,5	1	100	140	120	230	40°10'09	8°28'39
	L4b110	1	1	5,7	0,065	5,5	1	140	100	120	230	40°10'09	8°28'39
	L5a110	1	1	11,4	0,070	6,2	1	80	120	120	150	40°10'04	8°28'16
	L5b110	1	1	11,4	0,070	6,2	1	120	80	120	150	40°10'04	8°28'16
	L6a110	1	1	7,6	0,060	6,0	1	100	100	130	200	40°10'03	8°27'59
	L6b110	1	1	7,6	0,060	6,0	1	100	100	130	200	40°10'03	8°27'59

1.4.1 Lomba 1



Figura 1.26 – Vista aérea da Lomba 1 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth)



Figura 1.27 – Lomba 1 do circuito da N110 (foto do autor)

Quadro 1.15 – Características da Lomba 1 do circuito da N110

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L1a110	1	1	6,0	0,060	7,5	1	200	220	170	250	40°10'45	8°29'14
L1b110	1	1	6,0	0,060	7,5	1	220	200	170	250	40°10'45	8°29'14

1.4.2 Lomba 2



Figura 1.28 – Vista aérea da Lomba 2 do Circuito da N110 (Fonte: Google Earth)



Figura 1.29 – Lomba 2 do circuito da N110 (foto do autor)

Quadro 1.16 – Características da Lomba 2 do circuito da N110

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L2a110	1	1	6,7	0,060	6,0	1	280	110	160	250	40°10'32	8°29'03
L2b110	1	1	6,7	0,060	6,0	1	110	280	160	250	40°10'32	8°29'03

1.4.3 Lomba 3

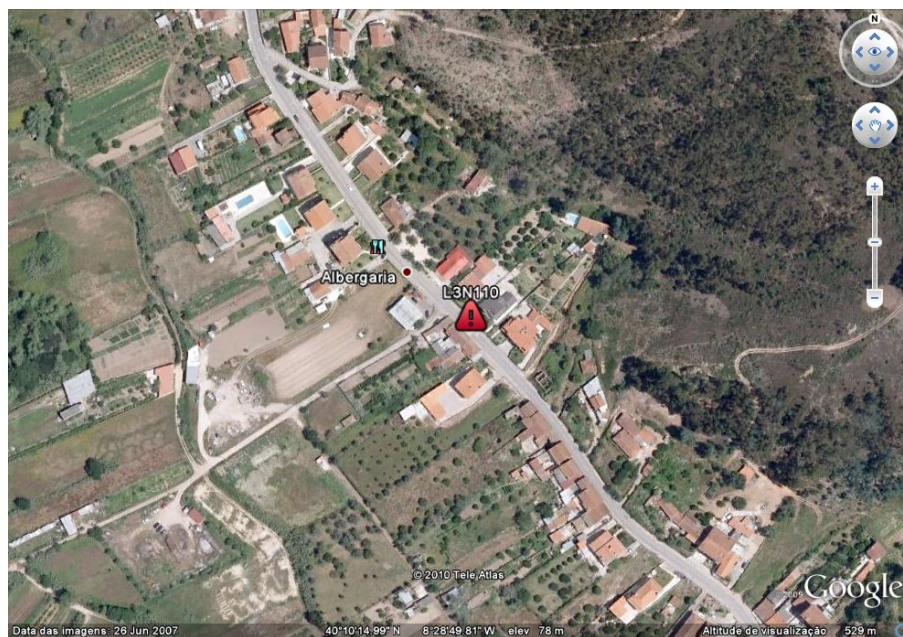


Figura 1.30 – Vista aérea da Lomba 3 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth)



Figura 1.31 – Lomba 3 do circuito da N110 (foto do autor)

Quadro 1.17 – Características da Lomba 3 do circuito da N110

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L3a110	1	1	6,0	0,050	5,9	1	200	140	100	230	40°10'17	8°28'50
L3b110	1	1	6,0	0,050	5,9	1	140	200	100	230	40°10'17	8°28'50

1.4.4 Lomba 4



Figura 1.32 – Vista aérea da Lomba 4 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth)



Figura 1.33 – Lomba 4 do circuito da N110 (foto do autor)

Quadro 1.18 – Características da Lomba 4 do circuito da N110

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L4a110	1	1	5,7	0,065	5,5	1	100	140	120	230	40°10'09	8°28'39
L4b110	1	1	5,7	0,065	5,5	1	140	100	120	230	40°10'09	8°28'39

1.4.5 Lomba 5

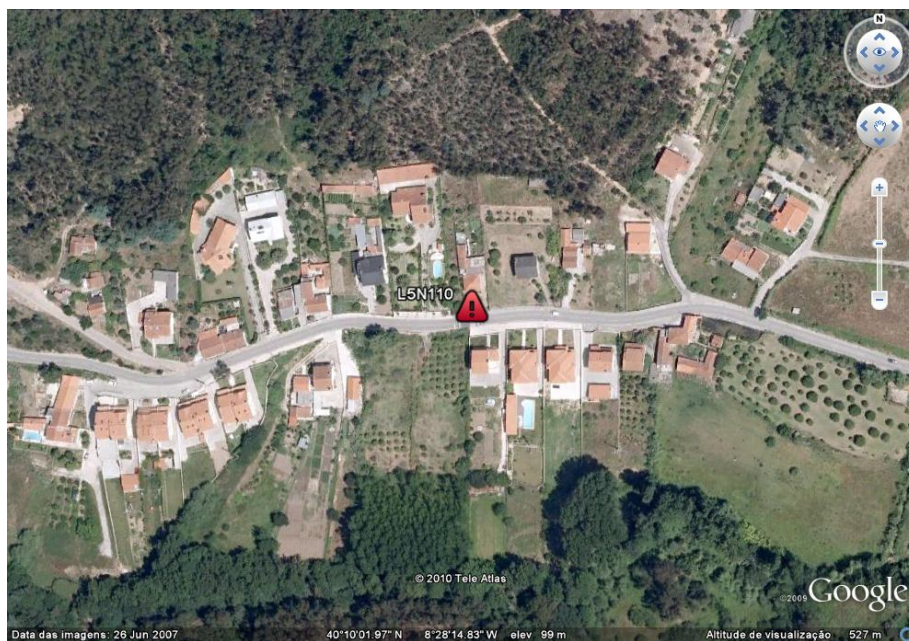


Figura 1.34 – Vista aérea da Lomba 5 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth)



Figura 1.35 – Lomba 5 do circuito da N110 (foto do autor)

Quadro 1.19 – Características da Lomba 5 do circuito da N110

Nome	Dimensões (m)					Passeio P	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		Visent	Vissai	Sent	Ssai	N	W
L5a110	1	1	11,4	0,070	6,2	1	80	120	120	150	40°10'04	8°28'16
L5b110	1	1	11,4	0,070	6,2	1	120	80	120	150	40°10'04	8°28'16

1.4.6 Lomba 6

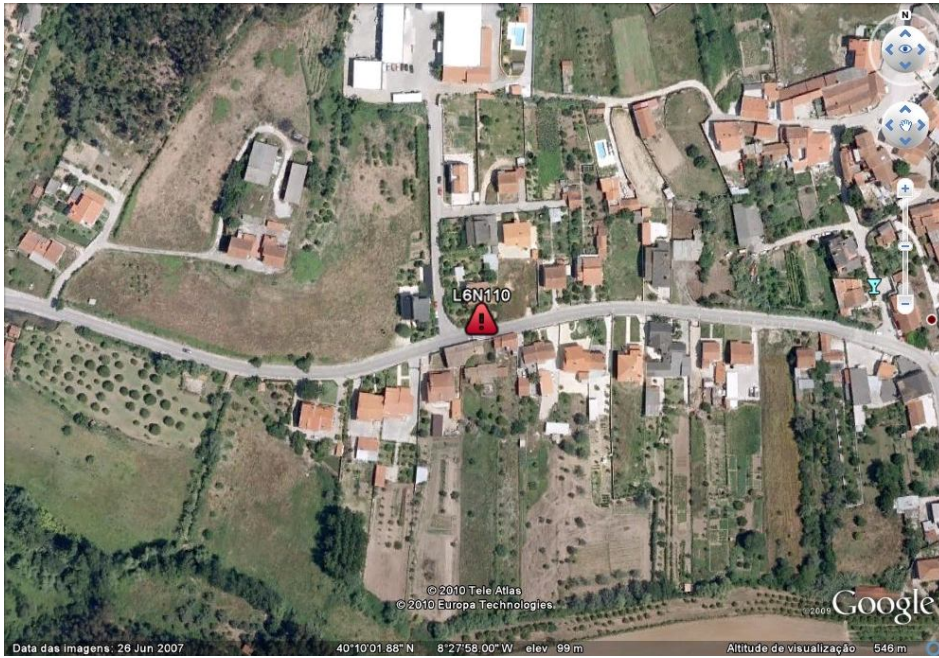


Figura 1.36 – Vista aérea da Lomba 6 do circuito da N110 (Fonte: Google Earth)



Figura 1.37 – Lomba 6 do circuito da N110 (foto do autor)

Quadro 1.20 – Características da Lomba 6 do circuito da N110

Nome	Dimensões (m)					Passeio	Visibilidade/ Distância Livre		Espaço Considerado		Coordenadas	
	Tipo	Rampa	Comprimento total	Altura	Largura faixa de rodagem		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Latitude	Longitude
	T	Re/Rs	lt	h	lfr		P	Visent	Vissai	Sent	Ssai	N
L6a110	1	1	7,6	0,060	6,0	1	100	100	130	200	40°10'03	8°27'59
L6b110	1	1	7,6	0,060	6,0	1	100	100	130	200	40°10'03	8°27'59

2. Programação em *Visual Basic for Applications*

2.1 Código Desenvolvido

```

Public Sub TrackvisionOUTmenu()

    If Application.Workbooks.Count = 0 Then
        MsgBox "Abra um livro com a folha Trackvision que deseja converter para .csv"
        Exit Sub
    ElseIf ExisteFolha("Trackvision") = False Then
        MsgBox "Não existe folha Trackvision. Corra a macro 4."
        Exit Sub
    End If

    ExportarTrackvision.Show

End Sub
Public Sub TrackvisionOUT()

    Dim sh
    Dim nomeFicheiro

    For Each sh In ActiveWorkbook.Sheets

        If Left(sh.Name, Len("Trackvision")) = "Trackvision" Then

            If sh.Cells.SpecialCells(xlCellTypeLastCell).Address(rowabsolute:=False, columnabsolute:=False) = "A1" Or
            Application.WorksheetFunction.CountBlank(Cells(1, 1)) = 1 Then

                MsgBox "Folha " & sh.Name & " está vazia."
                Exit Sub

                ' Se já concatenou os valores não volta a concatenar
                ElseIf InStr(1, sh.Range("A1").Value, ";") > 1 Or InStr(1, sh.Range("A1").Value, ",") > 1 Then
                    MsgBox "A folha " & sh.Name & " já foi concatenada."
                    nomeFicheiro = Application.GetSaveAsFilename(sh.Name, "TXT,*.txt", 1, "Nome do ficheiro a exportar")
                    sh.SaveAs Filename:=nomeFicheiro, FileFormat:=xlTextPrinter

                ElseIf Val(Mid(sh.Name, Len("Trackvision") + 1, 1)) <> 0 Then

                    'Apagar cabeçalhos das folhas Trackvision com índice maior que 0 (para que só exista cabeçalho no ficheiro da primeira folha
                    Trackvision)
                    sh.Activate
                    Cells(1, 1).EntireRow.Delete

                    Call xls2csv

                    nomeFicheiro = Application.GetSaveAsFilename(sh.Name, "TXT,*.txt", 1, "Nome do ficheiro a exportar")

                    If nomeFicheiro = False Then
                        MsgBox "Dados não exportados"
                    Else
                        sh.SaveAs Filename:=nomeFicheiro, FileFormat:=xlTextPrinter
                    End If

                Else

                    sh.Activate
                    Call xls2csv

                    nomeFicheiro = Application.GetSaveAsFilename(sh.Name, "TXT,*.txt", 1, "Nome do ficheiro a exportar")

                    If nomeFicheiro = False Then
                        MsgBox "Dados não exportados"
                    Else
                        sh.SaveAs Filename:=nomeFicheiro, FileFormat:=xlTextPrinter
                    End If

                End If

            End If

        End If

    End For
End Sub

```

```
End If

Next sh

If IndiceFolhaNumeroMenor("Trackvision") <> IndiceFolhaNumeroMaior("Trackvision") Then
    MsgBox "Terá agora de juntar os ficheiros .txt exportados, antes de poder usar a informação no Trackvision."
End If

End Sub

Public Sub xls2csv()

Dim dados() As String
Dim linhaMax As Long
Dim linha As Long

Application.ScreenUpdating = False

'Numero de linhas do vector

Range("A1").Select
Cells.End(xlDown).Select
linhaMax = ActiveCell.Row

'Dimensionar vector

ReDim dados(1, linhaMax)

Range("A1").Select
linha = 1

'Concatenação das várias células para dentro do vector dados

Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Show
Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 1 - Concatenando valores das várias células em cada linha"
Progresso.Repaint

Do

' Resolve a questao de por virgulas como separador decimal

If VarType(ActiveCell.Value) = 8 Then
    dados(1, linha) = ActiveCell.Value
Else
    dados(1, linha) = Str(ActiveCell.Value)
End If

Do While Application.WorksheetFunction.CountBlank(ActiveCell.Offset(0, 1)) <> 1
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select

    If VarType(ActiveCell.Value) = 8 Then
        dados(1, linha) = dados(1, linha) & "," & ActiveCell.Value
    Else
        dados(1, linha) = dados(1, linha) & "," & Str(ActiveCell.Value)
    End If

Loop

linha = linha + 1
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
ActiveCell.End(xlToLeft).Select

If linha <= linhaMax Then
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = linha / linhaMax * 100
Else
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = 100
End If

Loop While linha <= linhaMax
```

```

'Por valores do vector nas células

Cells.Delete
Range("A1").Select
linha = 1

Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Show
Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 2 - Copiando valores concatenados para as células"
Progresso.Repaint

Do
ActiveCell.Value = dados(1, linha)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
linha = linha + 1

If linha <= linhaMax Then
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = linha / linhaMax * 100
Else
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = 100
End If

Loop While linha <= linhaMax

Range("A1").Select

Progresso.Hide
Application.ScreenUpdating = True

End Sub

Public Sub GPSspmUTCparaTempoDHMSTrackvision()

    Dim sh
    Dim Valores() As String
    Dim linhavector As Long
    Dim linhavectormax As Long
    Dim simounao As Integer

    Application.ScreenUpdating = False

' Encontrar a coluna dos GPSspmUTC na folha MaxQData-Out

For Each sh In ActiveWorkbook.Sheets

    If Left(sh.Name, Len("MaxQData-Out")) = "MaxQData-Out" Then

        sh.Activate
        Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Select

        If Not Selection.Find("GPS Seconds past midnight UTC", , , xlWhole) Is Nothing Then

            ' Ir à folha Trackvision ver se Timestamp já existe
            Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor("Trackvision") + sh.Index - 1).Activate
            Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Select

            If Not Selection.Find("Timestamp", , , xlWhole) Is Nothing Then

                simounao = MsgBox("O tempo em H:m:s já consta na folha " & ActiveSheet.Name & ". Deseja voltar a recalculer a partir da folha MaxQData-Out?", vbYesNo, "Tempo H:m:s")

                Select Case simounao

                    Case 6
                        Selection.Find("Timestamp", , , xlWhole).EntireColumn.Delete
                    Case 7
                        Range("A1").Select
                End Select
            End Select
        End If
    End If
End For

```

```

End If

' Encontrar coluna que interessa na folha MaxQData
sh.Activate
Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Select
Selection.Find("GPS Seconds past midnight UTC", , , xlWhole).Select
Selection.Offset(2, 0).Select
linhavectormax = Range("A1").End(xlDown).Offset(-2, 0).Row
ReDim Valores(linhavectormax, 2)

linhavector = 1

' Por segundos dentro do vector

Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Show
Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 1 - Lendo valores GPS spm | Folha " & sh.Name
Progresso.Repaint

Do
    Valores(linhavector, 1) = ActiveCell.Value
    ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    linhavector = linhavector + 1

If linhavector <= linhavectormax Then
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = linhavector / linhavectormax * 100
Else
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = 100
End If

Loop While linhavector <= linhavectormax

' Proceder à transformação

linhavector = 1

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 2 - Convertendo em Minutos.s"
Progresso.Repaint

Do
    Valores(linhavector, 2) = GPSseconds2DHMS(Valores(linhavector, 1))
    linhavector = linhavector + 1

If linhavector <= linhavectormax Then
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = linhavector / linhavectormax * 100
Else
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = 100
End If

Loop While linhavector <= linhavectormax

' Colar nas folhas Trackvision em nova coluna à direita

' Ir para folha Trkvs com o mesmo nº q a actual Maxqdata
Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor("Trackvision") + sh.Index - 1).Activate
Range("A1").End(xlToRight).Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = "Timestamp"
ActiveCell.Offset(1, 0).Activate

' Copiar dados
linhavector = 1

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 3 - Colando valores | Folha " & ActiveSheet.Name
Progresso.Repaint

Do

    ActiveCell.Value = Valores(linhavector, 2)
    ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    linhavector = linhavector + 1

```

```

        If linhavector <= linhavectormax Then
            Progresso.BarraDeProgresso.Value = linhavector / linhavectormax * 100
        Else
            Progresso.BarraDeProgresso.Value = 100
        End If

        Loop While linhavector <= linhavectormax

    Else
        MsgBox "Não foram registados GPS seconds past midnight."
        Exit Sub
    End If

End If

Next sh
Progresso.Hide
Application.ScreenUpdating = True
End Sub

Public Function GPSseconds2DHMS(GPSspmUTC As String) As String

    ' Transformar em horas, minutos e segundos e referência do dia da semana
    ' Vejo-me forçado a modificar a função para que funcione no trackvision
    ' Desta forma mostrará o resultado em M.s. No Trackvisino aparece H:M.s

    Dim Minutos As Double
    Dim Segundos As Double

    'Dim Hora, Minutos, Segundo
    'Dim numDia As Integer
    'Dim nomeDia As String

    ' numDia = Application.WorksheetFunction.RoundDown((GPSspmUTC / 3600) / 24, 0)
    ' If (numDia >= 7) Then numDia = numDia - 7

    ' Select Case numDia
    '
    '     Case 0
    '         nomeDia = "Dom"
    '     Case 1
    '         nomeDia = "Seg"
    '     Case 2
    '         nomeDia = "Ter"
    '     Case 3
    '         nomeDia = "Qua"
    '     Case 4
    '         nomeDia = "Qui"
    '     Case 5
    '         nomeDia = "Sex"
    '     Case 6
    '         nomeDia = "Sáb"
    ' End Select

    ' If Application.WorksheetFunction.RoundDown(GPSspmUTC / 3600, 0) < 24 Then
    '     Hora = nomeDia & " " & Application.WorksheetFunction.RoundDown(GPSspmUTC / 3600, 0)
    ' Else
    '     Hora = nomeDia & " " & Application.WorksheetFunction.RoundDown(GPSspmUTC / 3600, 0) - 24 *
Application.WorksheetFunction.RoundDown((GPSspmUTC / 3600) / 24, 0)
    ' End If

    ' Hora = Application.WorksheetFunction.RoundDown((GPSspmUTC / 3600 - Application.WorksheetFunction.RoundDown(GPSspmUTC
/ 3600, 0)) * 60, 0) & ":" & Round(((GPSspmUTC / 3600 - Application.WorksheetFunction.RoundDown(GPSspmUTC / 3600, 0)) * 60 -
Application.WorksheetFunction.RoundDown((GPSspmUTC / 3600 - Application.WorksheetFunction.RoundDown(GPSspmUTC / 3600, 0)) *
60, 0)) * 60, 5)

    ' Determina os minutos

    If Int(GPSspmUTC) < 86400 Then

```

```

        Minutos = Int(GPSspmUTC / 60)
    Else
        Minutos = Int(GPSspmUTC / 60) - 60 * 24 * Application.WorksheetFunction.RoundDown(Int(GPSspmUTC) / 86400, 0)
    End If

    ' Determina os segundos sem parte decimal

    If Int(GPSspmUTC) < 86400 Then
        Segundos = Int(GPSspmUTC)
    Else
        Segundos = Int(GPSspmUTC) - Cdbl(3600) * 24 * Application.WorksheetFunction.RoundDown(Int(GPSspmUTC) / 86400, 0)
    End If

    If (Segundos - Minutos * 60) < 10 Then
        GPSseconds2DHMS = Minutos & ".0" & (Segundos - Minutos * 60)
    Else
        GPSseconds2DHMS = Minutos & "." & (Segundos - Minutos * 60)
    End If
End Function
Public Sub copiargpslatlong()

    Call CopiarColunaEntreFolhasDiferentesComMesmoIndice("GPS Latitude", "MaxQData-Out", "Trackvision")
    Call CopiarColunaEntreFolhasDiferentesComMesmoIndice("GPS Longitude", "MaxQData-Out", "Trackvision")

End Sub

Public Sub CopiarColunaEntreFolhasDiferentesComMesmoIndice(nomeColuna As String, deFolha As String, paraFolha As String)

    Dim sh
    Dim simounao As Integer

    Application.ScreenUpdating = False

    ' Verificar se a colunas existe na folha de origem de Folha

    If ExisteColuna(nomeColuna, deFolha) = False Then
        MsgBox "Não existe a coluna " & nomeColuna & " na folha " & deFolha & "."
        Exit Sub
    End If

    ' Encontrar a coluna na folha de origem

    For Each sh In ActiveWorkbook.Sheets

        If Left(sh.Name, Len(deFolha)) = deFolha Then

            sh.Activate
            Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Select

            If Not Selection.Find(nomeColuna, , , xlWhole) Is Nothing Then

                ' Ir à folha de destino ver se a coluna já existe

                If ExisteColuna(nomeColuna, Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor(paraFolha) + sh.Index - 1).Name) = True Then

                    simounao = MsgBox("A coluna " & nomeColuna & " já consta na folha " & Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor(paraFolha) + sh.Index - 1).Name & ". Deseja voltar a copiá-la a partir da folha " & sh.Name & "?", vbYesNo, nomeColuna)

                    Select Case simounao

                        Case 6
                            Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor(paraFolha) + sh.Index - 1).Find(nomeColuna, , , xlWhole).EntireColumn.Delete

                            ' Encontrar coluna que interessa na folha de origem

                            sh.Activate
                            Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Select
                            Selection.Find(nomeColuna, , , xlWhole).EntireColumn.Copy

                            ' Colar na folha de destino em nova coluna à direita

```

```

        'Ir para folha de destino com o mesmo nº q a actual de origem
        Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor(paraFolha) + sh.Index - 1).Activate
        Range("A1").End(xlToRight).Offset(0, 1).PasteSpecial

        Case 7
            Range("A1").Select

        End Select

    Else

        ' Encontrar coluna que interessa na folha de origem

        sh.Activate
        Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Select
        Selection.Find(nomeColuna, , , xlWhole).EntireColumn.Copy

        ' Colar na folha de destino em nova coluna à direita

        'Ir para folha de destino com o mesmo nº q a actual de origem
        Sheets(IndiceFolhaNumeroMenor(paraFolha) + sh.Index - 1).Activate
        Range("A1").End(xlToRight).Offset(0, 1).PasteSpecial

    End If

    Else
        MsgBox "Não foi registada a grandeza " & nomeColuna & "."
    Exit Sub

    End If

End If

Next sh

    Application.ScreenUpdating = True

End Sub

Public Sub TransformarCoordenadas(folhaDestino As String)

' Procedimento responsável pela transformação de coordenadas

    Dim numRegistos As Long
    Dim simounao As Integer
    Dim sh, coord() As Double, i, j, c

    ' Variáveis para tirar do retorno da função responsável pela transformação de Molodensky a lat, long e alt
    Dim coordDT73 As String
    Dim espaco1 As Integer, espaco2 As Integer

    ' Variáveis para tirar do retorno da função responsável pela transformação de Gauss-Kruger a M e a P
    Dim coordMP As String

    ' Variáveis necessárias para encontrar a coluna correcta da altitude GPS (em m e não em ft)
    Dim colunaCel As Integer

    If ExisteFolha("MaxQData-Out") = True Then

        If ExisteColuna("GPS Latitude", "MaxQData-Out") = True And ExisteColuna("GPS Longitude", "MaxQData-Out") = True Then

            Sheets("MaxQData-Out").Activate

            ' Redimensionar vector máx. linhas de registo, 6 colunas (3 primeiras para GPS lat/long/alt
            ' e 3 seguintes para coordenadas transformadas lat/long)

            numRegistos = Cells(1, 1).End(xlDown).Row - 2
            ReDim coord(numRegistos, 8)

            ' Por latitudes na primeira coluna do vector

```

```

Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Show
Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 1 - Lendo valores de latitude GPS"
Progresso.Repaint

Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Find("GPS Latitude", , , xlWhole).Offset(2, 0).Select
Range(ActiveCell, ActiveCell.End(xlDown)).Select

i = 1
j = 1

For Each c In Selection
    coord(i, j) = c.Value
    i = i + 1
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
Next c

' Por longitude na segunda coluna do vector

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 2 - Lendo valores de longitude GPS"
Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Repaint

Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Find("GPS Longitude", , , xlWhole).Offset(2, 0).Select
Range(ActiveCell, ActiveCell.End(xlDown)).Select

i = 1
j = 2

For Each c In Selection
    coord(i, j) = c.Value
    i = i + 1
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
Next c

' Por altitude na segunda coluna do vector
' Se houver valores da altitude estes são introduzidos no vector, se não existirem são assumidos como 0

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 3 - Lendo valores de altitude GPS"
Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Repaint

If ExisteColuna("GPS Altitude", "MaxQData-Out") = True Then

    colunaCel = 1

    Do
        colunaCel = Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Find("GPS Altitude", Cells(1, colunaCel), , xlWhole).Column
        If Cells(1, colunaCel).Offset(1, 0).Value = "m" Then Exit Do
    Loop

    Range(Cells(1, colunaCel).Offset(2, 0), Cells(1, colunaCel).Offset(2, 0).End(xlDown)).Select

    i = 1
    j = 3

    For Each c In Selection
        coord(i, j) = c.Value
        i = i + 1
        Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
    Next c

Else

    ' Já que não existe coluna de altitude uso o comprimento da coluna latitude para introduzir zeros no vector

    Range("A1", Cells(1, 1).End(xlToRight)).Find("GPS Latitude", , , xlWhole).Offset(2, 0).Select
    Range(ActiveCell, ActiveCell.End(xlDown)).Select

```



```

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 3 - Utilizando valores nulos para altitude GPS"
Progresso.Repaint

i = 1
j = 3

For Each c In Selection
    coord(i, j) = 0
    i = i + 1
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
Next c

End If

' Transformar Molodensky e por valores de resultado nas colunas 4,5 e 6 do vector

i = 1
j = 1

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 4 - Transformação de Molodensky | WGS 84 -> Datum 73"
Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Repaint

Do
    coordDT73 = Molodensky_WGS84_DT73(coord(i, 1), coord(i, 2), coord(i, 3))
    espaco1 = InStr(1, coordDT73, " ")
    espaco2 = InStr(espaco1 + 1, coordDT73, " ")

    coord(i, 4) = Left(coordDT73, espaco1)
    coord(i, 5) = Mid(coordDT73, espaco1 + 1, espaco2 - espaco1)
    coord(i, 6) = Mid(coordDT73, espaco2 + 1, Len(coordDT73) - espaco2 + 1)
    i = i + 1
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
Loop While i <= numRegistos

' Transformar Gauss-Kruger e por coordenadas M e P nas colunas 7 e 8 do vector

i = 1
j = 1

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 5 - Transformação de Gauss-Kruger | Coord. M e P"
Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Repaint

Do
    coordMP = GaussKruger_MP(coord(i, 4), coord(i, 5))
    espaco1 = InStr(1, coordMP, " ")

    coord(i, 7) = Left(coordMP, espaco1)
    coord(i, 8) = Mid(coordMP, espaco1 + 1, Len(coordMP) - espaco1 + 1)
    i = i + 1
    Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
Loop While i <= numRegistos

Else

    MsgBox "Não foram registados valores da latitude/longitude GPS."
    Exit Sub
End If

' Copiar dados para a folha Trackvision (coord M e P)

' COORDENADA M

Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 6 - Copiando valores para folha " & folhaDestino & " | Coord. M"
Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0
Progresso.Repaint

' Ir à folha Trackvision ver se a coluna já existe

Application.ScreenUpdating = False

```

Sheets(folhaDestino).Activate

If ExisteColuna("M", folhaDestino) = True Then

 simounao = MsgBox("A coluna da coordenada M já consta na folha " & folhaDestino & ". Deseja substituir os dados?", vbYesNo, "Coordenadas retangulares")

 Select Case simounao

 Case 6

 ActiveSheet.Range(Cells(1, 1), Cells(1, 1).End(xlToRight)).Find("M", , , xlWhole, , True).EntireColumn.Delete

 ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(0, 1).Value = "M"

 ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).EntireColumn.Select

 With Selection

 .HorizontalAlignment = xlHAlignCenter

 .NumberFormat = "0.0000"

 .ColumnWidth = 11

 End With

 ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(1, 0).Select

 i = 1

 If folhaDestino = "MaxQData-Out" Then

 ActiveCell.Value = "m"

 ActiveCell.Offset(1, 0).Select

 End If

 Do While i <= numRegistos

 ActiveCell.Value = coord(i, 7)

 ActiveCell.Offset(1, 0).Select

 i = i + 1

 Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100

 Loop

 Case 7

 End Select

Else

 ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(0, 1).Value = "M"

 ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).EntireColumn.Select

 With Selection

 .HorizontalAlignment = xlHAlignCenter

 .NumberFormat = "0.0000"

 .ColumnWidth = 11

 End With

 ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(1, 0).Select

 If folhaDestino = "MaxQData-Out" Then

 ActiveCell.Value = "m"

 ActiveCell.Offset(1, 0).Select

 End If

 i = 1

 Do While i <= numRegistos

 ActiveCell.Value = coord(i, 7)

 ActiveCell.Offset(1, 0).Select

 i = i + 1

 Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100

 Loop

End If

' COORDENADA P

 Progresso.Tarefa.Caption = "Tarefa 6 - Copiando valores para folha " & folhaDestino & " | Coord. P"

 Progresso.BarraDeProgresso.Value = 0

 Progresso.Repaint

' Ir à folha de destino ver se a coluna já existe

```

If ExisteColuna("P", folhaDestino) = True Then

    simounao = MsgBox("A coluna da coordenada P já consta na folha " & folhaDestino & ". Deseja substituir os dados?", vbYesNo,
"Coordenadas rectangulares")

    Select Case simounao

        Case 6
            ActiveSheet.Range(Cells(1, 1), Cells(1, 1).End(xlToRight)).Find("P", , , xlWhole, , True).EntireColumn.Delete
            ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(0, 1).Value = "P"
            ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).EntireColumn.Select
            With Selection
                .HorizontalAlignment = xlHAlignCenter
                .NumberFormat = "0.0000"
                .ColumnWidth = 11
            End With
            ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(1, 0).Select
            i = 1

            If folhaDestino = "MaxQData-Out" Then
                ActiveCell.Value = "m"
                ActiveCell.Offset(1, 0).Select
            End If

            Do While i <= numRegistos
                ActiveCell.Value = coord(i, 8)
                ActiveCell.Offset(1, 0).Select
                i = i + 1
                Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
            Loop

        Case 7

    End Select
Else

    ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(0, 1).Value = "P"
    ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).EntireColumn.Select
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlHAlignCenter
        .NumberFormat = "0.0000"
        .ColumnWidth = 11
    End With
    ActiveSheet.Cells(1, 1).End(xlToRight).Offset(1, 0).Select

    If folhaDestino = "MaxQData-Out" Then
        ActiveCell.Value = "m"
        ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    End If

    i = 1

    Do While i <= numRegistos
        ActiveCell.Value = coord(i, 8)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Select
        i = i + 1
        Progresso.BarraDeProgresso.Value = (i - 1) / numRegistos * 100
    Loop

End If

Progresso.Hide
Application.ScreenUpdating = True

Else

    MsgBox "Não existe folha de dados MaxQData-Out."

End If

```

End Sub

Public Function Molodensky_WGS84_DT73(latGPS As Double, longGPS As Double, hGPS As Double) As String

' Elipsóide GPS - WGS 84

' Parâmetros

Dim a As Double, b As Double, e As Double, e2 As Double, f As Double

a = 6378137
 b = 6356752.31425
 e = Sqr((a ^ 2 - b ^ 2) / a ^ 2)
 e2 = (a ^ 2 - b ^ 2) / a ^ 2
 f = (a - b) / a

' Parâmetros da transformação WGS 84 -> DT 73

Dim dx As Double, dy As Double, dz As Double, da As Double, df As Double

dx = 223.237
 dy = -110.193
 dz = -36.649
 da = 251
 df = 0.0000141927

' Transformação

Dim fi As Double, lambda As Double, Rm As Double, Rn As Double, dfi As Double, dlambda As Double, dh As Double, fiFinal As Double, lambdaFinal As Double, hFinal As Double

fi = latGPS / (180 / Application.WorksheetFunction.Pi)
 lambda = longGPS / (180 / Application.WorksheetFunction.Pi)
 Rm = a * (1 - e2) / (1 - e2 * Sin(fi) ^ 2) ^ (3 / 2)
 Rn = a / Sqr(1 - e ^ 2 * Sin(fi) ^ 2)

dfi = (-dx * Sin(fi) * Cos(lambda) - dy * Sin(fi) * Sin(lambda) + dz * Cos(fi) + (da * (Rn * e2 * Sin(fi) * Cos(fi))) / a + df * (Rm * a / b + Rn * b / a) * Sin(fi) * Cos(fi)) / (Rm + hGPS)
 dlambda = (-dx * Sin(lambda) + dy * Cos(lambda)) / ((Rn + hGPS) * Cos(fi))
 dh = dx * Cos(fi) * Cos(lambda) + dy * Cos(fi) * Sin(lambda) + dz * Sin(fi) + (f * da + a * df) * Sin(fi) ^ 2 - da

fiFinal = (fi + dfi) / (Application.WorksheetFunction.Pi / 180)
 lambdaFinal = (lambda + dlambda) / (Application.WorksheetFunction.Pi / 180)
 hFinal = hGPS + dh

Molodensky_WGS84_DT73 = fiFinal & " " & lambdaFinal & " " & hFinal

End Function

Public Function GaussKruger_MP(lat As Double, longit As Double) As String

' Elipsóide Hayford - Datum 73

' Ponto de Origem

Dim latOrig As Double, longitOrig As Double

latOrig = 39 + 40 / 60
 longitOrig = -8 - 7 / 60 - 54.862 / 3600

' Parâmetros

Dim a As Double, b As Double, e As Double, f As Double, fiOrig As Double, lambdaOrig As Double

a = 6378388
 b = 6356911.946
 e = Sqr((a ^ 2 - b ^ 2) / a ^ 2)
 f = (a - b) / a
 fiOrig = latOrig / (180 / Application.WorksheetFunction.Pi)
 lambdaOrig = longitOrig / (180 / Application.WorksheetFunction.Pi)

' Transformação

Dim fi As Double, lambda As Double, Rm As Double, Rn As Double, parA As Double, parB As Double, parC As Double, parD As Double, Sigma As Double, m As Double, p As Double

fi = lat / (180 / Application.WorksheetFunction.Pi)
lambda = (longit - longitOrig) / (180 / Application.WorksheetFunction.Pi)

Rm = a * (1 - e ^ 2) / (1 - e ^ 2 * Sin(fi) ^ 2) ^ (3 / 2)
Rn = a / Sqr(1 - e ^ 2 * Sin(fi) ^ 2)

parA = 1 + 3 / 4 * e ^ 2 + 45 / 64 * e ^ 4 + 175 / 256 * e ^ 6 + 11025 / 16384 * e ^ 8 + 43659 / 655536 * e ^ 10
parB = 3 / 4 * e ^ 2 + 15 / 16 * e ^ 4 + 525 / 512 * e ^ 6 + 2205 / 2048 * e ^ 8 + 72765 / 65536 * e ^ 10
parC = 15 / 64 * e ^ 4 + 105 / 256 * e ^ 6 + 2205 / 2048 * e ^ 8 + 10395 / 16384 * e ^ 10
parD = 35 / 512 * e ^ 6 + 315 / 2048 * e ^ 8 + 31185 / 131072 * e ^ 10

Sigma = a * (1 - e ^ 2) * (parA * (fi - fiOrig) - parB / 2 * (Sin(2 * fi) - Sin(2 * fiOrig)) + parC / 4 * (Sin(4 * fi) - Sin(4 * fiOrig)) - parD / 6 * (Sin(6 * fi) - Sin(6 * fiOrig)))

Dim k0 As Double, k1 As Double, k2 As Double, k3 As Double, k4 As Double, k5 As Double, k6 As Double

k0 = 1
k1 = Rn / Rm - Tan(fi) ^ 2
k2 = Rn / Rm + 4 * (Rn / Rm) ^ 2 - Tan(fi) ^ 2
k3 = Rn / Rm * (14 - 58 * Tan(fi) ^ 2) + 40 * Tan(fi) ^ 2 * (Rn / Rm) ^ 2 + Tan(fi) ^ 4 - 9
k4 = (Rn / Rm) ^ 4 * (11 - 24 * Tan(fi) ^ 2) - 28 * (1 - 6 * Tan(fi) ^ 2) * (Rn / Rm) ^ 3 + (1 - 32 * Tan(fi) ^ 2) * (Rn / Rm) ^ 2 - 2 * Tan(fi) ^ 2 * Rn / Rm + Tan(fi) ^ 4
k5 = 61 - 479 * Tan(fi) ^ 2 + 179 * Tan(fi) ^ 4 - Tan(fi) ^ 6
k6 = 1385 - 3111 * Tan(fi) ^ 2 + 543 * Tan(fi) ^ 4 - Tan(fi) ^ 6

m = k0 * lambda * Rn * Cos(fi) * (1 + lambda ^ 2 / 6 * Cos(fi) ^ 2 * k1 + lambda ^ 4 / 120 * Cos(fi) ^ 4 * k3 + lambda ^ 6 / 5040 * Cos(fi) ^ 6 * k5) + 180.598
p = k0 * (Sigma + lambda ^ 2 / 2 * Rn * Sin(fi) * Cos(fi) * (1 + lambda ^ 2 / 12 * Cos(fi) ^ 2 * k2 + lambda ^ 4 / 360 * Cos(fi) ^ 4 * k4 + lambda ^ 6 / 20160 * Cos(fi) ^ 6 * k6)) - 86.99

GaussKruger_MP = m & " " & p

End Function

Public Sub AceleracoesAdicionais()

Call CopiarColunaEntreFolhasDiferentesComMesmoIndice("Internal VertG", "MaxQData-Out", "Trackvision")

'tirar o g

Range(Cells(3, Selection.Column), Cells(Selection.End(xlDown).Row, Selection.Column)).Select
Selection.Cut
Cells(2, Selection.Column).Activate
ActiveSheet.Paste

Call CopiarColunaEntreFolhasDiferentesComMesmoIndice("GPS LatG", "MaxQData-Out", "Trackvision")

'tirar o g

Range(Cells(3, Selection.Column), Cells(Selection.End(xlDown).Row, Selection.Column)).Select
Selection.Cut
Cells(2, Selection.Column).Activate
ActiveSheet.Paste

Call CopiarColunaEntreFolhasDiferentesComMesmoIndice("GPS LongG", "MaxQData-Out", "Trackvision")

'tirar o g

Range(Cells(3, Selection.Column), Cells(Selection.End(xlDown).Row, Selection.Column)).Select
Selection.Cut
Cells(2, Selection.Column).Activate
ActiveSheet.Paste

End Sub

3. Elementos de Apoio às Análises

3.1 Passagens nas Lombas/Passadeiras Elevadas

3.1.2 Por Condutor e Local

Quadro 3.1 – Número de passagens válidas por condutor em cada lombas

Local	Número da Lomba	Número do Condutor																		Total
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	
L1aCB	1	12	13	7	14	18	7	13	11	14	14	16	15	7	13	15	15	18	15	237
L1bCB	2	12	15	7	16	15	12	17	10	15	12	16	13	4	8	12	7	16	12	219
L2aCB	3	10	9	7	16	18	11	16	11	14	13	15	13	6	14	17	12	15	13	230
L2bCB	4	11	14	5	12	15	12	17	9	10	11	15	11	6	12	15	11	16	13	215
L3aCB	5	9	13	5	14	17	8	16	14	9	10	16	14	7	10	18	13	14	10	217
L3bCB	6	11	14	4	10	16	9	14	12	12	14	17	13	3	8	15	10	18	8	208
L4aCB	7	12	12	6	14	16	6	16	12	10	8	18	13	7	14	17	12	15	10	218
L4bCB	8	13	14	6	10	15	6	14	13	11	14	15	14	5	12	16	13	18	12	221
L1aPM	9	17	14	12	0	10	0	16	11	11	0	16	14	13	13	16	0	6	12	181
L1bPM	10	13	10	12	0	11	0	14	10	12	0	12	13	10	13	14	0	8	11	163
L2aPM	11	14	14	11	0	11	0	16	11	13	0	13	14	11	15	17	0	5	17	182
L2bPM	12	13	12	13	0	12	0	14	9	12	0	11	14	13	14	15	0	9	12	173
L3aPM	13	14	13	12	0	12	0	14	12	12	0	13	15	9	14	15	0	6	15	176
L3bPM	14	16	14	12	0	13	0	10	10	13	0	13	13	13	16	14	0	7	13	177
L4aPM	15	15	14	13	0	12	0	15	10	14	0	14	14	11	15	14	0	8	15	184
L4bPM	16	16	13	12	0	13	0	12	9	13	0	15	13	11	14	13	0	6	13	173
L5aPM	17	16	15	13	0	12	0	16	11	14	0	15	11	13	11	13	0	8	15	183
L5bPM	18	14	14	12	0	11	0	14	10	12	0	15	15	12	14	14	0	8	13	178
L6aPM	19	17	14	13	0	11	0	11	9	11	0	17	8	11	11	13	0	6	16	168
L6bPM	20	14	13	12	0	11	0	12	10	11	0	14	15	12	17	13	0	9	15	178
L7aPM	21	17	11	13	0	10	0	12	11	9	0	17	14	9	15	15	0	8	15	176
L7bPM	22	15	13	13	0	11	0	13	13	10	0	16	14	15	17	14	0	9	16	189
L1a10	23	16	11	13	9	12	13	9	14	13	13	11	9	14	11	9	8	3	3	191
L1b10	24	14	9	9	4	11	9	11	8	10	11	7	6	10	8	7	8	1	3	146
L2a10	25	16	9	13	9	13	9	11	12	8	14	12	7	10	10	9	10	2	2	176
L2b10	26	15	9	8	6	11	11	11	7	8	11	8	8	12	8	8	9	2	3	155
L3a10	27	11	13	9	5	10	8	10	13	10	13	9	6	8	7	7	8	2	2	151
L3b10	28	13	7	9	10	9	11	8	9	8	12	8	7	10	11	8	7	1	3	151
L4a10	29	18	9	11	8	8	10	11	12	14	16	8	9	12	7	10	11	2	2	178
L4b10	30	11	6	8	8	10	10	8	7	7	12	6	9	12	8	9	7	3	3	144
L5a10	31	18	14	12	10	10	7	10	13	12	14	11	8	8	9	8	11	2	2	179
L5b10	32	17	9	12	9	11	9	11	9	11	12	9	6	9	10	11	11	3	3	172
L6a10	33	16	12	11	8	9	9	10	12	12	12	11	6	5	7	7	11	3	2	163
L6b10	34	17	10	12	7	11	8	12	11	12	14	11	10	10	10	10	11	3	3	182
Total		483	406	347	199	415	185	434	365	387	250	440	384	328	396	428	205	260	322	6234

3.1.3 Por Género

Quadro 3.2 – Número de passagens por lomba e género

Lomba	Número da Lomba	Sexo do condutor				Percentagem Homem+ Mulher	Total
		Homen		Mulher			
		Total	%	Total	%		
L1aCB	1	173	2,8	64	1,0	3,8	237
L1bCB	2	153	2,5	66	1,1	3,5	219
L2aCB	3	171	2,7	59	0,9	3,7	230
L2bCB	4	151	2,4	64	1,0	3,4	215
L3aCB	5	155	2,5	62	1,0	3,5	217
L3bCB	6	149	2,4	59	0,9	3,3	208
L4aCB	7	156	2,5	62	1,0	3,5	218
L4bCB	8	155	2,5	66	1,1	3,5	221
L1aPM	9	111	1,8	70	1,1	2,9	181
L1bPM	10	105	1,7	58	0,9	2,6	163
L2aPM	11	110	1,8	72	1,2	2,9	182
L2bPM	12	113	1,8	60	1,0	2,8	173
L3aPM	13	108	1,7	68	1,1	2,8	176
L3bPM	14	114	1,8	63	1,0	2,8	177
L4aPM	15	115	1,8	69	1,1	3,0	184
L4bPM	16	110	1,8	63	1,0	2,8	173
L5aPM	17	110	1,8	73	1,2	2,9	183
L5bPM	18	113	1,8	65	1,0	2,9	178
L6aPM	19	101	1,6	67	1,1	2,7	168
L6bPM	20	114	1,8	64	1,0	2,9	178
L7aPM	21	110	1,8	66	1,1	2,8	176
L7bPM	22	119	1,9	70	1,1	3,0	189
L1a110	23	138	2,2	53	0,9	3,1	191
L1b110	24	101	1,6	45	0,7	2,3	146
L2a110	25	126	2,0	50	0,8	2,8	176
L2b110	26	110	1,8	45	0,7	2,5	155
L3a110	27	102	1,6	49	0,8	2,4	151
L3b110	28	111	1,8	40	0,6	2,4	151
L4a110	29	126	2,0	52	0,8	2,9	178
L4b110	30	109	1,7	35	0,6	2,3	144
L5a110	31	122	2,0	57	0,9	2,9	179
L5b110	32	123	2,0	49	0,8	2,8	172
L6a110	33	111	1,8	52	0,8	2,6	163
L6b110	34	129	2,1	53	0,9	2,9	182
Total		4224	67,8	2010	32,2	100,0	6234

3.1.4 Altura da Lomba

Quadro 3.3 – Número de passagens em função da altura da lomba e local

Local	Número da Lomba	Altura da Lomba (m)								Total
		0,050	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,095	
L1aCB	1	0	0	0	0	237	0	0	0	237
L1bCB	2	0	0	0	0	219	0	0	0	219
L2aCB	3	0	0	0	0	0	230	0	0	230
L2bCB	4	0	0	0	0	0	215	0	0	215
L3aCB	5	0	0	0	0	217	0	0	0	217
L3bCB	6	0	0	0	0	208	0	0	0	208
L4aCB	7	0	0	0	0	218	0	0	0	218
L4bCB	8	0	0	0	0	221	0	0	0	221
L1aPM	9	0	0	181	0	0	0	0	0	181
L1bPM	10	0	0	163	0	0	0	0	0	163
L2aPM	11	0	0	182	0	0	0	0	0	182
L2bPM	12	0	0	173	0	0	0	0	0	173
L3aPM	13	0	0	0	0	0	0	176	0	176
L3bPM	14	0	0	0	0	0	0	177	0	177
L4aPM	15	0	0	0	0	184	0	0	0	184
L4bPM	16	0	0	0	0	173	0	0	0	173
L5aPM	17	0	0	0	0	0	0	183	0	183
L5bPM	18	0	0	0	0	0	0	178	0	178
L6aPM	19	0	0	0	0	0	0	0	168	168
L6bPM	20	0	0	0	0	0	0	0	178	178
L7aPM	21	0	0	0	0	176	0	0	0	176
L7bPM	22	0	0	0	0	189	0	0	0	189
L1a110	23	0	191	0	0	0	0	0	0	191
L1b110	24	0	146	0	0	0	0	0	0	146
L2a110	25	0	176	0	0	0	0	0	0	176
L2b110	26	0	155	0	0	0	0	0	0	155
L3a110	27	151	0	0	0	0	0	0	0	151
L3b110	28	151	0	0	0	0	0	0	0	151
L4a110	29	0	0	178	0	0	0	0	0	178
L4b110	30	0	0	144	0	0	0	0	0	144
L5a110	31	0	0	0	179	0	0	0	0	179
L5b110	32	0	0	0	172	0	0	0	0	172
L6a110	33	0	163	0	0	0	0	0	0	163
L6b110	34	0	182	0	0	0	0	0	0	182
Percentagem		4,8	16,2	16,4	5,6	32,8	7,1	11,5	5,6	100,0
Total		302	1013	1021	351	2042	445	714	346	6234

3.1.5 Comprimento da Lomba

Quadro 3.5 – Número de passagens em função do comprimento da lomba e local

Local	Número da Lomba	Comprimento da Lomba - lt (m)														Total	
		4,2	4,3	4,6	5,7	6,0	6,3	6,4	6,6	6,7	6,8	6,9	7,1	7,3	7,6		11,4
L1aCB	1	0	0	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237
L1bCB	2	0	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219
L2aCB	3	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230
L2bCB	4	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215
L3aCB	5	0	0	217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217
L3bCB	6	0	0	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208
L4aCB	7	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218
L4bCB	8	0	221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221
L1aPM	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	0	0	0	0	0	181
L1bPM	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	163
L2aPM	11	0	0	0	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	182
L2bPM	12	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	0	0	173
L3aPM	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	0	0	176
L3bPM	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	0	0	177
L4aPM	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	0	0	0	0	184
L4bPM	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	173
L5aPM	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	0	0	0	183
L5bPM	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	0	178
L6aPM	19	0	0	0	0	0	0	168	0	0	0	0	0	0	0	0	168
L6bPM	20	0	0	0	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	178
L7aPM	21	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176
L7bPM	22	0	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189
L1a110	23	0	0	0	0	191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191
L1b110	24	0	0	0	0	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146
L2a110	25	0	0	0	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	176
L2b110	26	0	0	0	0	0	0	0	0	155	0	0	0	0	0	0	155
L3a110	27	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151
L3b110	28	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151
L4a110	29	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
L4b110	30	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144
L5a110	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	179
L5b110	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	172	172
L6a110	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	0	163
L6b110	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0	182
Percentagem		7,1	7,0	14,1	5,2	10,3	5,9	5,6	5,7	5,3	5,5	5,7	5,8	5,7	5,5	5,6	100,0
Total		445	439	881	322	639	365	346	355	331	344	357	361	353	345	351	6234

3.1.6 Largura da Faixa de Rodagem

Quadro 3.7 – Número de passagens em função da largura da faixa de rodagem e local

Local	Número da Lomba	Largura da faixa de rodagem - lfr (m)														Total
		5,50	5,65	5,90	6,00	6,20	6,30	6,40	6,60	6,80	6,90	7,10	7,30	7,44	7,45	
L1aCB	1	0	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237
L1bCB	2	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219
L2aCB	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230	0	230
L2bCB	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215	0	215
L3aCB	5	0	0	0	217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217
L3bCB	6	0	0	0	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208
L4aCB	7	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218
L4bCB	8	0	0	221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221
L1aPM	9	0	0	0	0	0	0	0	0	181	0	0	0	0	0	181
L1bPM	10	0	0	0	0	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	163
L2aPM	11	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	182
L2bPM	12	0	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	173
L3aPM	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	0	0	176
L3bPM	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	0	0	177
L4aPM	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	0	0	0	184
L4bPM	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	173
L5aPM	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	0	0	183
L5bPM	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	178
L6aPM	19	0	0	0	0	0	0	0	168	0	0	0	0	0	0	168
L6bPM	20	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	178
L7aPM	21	0	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0	176
L7bPM	22	0	0	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	189
L1a110	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191	191
L1b110	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	146
L2a110	25	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176
L2b110	26	0	0	0	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155
L3a110	27	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151
L3b110	28	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151
L4a110	29	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
L4b110	30	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144
L5a110	31	0	0	0	0	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179
L5b110	32	0	0	0	0	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	172
L6a110	33	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163
L6b110	34	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182
Percentagem		5,2	7,3	11,9	17,7	5,6	5,9	5,6	5,7	5,5	5,7	5,8	5,7	7,1	5,4	100,0
Total		322	456	741	1101	351	365	346	355	344	357	361	353	445	337	6234

3.1.7 Existência de Passeio

Quadro 3.9 – Número de passagens em função da existência de passeio e local

Local	Número da Lomba	Existência de passeio		Total
		Sem passeio	Com passeio	
L1aCB	1	237	0	237
L1bCB	2	219	0	219
L2aCB	3	230	0	230
L2bCB	4	215	0	215
L3aCB	5	217	0	217
L3bCB	6	208	0	208
L4aCB	7	218	0	218
L4bCB	8	221	0	221
L1aPM	9	181	0	181
L1bPM	10	0	163	163
L2aPM	11	182	0	182
L2bPM	12	0	173	173
L3aPM	13	176	0	176
L3bPM	14	0	177	177
L4aPM	15	184	0	184
L4bPM	16	0	173	173
L5aPM	17	183	0	183
L5bPM	18	0	178	178
L6aPM	19	168	0	168
L6bPM	20	0	178	178
L7aPM	21	176	0	176
L7bPM	22	0	189	189
L1a110	23	0	191	191
L1b110	24	0	146	146
L2a110	25	0	176	176
L2b110	26	0	155	155
L3a110	27	0	151	151
L3b110	28	0	151	151
L4a110	29	0	178	178
L4b110	30	0	144	144
L5a110	31	0	179	179
L5b110	32	0	172	172
L6a110	33	0	163	163
L6b110	34	0	182	182
<i>Percentagem</i>		<i>48,4</i>	<i>51,6</i>	<i>100,0</i>
Total		3015	3219	6234

3.1.8 Visibilidade/Distância Livre

Quadro 3.10 – Número de passagens em função da visibilidade/distância livre à entrada e local

Local	Número da Lomba	Visibilidade/Distância livre à Entrada - Visent (m)																		Total
		50	60	80	90	100	110	120	130	140	170	190	200	210	220	250	260	280	380	
L1aCB	1	0	0	0	0	0	0	0	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237	
L1bCB	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219	0	
L2aCB	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230	0	
L2bCB	4	0	0	0	0	0	0	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L3aCB	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	0	0	0	0	0	0	0	0	
L3bCB	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0	0	
L4aCB	7	0	0	0	0	0	0	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L4bCB	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221	0	0	0	0	0	0	
L1aPM	9	0	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L1bPM	10	0	0	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L2aPM	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	0	
L2bPM	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	0	0	
L3aPM	13	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L3bPM	14	0	0	0	0	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L4aPM	15	0	0	0	0	184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L4bPM	16	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L5aPM	17	0	0	0	0	183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L5bPM	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	0	0	
L6aPM	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	0	0	0	
L6bPM	20	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L7aPM	21	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L7bPM	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	
L1a110	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191	0	0	0	0	0	0	0	
L1b110	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	0	0	0	0	
L2a110	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	0	0	
L2b110	26	0	0	0	0	0	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L3a110	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	
L3b110	28	0	0	0	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L4a110	29	0	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L4b110	30	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L5a110	31	0	0	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L5b110	32	0	0	0	0	0	0	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L6a110	33	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L6b110	34	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Porcentagem</i>			2,9	5,7	2,9	17,1	2,5	11,6	3,8	8,2	6,4	2,8	5,5	3,5	2,3	2,9	6,0	10,0	3,0	
Total		176	181	355	178	1067	155	723	237	513	399	173	342	221	146	178	376	625	189	

Quadro 3.12 – Número de passagens em função da visibilidade/distância livre à saída e local

Local	Número da Lomba	Visibilidade/Distância livre à Saída - Vissai (m)																		Total
		50	60	80	90	100	110	120	130	140	170	190	200	210	220	250	260	280	380	
L1aCB	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237	0	237
L1bCB	2	0	0	0	0	0	0	0	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219
L2aCB	3	0	0	0	0	0	0	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230
L2bCB	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215	0	215
L3aCB	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	0	0	217
L3bCB	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0	0	0	0	0	0	0	0	208
L4aCB	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218	0	0	0	0	0	218
L4bCB	8	0	0	0	0	0	0	0	0	221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221
L1aPM	9	0	0	0	0	0	0	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181
L1bPM	10	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163
L2aPM	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	182
L2bPM	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	0	0	0	173
L3aPM	13	0	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176
L3bPM	14	0	0	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177
L4aPM	15	0	0	0	0	0	0	184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184
L4bPM	16	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173
L5aPM	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	0	0	0	183
L5bPM	18	0	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
L6aPM	19	0	0	0	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168
L6bPM	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	178
L7aPM	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	176
L7bPM	22	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189
L1a110	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191	0	0	0	0	191
L1b110	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	0	0	0	0	0	146
L2a110	25	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176
L2b110	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155	0	155
L3a110	27	0	0	0	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151
L3b110	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	151
L4a110	29	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
L4b110	30	0	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144
L5a110	31	0	0	0	0	0	0	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179
L5b110	32	0	0	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	172
L6a110	33	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163
L6b110	34	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182
<i>Percentagem</i>		2,8	2,9	5,7	2,9	17,1	2,5	11,6	3,8	8,2	6,4	2,8	5,5	3,5	2,3	2,9	6,0	10,0	3,0	100,0
Total		189	163	349	168	1016	176	774	219	550	381	182	297	218	191	183	395	607	176	6234

V25

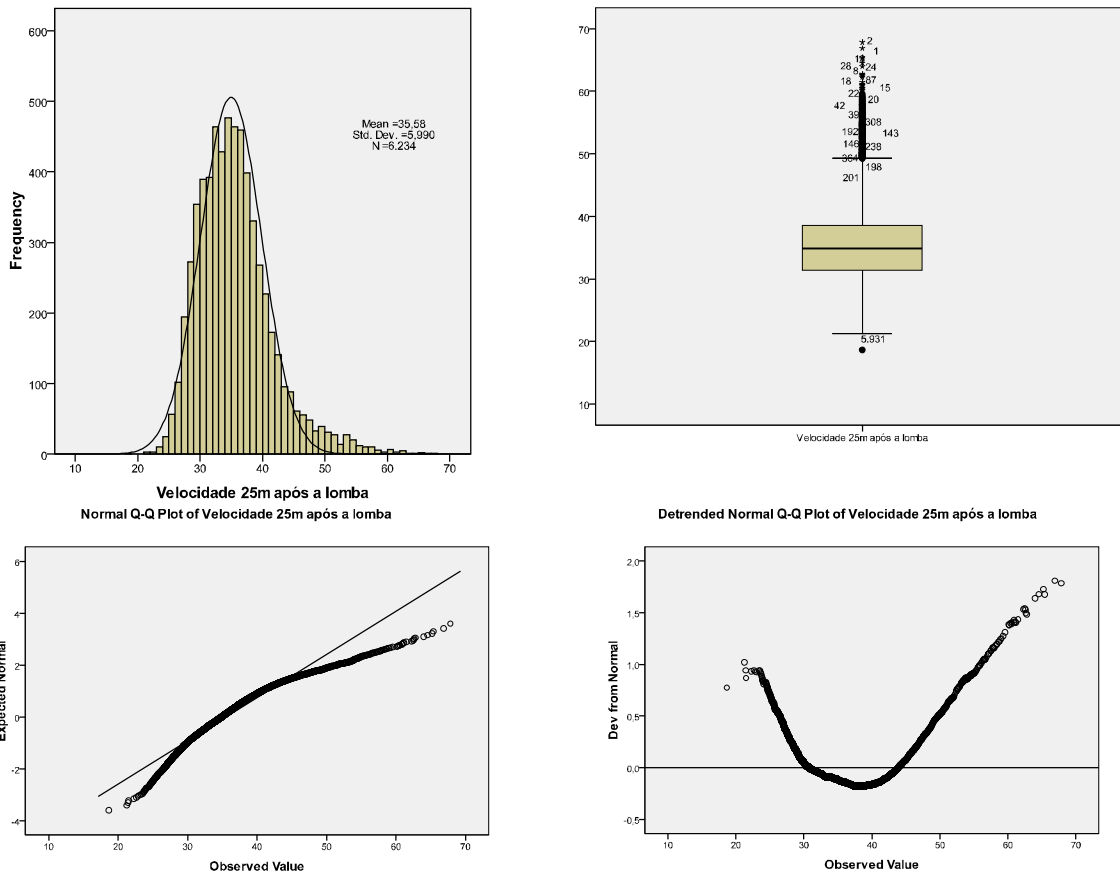


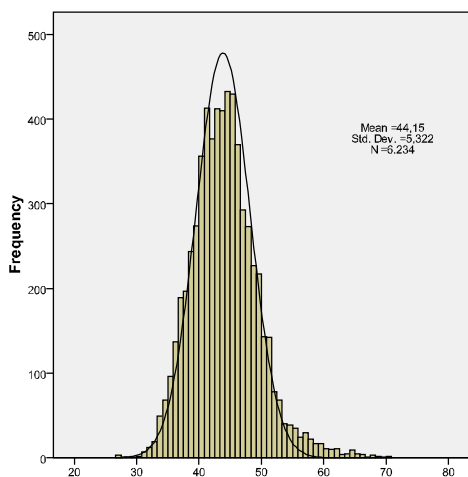
Figura 3.12 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 25 m após a lomba (V25)

Quadro 3.20 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 25 m após a lomba (V25)

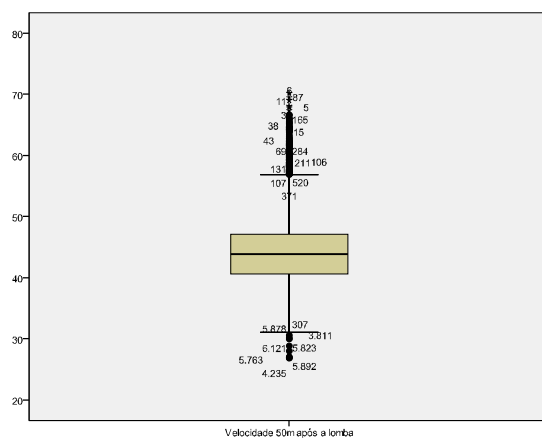
Frequency	Stem & Leaf
1,00	Extremes (= <18,7)
3,00	21 . &
3,00	22 . &
10,00	23 . &&
25,00	24 . 69&&&
57,00	25 . 01245679&
102,00	26 . 0123345566778999
194,00	27 . 00111122333444555566677788889999
272,00	28 . 0001112222333344445555666677778888999999
354,00	29 . 000011111122222233333344444455556666667777888899999999
389,00	30 . 0000001111112222223333334444445555666666777777888899999999
392,00	31 . 0000011111112222223333334444445555666666777777888899999999
464,00	32 . 0000000011111122222233333344444455556666666677777788889999999999
428,00	33 . 00000001111111222222333333444444555566666666777777888899999999
476,00	34 . 000000000111112222223333334444445555666666667777778888999999999999
464,00	35 . 0000000001111111222222333333444444555566666666777777888899999999
459,00	36 . 00000000111111222222333333444444555566666666777777888899999999
398,00	37 . 00000001111111222222333333444444555566666666777777888899999999
330,00	38 . 0000011111112222223333334444445555666666667777778888999999
268,00	39 . 0000112222223333444444555566666666777788889999
227,00	40 . 00011112222233344444555666667778888999
173,00	41 . 000111222334444556677888999
141,00	42 . 00011222334456677888999
96,00	43 . 012233445566789
88,00	44 . 01123345667899
61,00	45 . 0123456789
56,00	46 . 01234568&
48,00	47 . 1236789&
33,00	48 . 0134&&
11,00	49 . 2&
211,00	Extremes (>=49,3)

Stem width: 1,000000
 Each leaf: 6 case(s)
 & denotes fractional leaves.

V50



Normal Q-Q Plot of Velocidade 50m após a lomba



Detrended Normal Q-Q Plot of Velocidade 50m após a lomba

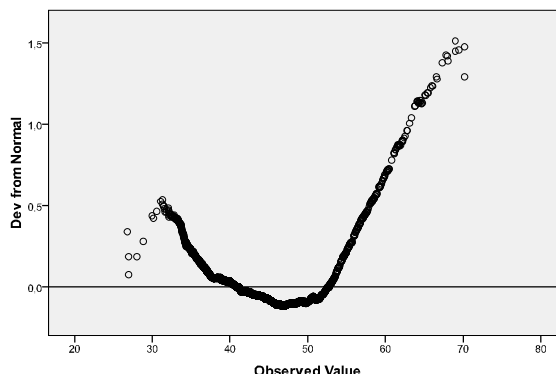
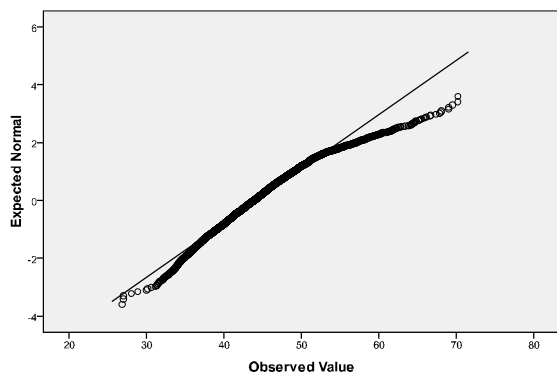


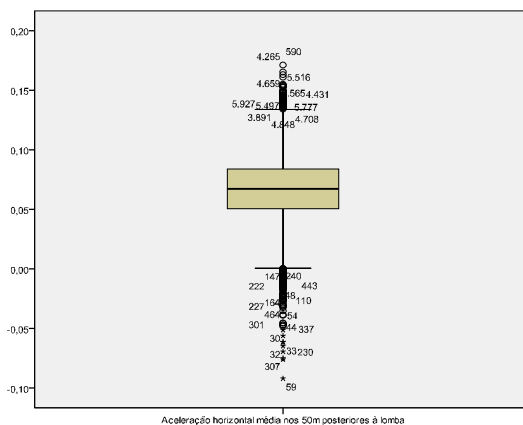
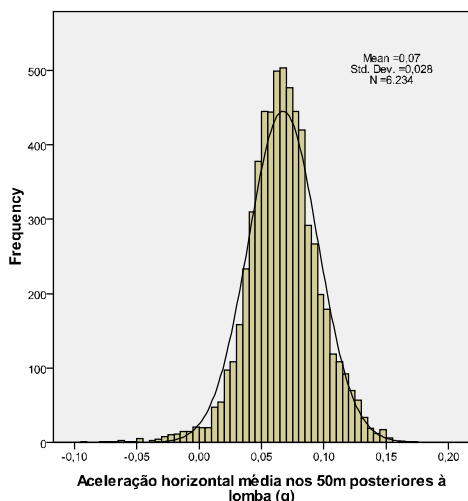
Figura 3.13 – Gráficos de caracterização estatística da velocidade 50 m após a lomba (V25)

Quadro 3.21 – Diagrama do caule e folhas da velocidade 50 m após a lomba (V50)

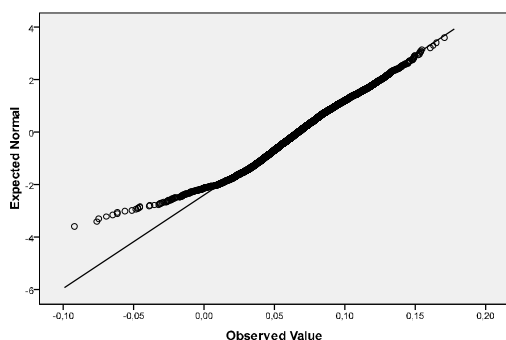
Frequency	Stem & Leaf
8,00	Extremes (<=30,6)
9,00	31 . &
19,00	32 . 1&&
42,00	33 . 345789&&
85,00	34 . 0011233567899&
118,00	35 . 00123334455666778899
178,00	36 . 001112233344455666777888999
245,00	37 . 00001112222333444455566677778889999
266,00	38 . 0000111122223334444555666677777888889999
330,00	39 . 0000111111222233344445555666677778888899999
422,00	40 . 00000011111112222233334444455555666667777788888999999
478,00	41 . 0000000111111122222233333344444455555666667777888888999999
496,00	42 . 0000000111111122222233333344444455556666677777888888999999
484,00	43 . 0000000111111122222233333344444455555666677777888888999999
521,00	44 .
00000000111111122222223333334444445555566666777778888889999999	
510,00	45 . 000000011111112222223333334444445555566666777778888889999999
419,00	46 . 0000000111111222223333334444445555566666777788888999999
330,00	47 . 000001111122223333444445555666677778888899999
284,00	48 . 000001111122223334444555566677788889999
267,00	49 . 00000112222333444455566677778889999
184,00	50 . 001122233444556677788889999
139,00	51 . 000112223444556778899
87,00	52 . 011234556677899
56,00	53 . 0123479&
44,00	54 . 035678&
39,00	55 . 124569&
27,00	56 . 46&&&
147,00	Extremes (>=56,9)

Stem width: 1,000000
 Each leaf: 6 case(s)
 & denotes fractional leaves.

Ahsai



Normal Q-Q Plot of Aceleração horizontal média nos 50m posteriores à lomba



Detrended Normal Q-Q Plot of Aceleração horizontal média nos 50m posteriores à lomba

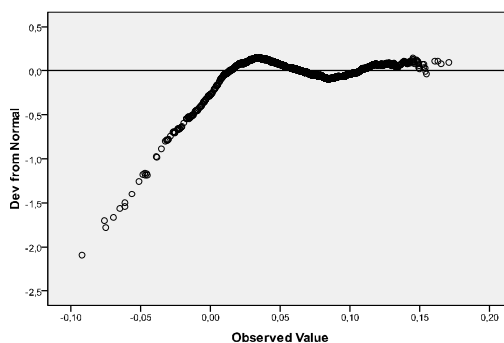


Figura 3.19 – Gráficos de caracterização estatística da aceleração horizontal à saída da lomba (Ahsai)

Quadro 3.27 – Diagrama do caule e folhas da aceleração horizontal à saída da lomba (Ahsai)

Frequency	Stem &	Leaf
104,00	Extremes	(=<,000)
17,00	0 .	04&
20,00	0 .	789&
47,00	1 .	01123344
54,00	1 .	556678899
97,00	2 .	0001122223333444
108,00	2 .	5556667788889999
158,00	3 .	0000111112222333334444
233,00	3 .	555555666666666777777888888888999999
310,00	4 .	0000000001111111112222222223333333334444444444
378,00	4 .	555555555566666666666666677777777778888888888889999999999
445,00	5 .	00000000000001111111111111222222222333333333333333344444444444444
444,00	5 .	55555555555566666666666666666667777777777788888888888888999999999999
499,00	6 .	00000000000000111111111111112222222222223333333333333333344444444444444
503,00	6 .	5555555555555566666666666666666666666777777777778888888888888899999999999999
477,00	7 .	0000000000000001111111111111112222222222222222333333333333344444444444444
445,00	7 .	555555555555555566666666666666666667777777777788888888888889999999999999
420,00	8 .	0000000000000001111111111111112222222222223333333333333333344444444444444
292,00	8 .	5555555555666666666666666666677777788888888888899999999999999
267,00	9 .	00000000011111111122222222233333333333333334444444444
199,00	9 .	555555666666666777788888889999999
179,00	10 .	00000011111222223333334444444
119,00	10 .	555566666777888999999
108,00	11 .	00001111222333444
92,00	11 .	55666777888999
70,00	12 .	00011223334
57,00	12 .	556678899
33,00	13 .	01223
59,00	Extremes	(>=,134)

Stem width: ,0100000
 Each leaf: 6 case(s)
 & denotes fractional leaves.

3.3 Caracterização do Comportamento dos Condutores

3.3.2 Diferenças a Nível de Género

Quadro 3.30 – Resultados da análise *t-test* para as diferenças de comportamento entre condutores e condutoras

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Dabr	Equal variances assumed	7,0372	,0080	-1,5900	6232,0000	,1119	-1,2996	,8173	-2,9018	,3027
	Equal variances not assumed			-1,5667	3806,3969	,1173	-1,2996	,8295	-2,9258	,3267
Vmax	Equal variances assumed	152,1776	,0000	10,5332	6232,0000	,0000	2,6782	,2543	2,1797	3,1766
	Equal variances not assumed			11,5059	4962,6900	,0000	2,6782	,2328	2,2218	3,1345
Ahent	Equal variances assumed	319,5934	,0000	-8,9774	6232,0000	,0000	-,0176	,0020	-,0214	-,0137
	Equal variances not assumed			10,4533	5743,2117	,0000	-,0176	,0017	-,0209	-,0143
CO2ent	Equal variances assumed	28,4033	,0000	2,9299	6232,0000	,0034	,2443	,0834	,0808	,4077
	Equal variances not assumed			3,1466	4751,7934	,0017	,2443	,0776	,0921	,3964
VI	Equal variances assumed	388,7808	,0000	-3,5699	6232,0000	,0004	-,7618	,2134	-1,1802	-,3435
	Equal variances not assumed			-4,1882	5823,7955	,0000	-,7618	,1819	-1,1184	-,4052
Avmax	Equal variances assumed	128,9043	,0000	-,2837	6232,0000	,7766	-,0008	,0030	-,0067	,0050
	Equal variances not assumed			-,3119	5045,2900	,7551	-,0008	,0027	-,0061	,0044
Pitch	Equal variances assumed	45,2894	,0000	-8,7018	6232,0000	,0000	-2,5176	,2893	-3,0848	-1,9504
	Equal variances not assumed			-9,1964	4557,5488	,0000	-2,5176	,2738	-3,0543	-1,9809
Ahsai	Equal variances assumed	151,5506	,0000	5,5941	6232,0000	,0000	,0042	,0008	,0028	,0057
	Equal variances not assumed			6,2386	5223,8490	,0000	,0042	,0007	,0029	,0056
V150	Equal variances assumed	40,0265	,0000	4,5125	6232,0000	,0000	1,0467	,2319	,5920	1,5013
	Equal variances not assumed			4,7444	4496,4905	,0000	1,0467	,2206	,6142	1,4792
CO2sai	Equal variances assumed	199,5270	,0000	7,6889	6232,0000	,0000	2,0584	,2677	1,5336	2,5832
	Equal variances not assumed			8,6308	5305,7820	,0000	2,0584	,2385	1,5908	2,5259

3.3.3 Teste *One-way* ANOVA para as Variáveis Comportamentais

Quadro 3.31 – Resultados do teste de *Levene* para avaliação da homogeneidade das variâncias

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Dabr	5,741	17	3735	,000
Vmax	14,083	17	3735	,000
V_75	13,136	17	3735	,000
VI	52,609	17	3735	,000
V150	18,198	17	3735	,000
V_75VIV150	34,182	17	3735	,000
Ahent	17,357	17	3735	,000
Ahsai	10,384	17	3735	,000
SomaAhoriz	20,518	17	3735	,000
Pitch	23,844	17	3735	,000
CO2tot	16,769	17	3735	,000

Quadro 3.32 – Resultados do teste *One-way* ANOVA para a análise comportamental dos condutores

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Dabr	Between Groups	84868,830	17	4992,284	6,518	,000
	Within Groups	2860653,600	3735	765,905		
	Total	2945522,430	3752			
Vmax	Between Groups	49689,143	17	2922,891	51,341	,000
	Within Groups	212637,731	3735	56,931		
	Total	262326,874	3752			
V_75	Between Groups	46008,437	17	2706,379	51,320	,000
	Within Groups	196968,159	3735	52,736		
	Total	242976,596	3752			
VI	Between Groups	90405,143	17	5317,950	112,040	,000
	Within Groups	177280,407	3735	47,465		
	Total	267685,550	3752			
V150	Between Groups	37553,590	17	2209,035	48,643	,000
	Within Groups	169619,356	3735	45,413		
	Total	207172,946	3752			
V_75VIV150	Between Groups	368032,676	17	21648,981	93,004	,000
	Within Groups	869415,148	3735	232,775		
	Total	1237447,824	3752			
Ahent	Between Groups	4,200	17	,247	63,756	,000
	Within Groups	14,473	3735	,004		
	Total	18,672	3752			
Ahsai	Between Groups	,383	17	,023	29,135	,000
	Within Groups	2,887	3735	,001		
	Total	3,269	3752			
SomaAhoriz	Between Groups	5,472	17	,322	71,562	,000
	Within Groups	16,800	3735	,004		
	Total	22,272	3752			
Pitch	Between Groups	104902,937	17	6170,761	51,787	,000
	Within Groups	445052,369	3735	119,157		
	Total	549955,306	3752			
CO2tot	Between Groups	66269,583	17	3898,211	41,693	,000
	Within Groups	349215,118	3735	93,498		
	Total	415484,701	3752			

3.3.4 Teste de Contraste para a variável V-75VIV150

Quadro 3.33 – Resumo dos resultados do teste *One-Way* ANOVA efectuado para a variável **V-75VIV150**

Soma de V-75, VI e V150					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	510213,586	17	30012,564	90,256	,000
Within Groups	2066995,958	6216	332,528		
Total	2577209,544	6233			

Quadro 3.34 – Contrastes utilizados para a variável **V-75VIV150**

Contrast	Condutor																	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
Entre o grupo mais rápido e os dois restantes	-10	8	8	8	-10	-10	8	8	-10	8	8	8	-10	8	-10	-10	-10	8
Entre o grupo médio e o mais lento	0	-4	-4	-4	0	0	6	6	0	-4	6	6	0	-4	0	0	0	-4

Quadro 3.35 – Resultados do teste de contrastes efectuado para a variável **V-75VIV150**

Contrast		Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)	
Soma de V-75, VI e V150	Assume equal variances	Entre o grupo mais rápido e os dois restantes	-679,0875	38,99498	-17,415	6216	,000
		Entre o grupo médio e o mais lento	-366,6671	15,00584	-24,435	6216	,000
	Does not assume equal variances	Entre o grupo mais rápido e os dois restantes	-679,0875	40,59031	-16,730	2971,904	,000
		Entre o grupo médio e o mais lento	-366,6671	12,30140	-29,807	2407,842	,000

3.3.5 Distância de Abrandamento

Quadro 3.36 – Caracterização estatística da variável **Dabr** por condutor, Condutores 1 a 9

Dabr	Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	90,939	,457	99,776	1,682	94,246	1,831	86,304	2,162	87,697	2,142	88,057	1,481	88,880	1,900	91,789	1,662	84,898	2,139	89,051	2,043
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	90,043	96,465	90,637	82,037	83,473	85,142	85,131	88,514	80,682	85,024									
	Upper Bound	91,836	103,086	97,855	90,571	91,920	90,973	92,629	95,063	89,113	93,077									
5% Trimmed Mean	90,308	99,356	93,979	85,565	87,199	87,331	88,449	91,173	83,874	87,968										
Median	89,840	99,960	94,710	82,465	86,330	89,430	86,330	89,700	84,670	88,450										
Variance	785,054	769,086	744,454	813,209	912,792	558,951	668,116	677,047	1001,778	918,185										
Std. Deviation	28,019	27,732	27,285	28,517	30,212	23,642	25,848	26,020	31,651	30,302										
Minimum	19,070	33,270	35,580	31,800	19,070	33,990	21,630	24,630	29,660	33,120										
Maximum	169,970	169,860	165,750	161,850	169,720	162,780	169,790	167,390	162,080	169,910										
Range	150,900	136,590	130,170	130,050	150,650	128,790	148,160	142,760	132,420	136,790										
Interquartile Range	40,050	36,213	44,873	47,208	44,960	33,900	35,520	36,585	49,530	45,613										
Skewness	,226	,040	,095	,148	,055	,163	,373	,184	,172	,172	,381	,163	,294	,179	,348	,166	,282	,164	,444	,164
Kurtosis	-,222	,080	,018	,294	-,634	,325	-,485	,366	-,298	,343	,220	,304	,347	,355	-,106	,310	-,533	,327	-,253	,327

Quadro 3.37 – Caracterização estatística da variável **Dabr** por condutor, Condutores 10 a 18

Dabr		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		91,321	,1851	98,987	,1542	87,960	,1957	82,027	,2762	86,179	,1855	94,423	,1827	94,669	,1862	89,607	,1920	95,677	,2,188
95% Confidence Interval for	Lower Bound	87,675		95,950		84,101		76,574		82,521		90,824		90,998		85,814		91,345	
	Upper Bound	94,968		102,024		91,819		87,480		89,837		98,023		98,340		93,400		100,009	
5% Trimmed Mean		90,271		98,149		87,660		80,391		85,155		93,640		94,792		89,631		95,146	
Median		89,825		96,180		89,690		70,270		85,360		92,415		94,400		89,910		93,840	
Variance		856,998		568,199		754,263		1258,527		677,756		760,731		710,589		578,983		593,883	
Std. Deviation		29,275		23,837		27,464		35,476		26,034		27,581		26,657		24,062		24,370	
Minimum		33,000		43,130		25,710		25,590		35,830		36,800		29,820		34,730		42,040	
Maximum		169,970		169,880		164,870		169,810		169,770		168,160		169,580		163,130		169,070	
Range		136,970		126,750		139,160		144,220		123,940		131,360		139,760		118,400		127,030	
Interquartile Range		42,098		27,190		41,405		52,775		40,475		37,990		36,550		38,465		28,815	
Skewness		,397	,154	,458	,157	,069	,173	,615	,189	,455	,173	,289	,181	-,127	,170	-,057	,194	,222	,217
Kurtosis		-,310	,307	,434	,314	-,491	,345	-,467	,376	-,449	,345	-,078	,321	,006	,338	-,724	,385	,246	,431

Quadro 3.38 – Caracterização estatística da variável **Vmax** por condutor, Condutores 1 a 9

Vmax		Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		63,742	,136	65,732	,1406	60,704	,143	61513	,539	62,436	,659	66,574	,440	66,769	,490	59,123	,393	55,270	,343	66,531	,557
95% Confidence Interval for	Lower Bound	63,474		64,932		59,891		60,449		61,135		65,708		65,803		58,348		54,594		65,433	
	Upper Bound	64,010		66,532		61,518		62,578		63,736		67,440		67,736		59,898		55,945		67,628	
5% Trimmed Mean		63,595		65,834		60,555		61,511		62,047		66,556		66,762		59,025		55,303		66,577	
Median		63,468		65,732		60,338		61,924		62,374		66,655		67,151		58,853		55,615		66,995	
Variance		69,917		44,890		37,837		50,587		86,540		49,333		44,423		37,895		25,742		68,218	
Std. Deviation		8,362		6,700		6,151		7,112		9,303		7,024		6,665		6,156		5,074		8,259	
Minimum		38,558		46,475		46,853		43,349		45,104		47,953		48,158		38,558		42,036		44,802	
Maximum		92,640		82,209		78,741		78,644		88,637		86,165		86,835		76,363		69,406		85,248	
Range		54,083		35,734		31,888		35,295		43,532		38,212		38,676		37,806		27,371		40,446	
Interquartile Range		11,626		8,210		7,782		10,038		13,079		8,824		9,324		7,549		7,025		10,702	
Skewness		-,239	,040	-,209	,148	,375	,163	,022	,184	,555	,172	,113	,153	,028	,179	,183	,156	-,127	,164	-,082	,164
Kurtosis		-,145	,080	-,129	,294	,060	,325	-,451	,366	,078	,343	-,022	,304	,061	,355	,762	,310	-,174	,327	-,089	,327

3.3.6 Velocidades

Quadro 3.39 – Caracterização estatística da variável **Vmax** por condutor, Condutores 10 a 18

Vmax		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		68,724	,494	61,492	,523	58,834	,439	69,241	,689	65,160	,484	65,633	,600	65,044	,706	64,936	,622	64,215	,662
95% Confidence Interval for	Lower Bound	67,751		60,462		57,968		67,881		64,205		64,451		63,653		63,707		62,904	
	Upper Bound	69,698		62,522		59,701		70,600		66,116		66,815		66,435		66,165		65,526	
5% Trimmed Mean		68,697		61,497		58,829		69,181		65,030		65,354		64,899		64,763		64,331	
Median		69,252		62,730		58,471		69,205		65,025		64,505		64,612		64,435		64,917	
Variance		61,083		65,289		38,036		78,256		46,241		82,052		102,062		60,776		54,417	
Std. Deviation		7,816		8,080		6,167		8,846		6,800		9,058		10,103		7,796		7,377	
Minimum		48,489		42,683		45,151		47,680		48,129		47,583		43,058		46,957		48,565	
Maximum		90,773		83,906		73,072		91,331		84,730		89,935		89,676		92,640		78,162	
Range		42,284		41,223		27,921		43,651		36,601		42,353		46,619		45,683		29,597	
Interquartile Range		10,630		11,741		8,698		12,428		8,973		12,441		17,268		9,205		11,629	
Skewness		-,021	,154	-,101	,157	,032	,173	,078	,189	,275	,173	,446	,161	,193	,170	,379	,194	-,309	,217
Kurtosis		-,362	,307	-,469	,314	-,449	,345	-,442	,376	,069	,345	-,124	,321	-,918	,338	,769	,385	-,800	,431

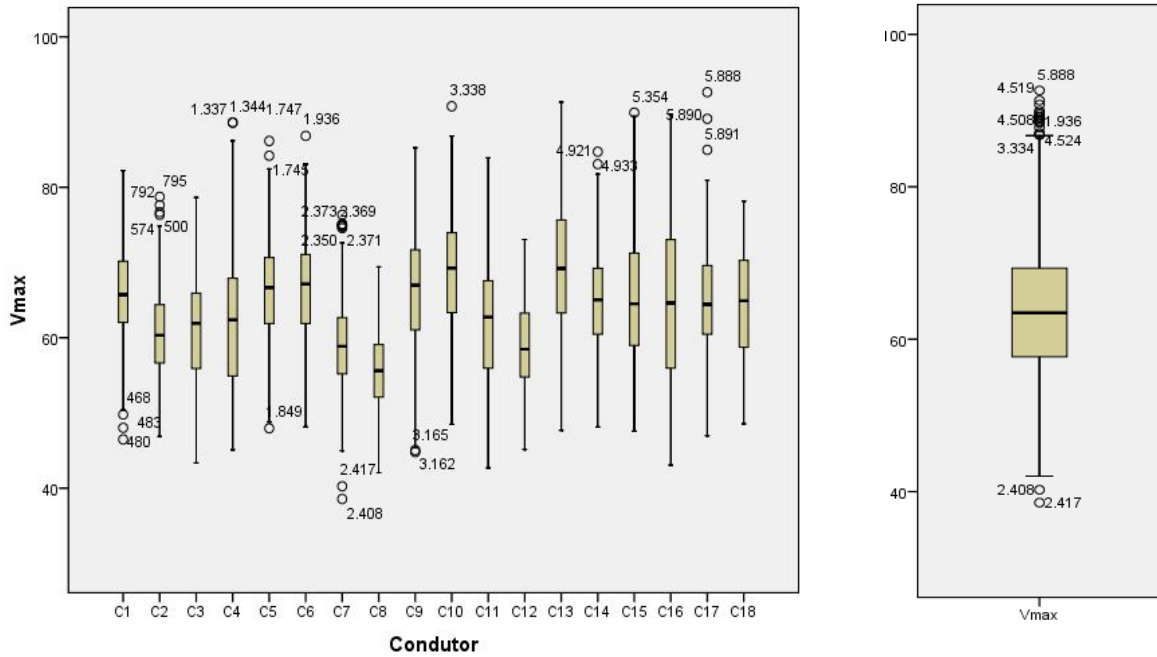


Figura 3.22 – Caixas de bigodes da variável **Vmax** por condutor (a) e geral (b)

Quadro 3.40 – Caracterização estatística da variável **V-75** por condutor, Condutores 1 a 9

V-75	Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	61585	0,131	63,688	,397	58,790	,405	59,793	,564	60,065	,644	65,097	,433	65,049	,491	56,975	,357	53,674	,363	63,999	,541
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	61327	62,906	57,992	58,679	58,796	64,244	64,081	56,272	52,958	62,932									
	Upper Bound	61842	64,470	59,588	60,907	61,335	65,949	66,017	57,678	54,390	65,065									
5% Trimmed Mean	61557	63,813	58,787	59,849	59,774	65,143	65,233	57,155	64,249											
Median	61755	64,426	58,460	60,210	59,842	65,406	64,957	57,191	54,115	64,638										
Variance	64,759	42,882	36,384	55,419	82,475	47,767	44,540	31,250	28,905	64,402										
Std. Deviation	8,047	6,548	6,032	7,444	9,082	6,911	6,674	5,590	5,376	8,025										
Minimum	32,151	46,018	39,939	41,424	42,633	46,770	46,576	32,151	40,000	40,129										
Maximum	87,079	80,849	77,597	77,450	85,863	82,209	84,237	71,845	68,302	82,651										
Range	54,928	34,831	37,658	36,025	43,230	35,439	37,662	39,694	28,302	42,522										
Interquartile Range	11,227	8,259	7,897	10,522	14,122	9,058	9,363	6,721	6,799	9,365										
Skewness	0,033	0,040	-,378	,148	-,048	,163	-,107	,184	-,172	-,044	,163	-,334	,179	-,617	,156	-,175	,164	-,426	,164	
Kurtosis	(0,212)	0,080	-,180	,294	,069	,325	-,434	,366	-,283	,343	-,043	,304	,089	,355	1,685	,310	-,333	,327	,405	,327

Quadro 3.41 – Caracterização estatística da variável **V-75** por condutor, Condutores 10 a 18

V-75	C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	66,568	,485	58,920	,494	56,810	,441	65,470	,692	62,995	,457	63,075	,530	62,851	,672	63,125	,549	61,814	,583
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	65,613	57,948	55,941	64,104	62,094	62,030	61,526	62,041	60,659								
	Upper Bound	67,523	59,893	57,679	66,836	63,897	64,119	64,177	64,210	62,968								
5% Trimmed Mean	66,669	59,063	56,902	65,492	63,014	62,893	62,795	63,176	61,965									
Median	67,405	60,457	57,147	65,683	63,317	62,187	62,475	63,457	62,741									
Variance	58,838	58,252	38,230	78,955	41,170	64,022	92,637	47,338	42,188									
Std. Deviation	7,671	7,632	6,183	8,886	6,416	8,001	9,625	6,880	6,495									
Minimum	47,252	39,939	41,518	44,982	46,705	41,424	39,043	45,180	46,129									
Maximum	83,806	75,518	70,536	85,662	81,921	87,079	84,665	80,248	74,737									
Range	36,554	35,579	29,018	40,680	35,216	45,655	45,622	35,068	28,608									
Interquartile Range	11,373	11,719	8,371	11,344	8,647	10,900	14,946	9,079	9,339									
Skewness	-,239	,164	-,294	,157	-,305	,173	-,097	,189	-,084	,173	,336	,161	-,110	,170	-,177	,194	-,455	,217
Kurtosis	-,586	,307	-,658	,314	-,336	,345	-,361	,376	-,113	,345	-,007	,321	-,827	,338	-,186	,385	-,474	,431

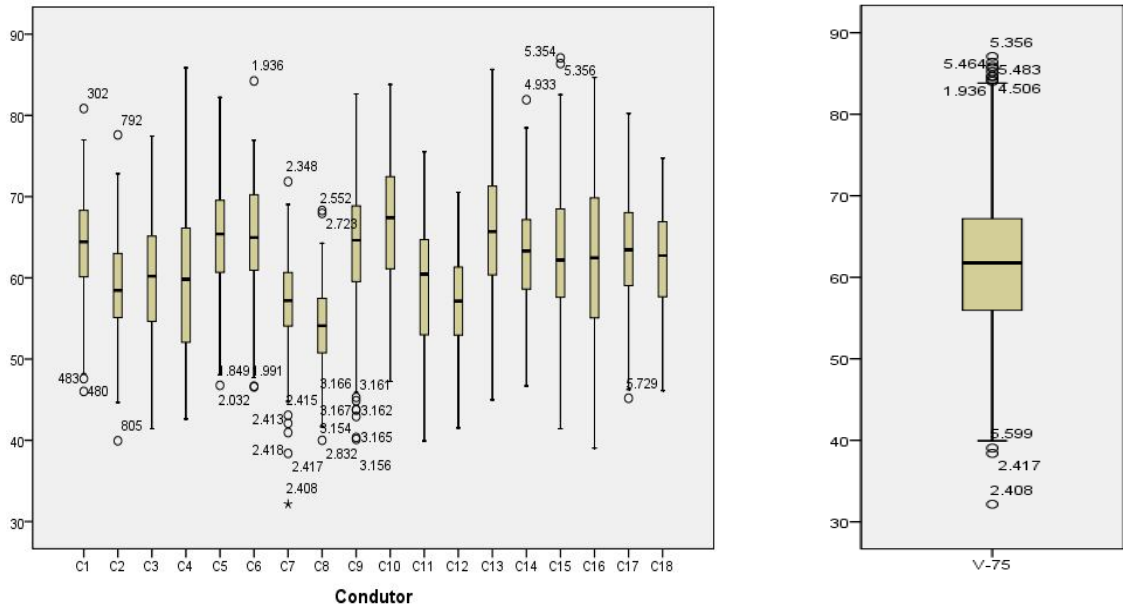


Figura 3.23 – Caixas de bigodes da variável V-75 por condutor (a) e geral (b)

Quadro 3.42 – Caracterização estatística da variável VI por condutor, Condutores 1 a 9

VI	Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	33,335	,138	37,672	,284	32,179	,313	36,243	,484	34,970	,574	36,600	,544	36,807	,444	28,272	,302	30,504	,310	34,841	,601
95% Confidence Interval for	Lower Bound		37,114		31,561		35,288		33,839		35,529		35,990		27,677		29,893		33,656	
	Upper Bound		38,230		32,797		37,199		36,102		37,671		37,623		28,867		31,114		36,026	
5% Trimmed Mean	33,069		37,619		32,099		36,121		34,537		36,484		36,709		28,160		30,466		34,592	
Median	32,644		37,248		31,824		36,162		33,550		35,104		36,759		27,813		30,615		33,496	
Variance	71,345		21,863		21,817		40,797		65,549		75,399		31,675		22,362		21,016		79,535	
Std. Deviation	8,447		4,676		4,671		6,387		8,096		8,683		5,628		4,729		4,584		8,916	
Minimum	9,917		27,791		10,766		18,568		6,597		19,259		22,795		17,155		16,507		17,496	
Maximum	69,637		51,004		50,205		53,835		63,011		57,324		54,683		41,964		44,935		63,248	
Range	59,719		23,212		39,439		35,266		47,414		38,065		31,888		24,809		28,428		45,752	
Interquartile Range	10,660		6,460		5,915		7,952		10,629		13,406		7,255		6,590		5,892		12,148	
Skewness	,517	,040	,264	,148	,205	,163	,294	,184	,791	,172	,297	,153	,316	,179	,355	,166	,085	,164	,494	,164
Kurtosis	,497	,080	-,556	,294	2,498	,325	,127	,366	,777	,343	-,826	,304	,326	,355	-,166	,310	,476	,327	-,301	,327

Quadro 3.43 – Caracterização estatística da variável VI por condutor, Condutores 10 a 18

VI	C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	28,337	,467	21,546	,296	29,413	,489	32,904	,514	32,533	,357	38,455	,816	42,974	,522	36,293	,438	31,412	,486
95% Confidence Interval for	Lower Bound		20,962		28,448		31,889		31,828		36,847		41,944		35,427		30,451	
	Upper Bound		22,130		30,378		33,918		33,237		40,062		44,004		37,159		32,373	
5% Trimmed Mean	28,148		21,371		29,190		32,717		32,308		37,986		42,791		36,340		31,281	
Median	27,827		21,511		28,799		32,457		32,158		34,331		41,655		36,554		31,054	
Variance	54,578		21,004		47,166		43,575		25,138		151,739		55,911		30,174		29,245	
Std. Deviation	7,388		4,583		6,868		6,601		5,014		12,316		7,477		5,493		5,408	
Minimum	9,917		11,831		16,590		18,982		23,191		19,640		27,845		22,000		21,403	
Maximum	47,640		43,529		49,514		56,755		50,137		67,385		69,637		50,263		43,403	
Range	37,723		31,698		32,924		37,773		26,946		47,745		41,791		28,263		22,000	
Interquartile Range	10,299		6,327		11,442		8,878		6,876		21,323		11,538		7,885		7,539	
Skewness	,356	,154	,648	,157	,429	,173	,514	,189	,719	,173	,488	,161	,455	,170	-,154	,194	,332	,217
Kurtosis	-,319	,307	1,611	,314	-,504	,345	1,158	,376	,638	,345	-1,060	,321	-,152	,338	-,366	,385	-,499	,431

Quadro 3.44 – Caracterização estatística da variável **V150** por condutor, Condutores 1 a 9

V150	Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	58,792	,121	62,043	,316	57,077	,445	57,048	,518	56,724	,522	60,315	,356	59,845	,434	55,366	,371	51,106	,331	60,911	,538
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	58,554	61,420	56,199	56,026	55,895	59,613	58,989	54,636	50,454	59,851									
	Upper Bound	59,030	62,666	57,954	58,071	57,752	60,702	56,096	51,757	61,971										
5% Trimmed Mean	58,772	61988	57,209	57,304	56,716	60,414	59,925	55,264	51,62	61,021										
Median	58,730	62,174	57,142	58,295	57,014	61,065	59,705	55,360	51,169	60,901										
Variance	55,217	27,245	44,027	46,669	54,141	32,322	34,870	33,641	23,928	63,625										
Std. Deviation	7,431	5,220	6,635	6,831	7,358	5,685	5,905	5,800	4,892	7,977										
Minimum	26,989	50,615	35,536	38,460	37,137	43,011	39,561	41,741	26,989	34,374										
Maximum	85,932	73,194	70,349	69,489	77,439	75,493	76,090	70,896	62,414	78,835										
Range	58,942	22,579	34,813	31,029	40,302	32,482	36,529	29,165	35,424	44,460										
Interquartile Range	10,112	7,822	10,344	10,663	9,759	7,658	8,809	7,743	6,885	11,948										
Skewness	,032	,040	,148	-,234	,163	-,543	,184	-,045	,172	-,333	,163	-,194	,179	,172	,166	-,521	,164	-,235	,164	
Kurtosis	,037	,080	-,791	,294	-,353	,325	-,402	,366	-,073	,343	,117	,304	,060	,355	-,129	,310	1,645	,327	-,298	,327

Quadro 3.45 – Caracterização estatística da variável **V150** por condutor, Condutores 10 a 18

V150	C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	60,780	,424	55,924	,467	55,103	,408	63,069	,561	58,221	,376	61,303	,565	62,386	,710	60,065	,516	62,798	,485
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	59,945	55,004	54,298	61,962	57,478	60,188	60,986	59,046	61,839								
	Upper Bound	61,615	56,844	55,907	64,177	58,963	62,417	63,785	61,085	63,757								
5% Trimmed Mean	60,799	56,066	55,210	63,395	58,270	61,278	62,260	59,955	62,835									
Median	60,477	56,378	55,014	64,320	58,486	60,879	62,291	59,860	63,282									
Variance	44,979	52,104	32,770	51,916	27,911	72,899	103,280	41,807	29,112									
Std. Deviation	6,707	7,218	5,724	7,205	5,283	8,538	10,163	6,466	5,396									
Minimum	40,673	36,410	33,565	38,180	44,471	35,025	43,198	43,004	48,809									
Maximum	75,669	71,126	69,694	79,428	70,640	80,453	85,932	84,676	76,248									
Range	34,996	34,716	36,129	41,248	26,169	45,428	42,734	41,673	27,439									
Interquartile Range	10,466	10,248	6,865	8,759	8,621	11,502	16,491	7,732	7,349									
Skewness	-,028	,154	-,308	,167	-,326	,173	-,699	,189	-,178	,173	,064	,161	-,121	,170	,413	,194	-,078	,217
Kurtosis	-,670	,307	-,571	,314	,914	,345	,705	,376	-,626	,345	-,422	,321	-,854	,338	1,261	,385	-,272	,431

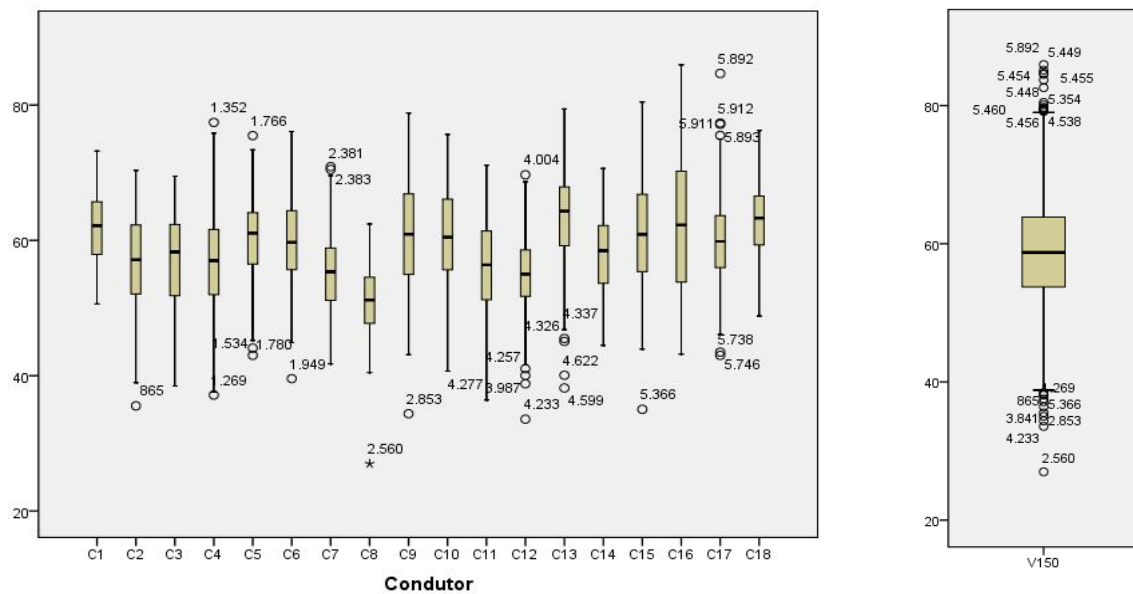


Figura 3.24 – Caixas de bigodes da variável **V150** por condutor (a) e geral (b)

Quadro 3.46 – Caracterização estatística da variável **V-75VIV150** por condutor, Condutores 1 a 9

V-75, VI e V150		Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		153,712	,296	163,403	,763	148,045	,864	153,085	1,090	151,759	1,359	162,011	,932	161,701	,885	140,613	,690	135,283	,733	159,750	1,177
95% Confidence Interval for	Lower Bound	153,130		161,900		146,343		150,933		149,079		160,176		159,956		139,254		133,839		157,430	
	Upper Bound	154,293		164,906		149,747		155,237		154,439		163,846		163,447		141,972		136,727		162,071	
5% Trimmed Mean		153,271		163,120		148,033		152,951		151,192		162,075		161,489		140,407		135,330		159,852	
Median		152,597		163,388		148,421		153,011		151,360		161,313		160,950		139,629		135,475		159,246	
Variance		329,810		158,487		165,634		206,910		367,616		221,390		144,833		116,628		117,556		304,927	
Std. Deviation		18,161		12,589		12,870		14,384		19,173		14,879		12,035		10,799		10,842		17,462	
Minimum		104,245		133,403		105,281		120,550		12,755		116,597		133,263		108,219		104,320		107,683	
Maximum		228,342		194,094		188,522		195,928		220,953		197,748		204,320		171,712		164,133		212,101	
Range		124,097		60,691		83,241		75,378		108,198		81,151		71,058		63,493		59,813		104,417	
Interquartile Range		24,439		19,599		16,940		19,755		26,867		20,277		14,617		13,698		15,863		22,769	
Skewness		,382	,040	,269	,148	,007	,163	,173	,184	,420	,172	-,014	,153	,360	,179	,356	,156	-,097	,164	-,045	,164
Kurtosis		,252	,080	-,617	,294	,271	,325	-,154	,366	,212	,343	-,088	,304	,867	,355	,298	,310	-,246	,327	,399	,327

Quadro 3.47 – Caracterização estatística da variável **V-75VIV150** por condutor, Condutores 10 a 18

V-75, VI e V150		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		155,685	,981	136,391	,808	141,326	,828	161,443	1,257	153,749	,799	162,832	1,596	168,211	1,628	159,484	1,079	156,023	1,003
95% Confidence Interval for	Lower Bound	153,752		134,799		139,692		158,962		152,173		159,687		165,001		167,352		154,038	
	Upper Bound	157,618		137,983		142,959		163,924		155,324		165,977		171,421		161,616		158,009	
5% Trimmed Mean		155,831		136,465		141,132		161,407		153,688		161,912		168,062		159,448		156,254	
Median		156,469		136,892		140,309		161,525		153,014		160,928		169,317		159,043		157,173	
Variance		240,799		156,100		135,136		260,505		125,745		580,843		543,325		182,862		124,784	
Std. Deviation		15,518		12,494		11,625		16,140		11,214		24,101		23,309		13,523		11,171	
Minimum		119,194		104,245		107,353		120,320		127,133		122,223		116,047		123,403		125,043	
Maximum		197,791		165,381		174,327		203,288		182,338		228,342		222,665		189,331		188,320	
Range		78,597		61,137		66,975		82,968		55,205		106,119		106,619		65,928		63,277	
Interquartile Range		24,557		19,504		13,493		23,054		15,775		36,379		38,525		18,692		13,775	
Skewness		-,120	,154	-,133	,157	,295	,173	-,003	,189	,076	,173	,431	,161	,076	,170	,061	,194	-,309	,217
Kurtosis		-,716	,307	-,659	,314	,514	,345	-,173	,376	-,371	,345	-,473	,321	-,961	,338	-,304	,385	,565	,431

3.3.7 Modelos Log-Linear

Quadro 3.48 – Valores esperados e observados para as variáveis **CO2totR** e **VmaxR**

CO2totR	VmaxR	Observed		Expected		Residual	Standardized Residual	Adjusted Residual	Deviance
		Count	%	Count	%				
0	0	219,500	5,8%	259,831	3,8%	-40,331	-2,502	-4,071	-2,571
	1	735,500	19,6%	894,228	12,9%	-158,728	-5,308	.	-5,478
	2	,500	,0%	153,774	2,2%	-153,274	-12,360	-15,552	-17,344
1	0	442,500	11,8%	443,264	6,4%	-,764	-,036	.	-,036
	1	222,500	5,9%	261,705	3,8%	-39,205	-2,423	-3,967	-2,488
	2	1357,500	36,1%	3967,064	57,4%	-2609,564	-41,432	.	-48,038
2	0	,500	,0%	153,774	2,2%	-153,274	-12,360	-15,552	-17,344
	1	363,500	9,7%	366,846	5,3%	-3,346	-,175	-,502	-,175
	2	415,500	11,1%	415,505	6,0%	-,005	,000	-,003	,000

Quadro 3.49 – Valores esperados e observados para as variáveis **CO2totR** e **VmaxR**

CO2totR	V75MV1 50R	Observed		Expected		Residual	Standardized Residual	Adjusted Residual	Deviance
		Count	%	Count	%				
0	0	219,500	5,8%	219,500	5,8%	,000	,000	,000	,000
	1	373,500	9,9%	373,500	9,9%	,000	,000	0	,000
	2	362,500	9,6%	362,500	9,6%	,000	,000	,000	,000
1	0	442,500	11,8%	442,500	11,8%	,000	,000	2,66E-07	,000
	1	419,500	11,2%	419,500	11,2%	,000	,000	.	,000
	2	1160,500	30,9%	1160,500	30,9%	,000	,000	-8E-05	,000
2	0	239,500	6,4%	239,500	6,4%	,000	,000	,000	,000
	1	374,500	10,0%	374,500	10,0%	,000	,000	.	,000
	2	165,500	4,4%	165,500	4,4%	,000	,000	,000	,000

Quadro 3.50 – Valores esperados e observados para as variáveis **CO2totR** e **V150R**

CO2totR	V150R	Observed		Expected		Residual	Standardized Residual	Adjusted Residual	Deviance
		Count	%	Count	%				
0	0	219,500	5,8%	219,500	5,8%	,000	,000	.	,000
	1	373,500	9,9%	373,500	9,9%	,000	,000	8,18E-07	,000
	2	362,500	9,6%	362,500	9,6%	,000	,000	.	,000
1	0	,500	,0%	,500	,0%	,000	,000	-2,3E-05	,000
	1	861,500	22,9%	861,500	22,9%	,000	,000	.	,000
	2	1160,500	30,9%	1160,500	30,9%	,000	,000	7,4E-07	,000
2	0	,500	,0%	,500	,0%	,000	,000	,000	,000
	1	239,500	6,4%	239,500	6,4%	,000	,000	.	,000
	2	539,500	14,4%	539,500	14,4%	,000	,000	,000	,000

Quadro 3.51 – Valores esperados e observados para as variáveis **CO2totR** e **AhsaiR**

CO2totR	AhsaiR	Observed		Expected		Residual	Standardized Residual	Adjusted Residual	Deviance
		Count	%	Count	%				
0	0	623,500	16,6%	623,500	16,6%	,000	,000	.	,000
	1	331,500	8,8%	331,500	8,8%	,000	,000	.	,000
	2	,500	,0%	,500	,0%	,000	,000	,000	,000
1	0	610,500	16,2%	610,500	16,2%	,000	,000	.	,000
	1	1411,500	37,6%	1411,500	37,6%	,000	,000	.	,000
	2	,500	,0%	,500	,0%	,000	,000	-2,3E-05	,000
2	0	,500	,0%	,500	,0%	,000	,000	,000	,000
	1	250,500	6,7%	250,500	6,7%	,000	,000	,000	,000
	2	528,500	14,1%	528,500	14,1%	,000	,000	,000	,000

3.3.8 Acelerações Horizontais

Quadro 3.52 – Caracterização estatística da variável **Ahent** por condutor, Condutores 1 a 9

Ahent	Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	,0672	,0005	,0644	,0015	,0684	,0017	,0632	,0024	,0510	,0022	,0625	,0018	,0546	,0029	,0683	,0013	,0578	,0011	,0769	,0023
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,0663	,0615	,0651	,0583	,0467	,0589	,0489	,0659	,0557	,0724									
	Upper Bound	,0682	,0674	,0717	,0680	,0554	,0661	,0604	,0708	,0600	,0814									
5% Trimmed Mean	,0681	,0652	,0689	,0643	,0518	,0641	,0563	,0684	,0582	,0776										
Median	,0689	,0662	,0690	,0681	,0516	,0654	,0647	,0697	,0588	,0795										
Variance	,0009	,0006	,0006	,0010	,0010	,0009	,0016	,0004	,0003	,0012										
Std. Deviation	,0295	,0248	,0249	,0323	,0309	,0293	,0397	,0197	,0162	,0340										
Minimum	-,0921	-,0315	-,0311	-,0285	-,0615	-,0513	-,0921	-,0009	-,0062	-,0456										
Maximum	,1709	,1221	,1269	,1407	,1521	,1276	,1404	,1172	,1011	,1709										
Range	,2629	,1536	,1580	,1692	,2135	,1789	,2324	,1181	,1063	,2164										
Interquartile Range	,0354	,0314	,0342	,0380	,0324	,0338	,0467	,0257	,0219	,0410										
Skewness	-,5470	,0400	-,5878	,1477	-,3746	,1633	-,5158	,1841	-,4026	,1723	-,8388	,1625	-,8269	,1787	-,1331	,1555	-,4403	,1644	-,4568	,1640
Kurtosis	15,889	,0799	9,605	,2944	3,827	,3252	5,316	,3662	14,952	,3430	14,020	,3038	10,683	,3555	2,741	,3099	7,633	,3274	9,360	,3266

Quadro 3.53 – Caracterização estatística da variável **Ahent** por condutor, Condutores 10 a 18

Ahent	C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	,0768	,0015	,0871	,0015	,0681	,0018	,0826	,0025	,0599	,0020	,0598	,0018	,0606	,0022	,0641	,0024	,0892	,0021
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,0738	,0843	,0645	,0777	,0561	,0562	,0562	,0594	,0850								
	Upper Bound	,0798	,0900	,0717	,0875	,0638	,0634	,0651	,0687	,0933								
5% Trimmed Mean	,0771	,0872	,0696	,0844	,0608	,0608	,0608	,0636	,0899									
Median	,0803	,0854	,0718	,0841	,0626	,0613	,0595	,0608	,0884									
Variance	,0006	,0005	,0007	,0010	,0008	,0008	,0010	,0009	,0005									
Std. Deviation	,0242	,0226	,0258	,0318	,0274	,0277	,0321	,0296	,0234									
Minimum	-,0447	-,0007	-,0323	-,0760	-,0695	-,0399	-,0648	-,0108	,0327									
Maximum	,1407	,1498	,1168	,1530	,1225	,1244	,1652	,1492	,1330									
Range	,1554	,1505	,1491	,2290	,1920	,1634	,2300	,1600	,1003									
Interquartile Range	,0354	,0308	,0333	,0378	,0306	,0342	,0334	,0368	,0328									
Skewness	-,2837	,1540	-,0887	,1575	-,9616	,1732	-,13231	,1890	-,8634	,1732	-,5324	,1612	-,1821	,1698	2,500	,1937	-,3639	,2174
Kurtosis	2,153	,3068	3,763	,3137	14,683	,3447	5,0218	,3758	3,0041	,3447	,9317	,3210	1,7515	,3381	,1293	,3850	-,2579	,4315

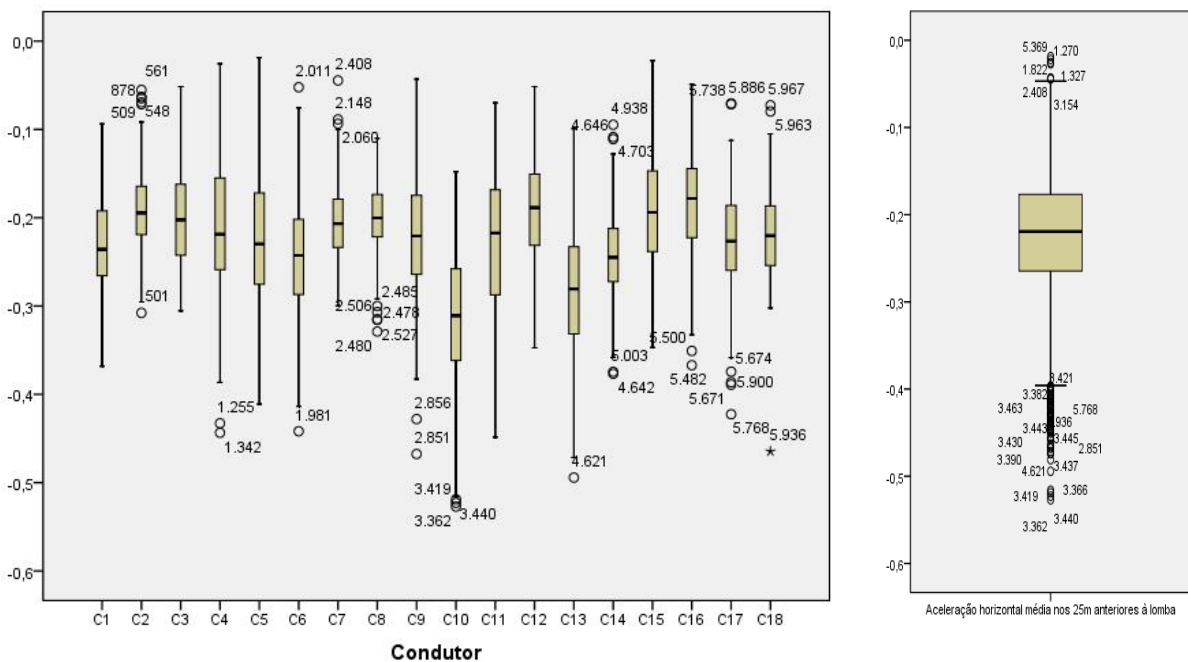


Figura 3.25 – Caixas de bigodes da variável **Ahent** por condutor (a) e geral (b)

Quadro 3.54 – Caracterização estatística da variável **Ahsai** por condutor, Condutores 1 a 9

Ahsai		Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		,0695	,0004	,0657	,0014	,0689	,0016	,0671	,0021	,0567	,0018	,0662	,0015	,0639	,0023	,0686	,0012	,0581	,0011	,0792	,0021
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,0687		,0629		,0657		,0629		,0531		,0631		,0594		,0662		,0560		,0751	
	Upper Bound	,0704		,0684		,0721		,0713		,0602		,0692		,0683		,0711		,0602		,0833	
5% Trimmed Mean		,0694		,0659		,0691		,0671		,0557		,0665		,0637		,0685		,0584		,0791	
Median		,0697		,0668		,0694		,0693		,0548		,0671		,0670		,0699		,0588		,0803	
Variance		,0007		,0005		,0006		,0007		,0006		,0006		,0008		,0004		,0002		,0009	
Std. Deviation		,0260		,0228		,0240		,0274		,0242		,0241		,0290		,0192		,0157		,0306	
Minimum		,0001		,0014		,0085		,0008		,015		,0033		,0043		,0125		,0081		,0037	
Maximum		,1709		,1221		,1269		,1407		,1521		,1276		,1404		,1172		,1001		,1709	
Range		,1708		,1207		,1184		,1399		,1406		,1243		,1361		,1048		,0920		,1672	
Interquartile Range		,0345		,0314		,0339		,0347		,0304		,0327		,0379		,0256		,0219		,0393	
Skewness		,1036	,0405	-,1768	,1488	-,1474	,1637	,0225	,1884	,0673	,1791	-,1204	,1559	-,0174	,1884	,0056	,1559	-,2301	,1648	-,0013	,1659
Kurtosis		,0024	,0810	-,1918	,2965	-,4533	,3259	-,1290	,3747	,9729	,3564	-,1756	,3105	-,2460	,3747	-,0882	,3105	,0463	,3281	,0404	,3303

Quadro 3.55 – Caracterização estatística da variável **Ahsai** por condutor, Condutores 10 a 18

Ahsai		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		,0772	,0015	,0875	,0014	,0703	,0016	,0844	,0021	,0619	,0017	,0629	,0016	,0632	,0020	,0654	,0023	,0892	,0021
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,0742		,0847		,0671		,0802		,0585		,0597		,0593		,0609		,0850	
	Upper Bound	,0801		,0903		,0734		,0887		,0652		,0660		,0672		,0699		,0933	
5% Trimmed Mean		,0773		,0873		,0708		,0851		,0618		,0627		,0625		,0645		,0899	
Median		,0803		,0857		,0728		,0842		,0636		,0627		,0605		,0610		,0884	
Variance		,0006		,0005		,0005		,0007		,0006		,0006		,0008		,0008		,0005	
Std. Deviation		,0236		,0220		,0222		,0273		,0238		,0236		,0285		,0282		,0234	
Minimum		,012		,0341		,0094		,0023		,0027		,0001		,0028		,0007		,0327	
Maximum		,1407		,1498		,1168		,1530		,1225		,1244		,1652		,1492		,1330	
Range		,1295		,1168		,1074		,1506		,1198		,1243		,1624		,1485		,1003	
Interquartile Range		,0351		,0309		,0315		,0377		,0297		,0332		,0325		,0360		,0328	
Skewness		-,1184	,1543	,1236	,1578	-,3935	,1754	-,2667	,1901	,0023	,1750	,1307	,1644	,4884	,1723	,4634	,1955	-,3639	,2174
Kurtosis		-,3247	,3074	-,2783	,3143	-,3138	,3491	,4166	,3780	,0086	,3482	-,2228	,3274	,7969	,3430	-,0200	,3886	-,2579	,4315

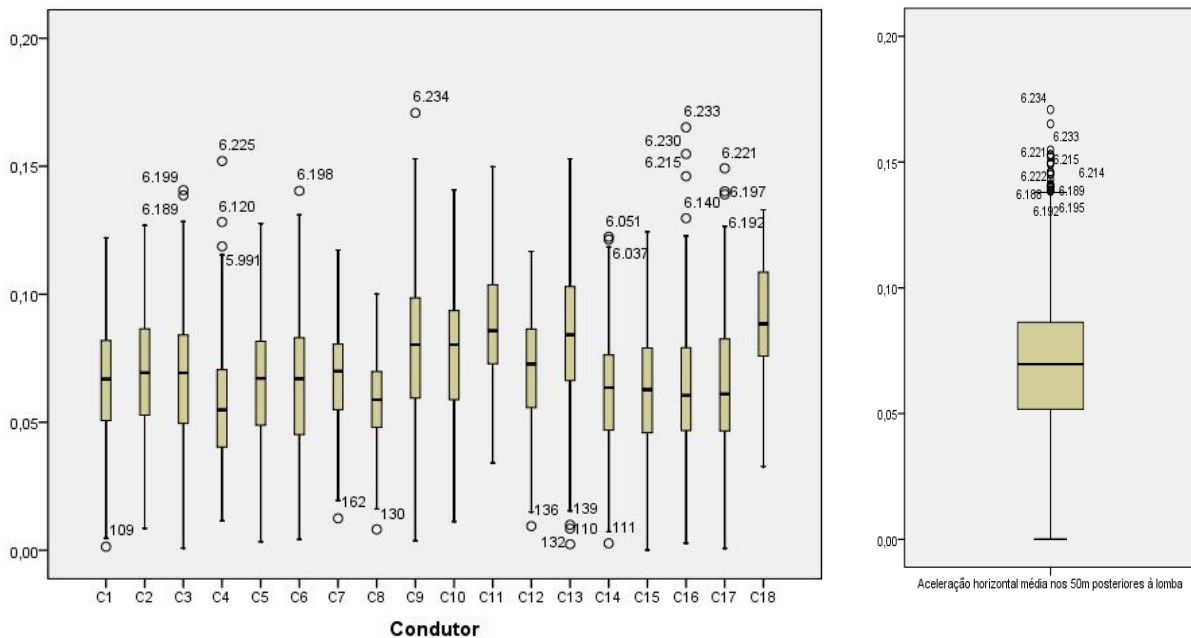


Figura 3.26 – Caixas de bigodes da variável **Ahsai** por condutor (a) e geral (b)

Quadro 3.56 – Caracterização estatística da variável **AhentAhsai** por condutor, Condutores 1 a 9

Soma Ahent e Ahsai		Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		,291	,001	,2950	,0031	,2606	,0033	,2651	,0054	,2674	,0056	,2905	,0049	,3049	,0055	,2733	,0029	,2589	,0029	,2995	,0050
95% Confidence Interval for	Lower Bound	,289		,2888		,2541		,2543		,2564		,2808		,2939		,2675		,2532		,2897	
	Upper Bound	,294		,3012		,2672		,2758		,2783		,3001		,3158		,2791		,2647		,3093	
5% Trimmed Mean		,290		,2957		,2608		,2660		,2663		,2912		,3042		,2743		,2581		,2994	
Median		,286		,2959		,2621		,2672		,2675		,3007		,3030		,2762		,2571		,3040	
Variance		,006		,0027		,0024		,0052		,0062		,0061		,0057		,0021		,0019		,0055	
Std. Deviation		,077		,0516		,0492		,0718		,0785		,0782		,0753		,0461		,0433		,0739	
Minimum		,060		,1722		,0817		,0805		,0596		,0664		,1176		,0965		,1624		,0954	
Maximum		,634		,4396		,3905		,4288		,4810		,4730		,5133		,4026		,4095		,5471	
Range		,574		,2674		,3087		,3483		,4214		,4066		,3956		,3060		,2471		,4518	
Interquartile Range		,093		,0698		,0607		,0907		,1089		,1031		,1017		,0512		,0522		,1006	
Skewness		,404	,040	-2,139	,1477	-1,930	,1633	-1,911	,1841	-1,446	,1723	-2,432	,1625	,1899	,1787	-4,044	,1655	,310	,1644	,0293	,1640
Kurtosis		,867	,080	-1,003	,2944	,9576	,3252	-2,449	,3662	-0,742	,3430	-2,003	,3038	,0141	,3555	,6288	,3099	,3781	,3274	,2178	,3266

Quadro 3.57 – Caracterização estatística da variável **AhentAhsai** por condutor, Condutores 10 a 18

Soma Ahent e Ahsai		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		,3925	,0051	,3139	,0056	,2582	,0039	,3665	,0063	,3056	,0040	,2518	,0049	,2464	,0044	,2921	,0047	,3069	,0050
95% Confidence Interval for	Lower Bound	,3823		,3028		,2504		,3540		,2978		,2421		,2377		,2828		,2969	
	Upper Bound	,4026		,3249		,2659		,3789		,3184		,2614		,2552		,3014		,3168	
5% Trimmed Mean		,3902		,3131		,2581		,3657		,3056		,2531		,2471		,2907		,3076	
Median		,3835		,3051		,2585		,3658		,3035		,2660		,2440		,2884		,3105	
Variance		,0066		,0075		,0031		,0066		,0031		,0054		,0041		,0035		,0031	
Std. Deviation		,0813		,0867		,0553		,0812		,0556		,0738		,0637		,0592		,0560	
Minimum		,1935		,1138		,0957		,1477		,1272		,0816		,0700		,0976		,1425	
Maximum		,6340		,5542		,4216		,6294		,4711		,4235		,3907		,4854		,5203	
Range		,4405		,4404		,3258		,4817		,3438		,3419		,3207		,3879		,3778	
Interquartile Range		,0984		,1454		,0784		,1111		,0678		,1104		,0725		,0732		,0699	
Skewness		,4547	,1540	,1616	,1675	-0,0524	,1732	,1664	,1890	,0269	,1732	-0,3678	,1612	-0,0472	,1698	,2737	,1937	-0,0619	,2174
Kurtosis		,0639	,3068	-0,7952	,1317	-0,0921	,3447	,3097	,3758	,9172	,3447	-0,4651	,3210	-0,0901	,3381	1,3055	,3850	1,3497	,4316

3.3.9 Passagem na Lomba

Quadro 3.58 – Caracterização estatística da variável **Avmax** por condutor, Condutores 1 a 9

Avmax		Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		,404	,002	,419	,006	,387	,006	,44	,007	,410	,007	,437	,006	,394	,006	,359	,004	,365	,006	,430	,008
95% Confidence Interval for	Lower Bound	,401		,406		,375		,401		,397		,425		,383		,350		,353		,414	
	Upper Bound	,408		,431		,399		,428		,424		,448		,406		,367		,377		,445	
5% Trimmed Mean		,398		,417		,386		,412		,405		,435		,390		,356		,361		,426	
Median		,392		,435		,392		,415		,405		,429		,379		,353		,360		,412	
Variance		,012		,011		,008		,008		,010		,008		,006		,005		,008		,014	
Std. Deviation		,111		,104		,090		,090		,099		,092		,080		,068		,090		,116	
Minimum		,176		,218		,176		,225		,211		,236		,219		,223		,210		,199	
Maximum		1,348		,703		,628		,656		,949		,772		,686		,624		,866		,739	
Range		1,172		,490		,452		,431		,738		,536		,467		,401		,656		,540	
Interquartile Range		,139		,168		,137		,130		,118		,128		,097		,078		,127		,156	
Skewness		1,207	,040	,050	,148	,040	,163	,318	,184	1,255	,172	,310	,163	,808	,179	,533	,166	1,016	,164	,556	,164
Kurtosis		4,430	,080	-0,664	,294	-0,646	,325	-0,192	,366	4,455	,343	,001	,304	1,177	,355	,674	,310	3,390	,327	-0,306	,327

Quadro 3.59 – Caracterização estatística da variável **Avmax** por condutor, Condutores 10 a 18

Avmax		C9		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		,430	,008	,383	,007	,292	,004	,370	,005	,377	,006	,400	,007	,462	,007	,508	,012	,480	,008	,425	,009
95% Confidence Interval for	Lower Bound	,414		,369		,284		,360		,364		,387		,448		,484		,464		,407	
	Upper Bound	,445		,398		,300		,379		,389		,413		,476		,533		,497		,443	
5% Trimmed Mean		,426		,379		,288		,365		,373		,396		,456		,495		,472		,418	
Median		,412		,369		,286		,359		,367		,395		,439		,480		,472		,409	
Variance		,014		,013		,004		,004		,007		,009		,011		,031		,011		,010	
Std. Deviation		,116		,115		,064		,067		,081		,095		,107		,176		,106		,102	
Minimum		,189		,177		,178		,235		,205		,221		,258		,227		,282		,217	
Maximum		,739		,823		,639		,588		,664		,871		,780		,1348		,1047		,1054	
Range		,540		,646		,461		,353		,459		,650		,522		,1121		,765		,837	
Interquartile Range		,156		,179		,078		,072		,107		,121		,148		,196		,117		,100	
Skewness		,556	,164	,529	,154	1,273	,167	1,043	,173	,750	,189	,974	,173	,843	,161	1,514	,170	1,632	,194	2,302	,217
Kurtosis		-,306	,327	-,009	,307	4,086	,314	12,16	,345	10,54	,376	3,340	,345	2,69	,321	3,926	,338	5,682	,385	11,692	,431

Quadro 3.60 – Caracterização estatística da variável **Pitch** por condutor, Condutores 1 a 9

Pitch		Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		46,133	,198	47,308	,582	49,514	,858	48,797	,725	47,256	,731	51,580	,761	43,074	,539	42,043	,569	46,648	,846	45,463	,745
95% Confidence Interval for	Lower Bound	45,745		46,163		47,822		47,367		45,814		50,082		42,011		40,923		44,980		43,996	
	Upper Bound	46,520		48,453		51,205		50,227		48,699		53,077		44,137		43,163		48,316		46,931	
5% Trimmed Mean		45,558		46,726		48,592		48,336		46,703		51,103		42,736		41,435		45,578		44,898	
Median		43,600		45,100		45,000		46,400		45,500		50,400		41,900		40,100		43,600		42,800	
Variance		146,577		92,020		163,581		91,349		106,455		147,493		53,675		79,242		166,914		121,974	
Std. Deviation		12,1069		9,593		12,790		9,558		10,318		12,145		7,326		8,902		12,527		11,044	
Minimum		18,6		32,600		32,500		31,900		25,300		26,300		22,800		23,000		26,800		23,300	
Maximum		96,9		79,900		89,900		80,700		80,400		88,900		75,400		84,600		91,200		92,700	
Range		78,3		47,300		57,400		48,800		55,100		62,600		52,600		61,600		64,400		69,400	
Interquartile Range		15,6		13,400		19,800		12,525		13,000		17,300		8,400		9,250		14,900		15,125	
Skewness		,813	,040	,900	,148	,878	,163	,751	,184	,763	,172	,574	,163	,927	,179	1,259	,156	1,319	,164	,954	,164
Kurtosis		-,709	,080	-,260	,294	-,127	,325	-,012	,366	-,538	,343	-,009	,304	2,041	,355	2,645	,310	1,777	,327	1,264	,327

Quadro 3.61 – Caracterização estatística da variável **Pitch** por condutor, Condutores 10 a 18

Pitch		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean		40,925	,9380	33,297	,4344	42,243	,5270	41,954	,6013	47,079	,7935	48,582	,7587	51,559	,8908	59,013	1,089	49,381	1,059
95% Confidence Interval for	Lower Bound	39,077		32,442		41,203		40,767		45,514		47,088		49,802		56,861		47,284	
	Upper Bound	42,772		34,153		43,282		43,141		48,644		50,077		53,315		61,165		51,478	
5% Trimmed Mean		40,193		32,977		42,028		41,399		46,385		48,179		50,594		58,819		48,978	
Median		35,650		32,800		42,000		40,600		44,700		47,600		47,500		60,400		48,150	
Variance		219,948		45,104		54,708		59,653		124,052		131,234		162,688		186,351		139,162	
Std. Deviation		14,8307		6,7159		7,3965		7,7236		11,1378		11,4557		12,7549		13,6510		11,7967	
Minimum		9,2		18,6		26,6		29,6		29,8		26,2		33,8		30,2		24,3	
Maximum		84,1		66,4		64,5		68,7		82,4		92,7		96,9		96,0		81,3	
Range		64,9		47,8		37,9		39,1		52,6		66,5		63,1		65,8		57,0	
Interquartile Range		25,7		9,1		9,8		8,8		15,8		15,1		17,1		16,7		19,6	
Skewness		,634	,154	1,021	,167	,441	,173	1,214	,189	,811	,173	,683	,161	1,177	,170	,075	,194	,404	,217
Kurtosis		-,611	,307	3,010	,314	,170	,345	1,657	,376	-,250	,345	-,581	,321	1,041	,338	-,137	,385	-,585	,431

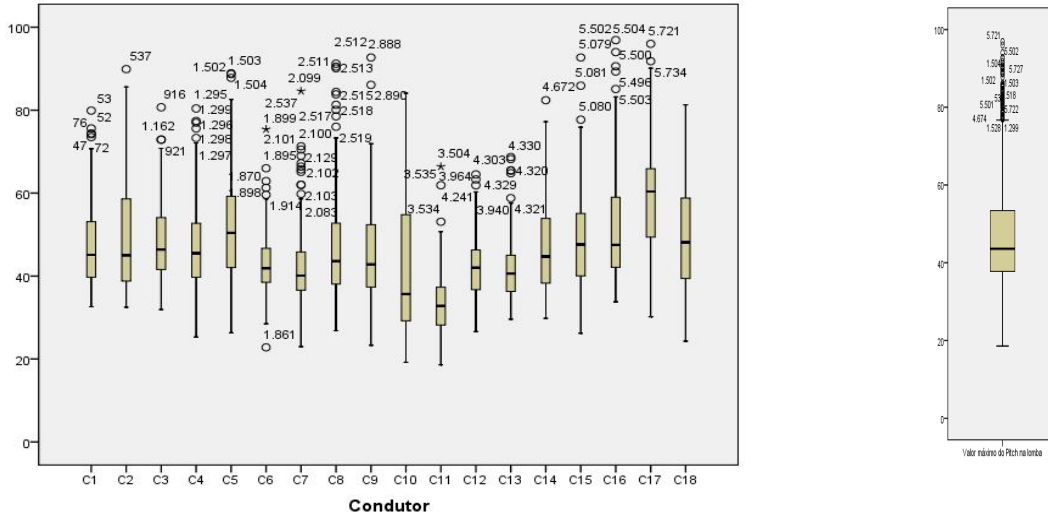


Figura 3.27 – Caixas de bigodes da variável *Pitch* por condutor (a) e geral (b)

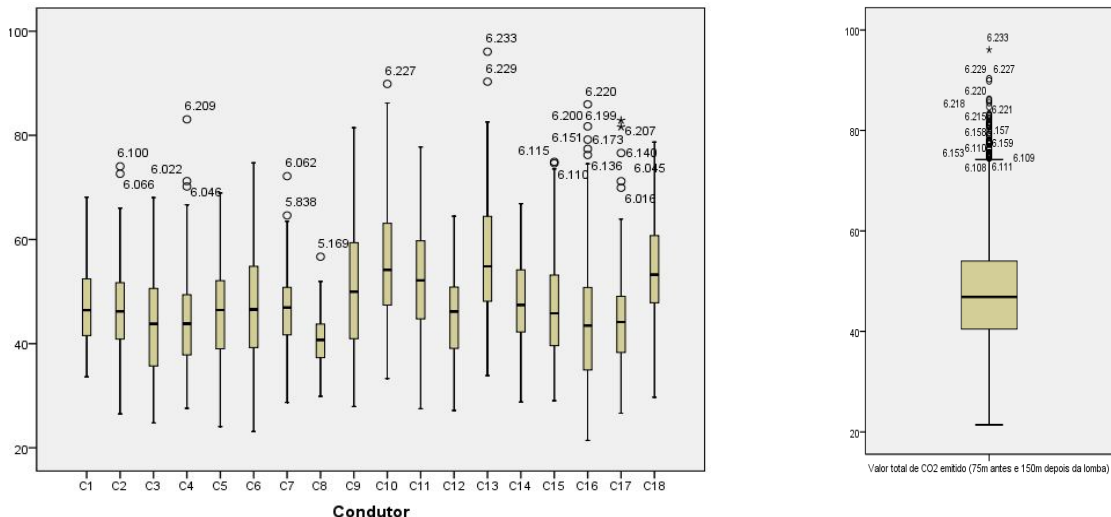
3.3.10 Emissões de CO₂

Quadro 3.62 – Caracterização estatística da variável **CO2tot** por condutor, Condutores 1 a 9

CO2tot	Média		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	47,872	,170	47,505	,450	46,778	,560	43,482	,711	44,431	,680	45,840	,579	47,302	,846	46,667	,462	40,654	,346	50,538	,816
95% Confidence Interval for	Lower Bound	47,538	46,619	45,675	42,078	43,090	44,700	45,631	45,756	39,972	48,930									
	Upper Bound	48,205	48,391	47,881	44,887	45,772	46,979	48,973	47,578	41,336	52,147									
5% Trimmed Mean	47,493	47,175	46,634	43,298	44,027	45,811	47,112	46,581	40,648	50,316										
Median	46,879	46,420	46,188	43,816	43,831	46,446	46,566	46,922	40,706	49,975										
Variance	105,352	54,301	68,883	83,999	85,011	81,337	113,102	52,184	25,989	142,490										
Std. Deviation	10,264	7,369	8,300	9,165	9,220	9,019	10,635	7,224	5,098	11,937										
Minimum	214,16	33,629	26,498	24,763	27,586	24,075	23,118	28,710	29,890	27,911										
Maximum	96,067	68,112	74,037	68,030	83,075	68,916	74,718	72,161	56,690	81,466										
Range	74,651	34,483	47,539	43,268	55,488	44,841	51,601	43,451	26,800	53,554										
Interquartile Range	13,539	10,869	10,882	14,942	11,680	13,226	16,617	9,129	6,599	18,565										
Skewness	,597	,041	,581	,149	,392	,164	,273	,188	,766	,179	-,006	,166	,324	,193	,233	,166	,065	,165	,263	,166
Kurtosis	,488	,081	-,260	,297	,128	,327	-,566	,375	12,16	-,356	-,461	,311	-,328	,384	,220	,310	-,284	,329	-,780	,331

Quadro 3.63 – Caracterização estatística da variável **CO2tot** por condutor, Condutores 10 a 18

CO2tot	C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Mean	55,727	,685	52,425	,637	45,700	,570	56,647	,928	47,897	,560	47,061	,672	44,423	,898	45,199	,784	54,205	,846
95% Confidence Interval for	Lower Bound	54,378	51,171	44,576	54,814	46,792	45,737	42,653	43,650	52,531								
	Upper Bound	57,075	53,679	46,824	58,479	49,002	48,386	46,194	46,748	55,879								
5% Trimmed Mean	55,302	52,283	45,693	56,271	47,854	46,639	43,751	44,564	54,036									
Median	54,155	52,154	46,189	54,849	47,438	45,830	43,464	44,155	53,258									
Variance	116,742	96,441	61,997	140,357	60,531	98,434	160,372	94,036	88,685									
Std. Deviation	10,805	9,820	7,874	11,847	7,780	9,921	12,664	9,697	9,417									
Minimum	33,286	27,508	27,162	33,859	28,794	29,045	21,416	26,643	29,710									
Maximum	89,877	77,776	64,475	96,067	66,880	74,917	85,959	82,884	78,701									
Range	56,591	50,268	37,322	62,208	38,086	45,872	64,543	56,241	48,992									
Interquartile Range	15,820	15,129	11,834	16,678	12,166	13,664	16,113	10,888	13,327									
Skewness	,578	,164	,200	,158	-,018	,176	,520	,190	,195	,175	,567	,165	,777	,172	1,228	,196	,291	,217
Kurtosis	,213	,307	-,518	,314	-,626	,350	,030	,378	-,647	,348	-,098	,328	,500	,343	2,499	,390	,027	,431



Quadro 3.64 – Caixas de bigodes da variável CO2tot por condutor (a) e geral (b)

3.4 Relações entre Variáveis Dinâmicas, Características da Via e Enquadramento Rodoviário

3.4.2 Tipologia da Lomba

Quadro 3.65 – Caracterização da velocidade na lomba sua tipologia

		T	Statistic	Std. Error	
VI	redonda	Mean	31,321	,1889	
		95% Confidence Interval for	Lower Bound	30,951	
			Upper Bound	31,692	
		5% Trimmed Mean	31,095		
		Median	30,518		
		Variance	62,993		
		Std. Deviation	7,937		
		Minimum	10,766		
		Maximum	69,637		
		Range	58,870		
		Interquartile Range	10,189		
		Skewness	,518	,0583	
		Kurtosis	,557	,1164	
		trapezoidal	Mean	31,670	,1176
	95% Confidence Interval for		Lower Bound	31,440	
			Upper Bound	31,901	
	5% Trimmed Mean		31,370		
	Median		31,291		
	Variance		61,781		
	Std. Deviation		7,860		
Minimum	9,917				
Maximum	67,385				
Range	57,468				
Interquartile Range	9,541				
Skewness	,613	,0366			
Kurtosis	1,014	,0732			

Quadro 3.66 – Análise *t-test* para as diferenças na **VI** segundo o tipo de lomba

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
VI Equal variances assumed	2,258	,133	-1,575	6232	,115	-,34891	,22158	-,78329	,08547	
VI Equal variances not assumed			-1,568	3205,338	,117	-,34891	,22252	-,78520	,08739	

3.4.3 Altura da Lomba

Quadro 3.67 – Variação da variável **VI** em função da variável **h**

h (m)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0,050	302	35,006	9,555	,550	33,924	36,088	12,899	60,216
0,060	1013	35,524	8,406	,264	35,005	36,042	14,076	67,385
0,065	1021	30,746	6,823	,214	30,327	31,165	9,917	59,083
0,070	351	36,286	8,095	,432	35,436	37,136	18,471	64,730
0,075	2042	30,199	7,367	,163	29,879	30,519	10,766	69,637
0,080	445	32,183	7,907	,375	31,446	32,919	14,478	58,784
0,085	714	28,436	5,786	,217	28,011	28,862	13,320	44,626
0,095	346	28,441	6,184	,332	27,787	29,094	13,773	46,759
Total	6234	31,572	7,883	,100	31,376	31,767	9,917	69,637

Quadro 3.68 – Resultados do teste *One-way ANOVA* para a **VI** em função de **h**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42301,527	7	6043,075	109,052	,000
Within Groups	345011,022	6226	55,415		
Total	387312,548	6233			

3.4.4 Comprimento da Lomba

Quadro 3.69 – Variação da variável **VI** em função da variável **lt**

lt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
4,2	445	32,183	7,907	,375	31,446	32,919	14,478	58,784
4,3	439	31,110	7,679	,367	30,390	31,830	13,432	55,421
4,6	881	30,992	8,054	,271	30,459	31,524	10,766	69,637
5,7	322	32,705	7,612	,424	31,871	33,540	9,917	59,083
6	639	36,473	9,023	,357	35,772	37,174	12,899	67,385
6,3	365	28,883	6,371	,333	28,227	29,539	12,942	45,165
6,4	346	28,441	6,184	,332	27,787	29,094	13,773	46,759
6,6	355	28,628	5,993	,318	28,003	29,254	13,291	46,953
6,7	331	36,131	8,525	,469	35,209	37,053	15,906	62,345
6,8	344	31,098	6,228	,336	30,438	31,759	12,306	47,115
6,9	357	28,469	5,420	,287	27,905	29,033	13,871	41,766
7,1	361	28,776	5,952	,313	28,160	29,392	13,320	44,626
7,3	353	28,090	5,598	,298	27,504	28,676	15,223	42,917
7,6	345	32,729	7,580	,408	31,926	33,532	14,076	54,791
11,4	351	36,286	8,095	,432	35,436	37,136	18,471	64,730
Total	6234	31,572	7,883	,100	31,376	31,767	9,917	69,637

Quadro 3.70 – Resultados do teste *One-way* ANOVA para a **VI** em função de **It**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	51187,012	14	3656,215	67,647	,000
Within Groups	336125,537	6219	54,048		
Total	387312,548	6233			

3.4.5 Existência de Passeio

Quadro 3.71 – Caracterização da velocidade na lombo sua a existência de passeio

	Existência de passeio		Statistic	Std. Error	
VI	sem passeio	Mean	30,232	,132	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	29,972	
			Upper Bound	30,491	
		5% Trimmed Mean	30,036		
		Median	29,903		
		Variance	52,722		
		Std. Deviation	7,261		
		Minimum	10,766		
		Maximum	69,637		
		Range	58,870		
		Interquartile Range	9,183		
		Skewness	,496	,045	
		Kurtosis	,873	,089	
		com passeio	Mean	32,827	,145
	95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	32,542	
			Upper Bound	33,111	
	5% Trimmed Mean		32,534		
	Median		32,309		
	Variance		67,721		
	Std. Deviation		8,229		
	Minimum		9,917		
	Maximum		67,385		
Range	57,468				
Interquartile Range	10,047				
Skewness	,575	,043			
Kurtosis	,735	,086			

Quadro 3.72 – Análise *t-test* para as diferenças na **VI** segundo a existência de passeio

		Levene's Test for		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95%	
									Lower	Upper
VI	Equal variances assumed	32,447	,000	-13,167	6232	,000	-2,595	,197	-2,981	-2,209
	Equal variances not assumed			-13,221	6210,028	,000	-2,595	,196	-2,980	-2,210

3.4.6 Largura da Faixa de Rodagem

Quadro 3.73 – Resultados do teste *One-way* ANOVA para a **VI** em função de **lfr**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Betw een Groups	44759,048	13	3443,004	62,517	,000
Within Groups	342553,500	6220	55,073		
Total	387312,548	6233			

3.4.7 Visibilidade/Distância Livre à Entrada

Quadro 3.74 – Resultados do teste *One-way* ANOVA para a **VI** em função de **Visent**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Betw een Groups	21014,725	14	1501,052	25,485	,000
Within Groups	366297,823	6219	58,900		
Total	387312,548	6233			

3.4.8 Velocidade Máxima na Abordagem

Quadro 3.75 – Resultados do teste *One-way* ANOVA para a **VI** em função de **Vmax**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Betw een Groups	304839,323	4559	66,865	1,357	,000
Within Groups	82473,226	1674	49,267		
Total	387312,548	6233			

3.4.9 Aceleração Vertical Máxima

Quadro 3.76 – Caracterização da aceleração vertical máxima segundo o tipo de lomba

	T		Statistic	Std. Error	
Avmax	redonda	Mean	,42894	,002501	
		95% Confidence Interval for Mean	Low er Bound	,42404	
			Upper Bound	,43385	
		5% Trimmed Mean	,41987		
		Median	,41300		
		Variance	,011		
		Std. Deviation	,105058		
		Minimum	,223		
		Maximum	1,348		
		Range	1,125		
		Interquartile Range	,113		
		Skew ness	2,205	,058	
		Kurtosis	10,289	,116	
		trapezoidal	Mean	,33947	,001500
	trapezoidal	95% Confidence Interval for Mean	Low er Bound	,33653	
			Upper Bound	,34241	
		5% Trimmed Mean	,33314		
		Median	,32100		
		Variance	,010		
		Std. Deviation	,100300		
Minimum		,150			
Maximum		,780			
Range		,630			
Interquartile Range		,129			
Skew ness	,979	,037			
Kurtosis	,995	,073			

Quadro 3.77 – Análise *t-test* para as diferenças na **Avmax** segundo o tipo de lomba

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Low er	Upper
Avmax	Equal variances assumed	5,469	,019	31,304	6232	,000	,089473	,002858	,083869	,095076
	Equal variances not assumed			30,681	3103,805	,000	,089473	,002916	,083755	,095190

Quadro 3.78 – Resultados do teste *One-way ANOVA* para a **Avmax** em função de **h**

	Sum of	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8,914	7	1,273	120,796	,000
Within Groups	65,633	6226	,011		
Total	74,547	6233			

Quadro 3.79 – Resultados do teste *One-way ANOVA* para a **Avmax** em função de **lt**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23,399	14	1,671	203,213	,000
Within Groups	51,148	6219	,008		
Total	74,547	6233			

Quadro 3.80 – Resultados do teste *One-way ANOVA* para a **Avmax** em função de **VI**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	65,083	4270	,015	3,161	,000
Within Groups	9,464	1963	,005		
Total	74,547	6233			

Quadro 3.81 – Resultados do teste *One-way ANOVA* para a variável **CO2ent** em função de **Vmax**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	15655,779	2	7827,889	1399,036	,000
Residual	30197,317	5397	5,595		
Total	45853,095	5399			

Quadro 3.82 – Resultados do teste *One-way ANOVA* para a variável **CO2sai** em função de **Ahsai**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	203876,191	2	101938,096	1814,651	,000
Residual	303176,662	5397	56,175		
Total	507052,853	5399			

Quadro 3.83 – Resultados do teste *One-way* ANOVA para a variável **CO2sai** em função de **V150**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	294283,886	2	147141,943	3732,335	,000
Residual	212768,967	5397	39,424		
Total	507052,853	5399			

3.5 Modelações

3.5.2 Modelo de Regressão da Variável **VI**, sem Condutores

Quadro 3.84 – Correlações das variáveis do modelo **VI**, sem condutores

		VI	Vmax	h	lt	lfr
Pearson Correlation	VI	1,000	,362	-,248	,073	-,053
	Vmax	,362	1,000	-,147	-,248	-,145
	h	-,248	-,147	1,000	-,117	,305
	lt	,073	-,248	-,117	1,000	,092
	lfr	-,053	-,145	,305	,092	1,000
Sig. (1-tailed)	VI	.	,000	,000	,000	,000
	Vmax	,000	.	,000	,000	,000
	h	,000	,000	.	,000	,000
	lt	,000	,000	,000	.	,000
	lfr	,000	,000	,000	,000	.

Quadro 3.85 – Resumo das características do modelo de regressão **VI**, sem condutores

Model	Variables Entered	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
						R Square	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	Vmax	,362	,131	,131	7,3491378	,131	939,150	1	6232	,000	
2	h	,412	,170	,169	7,1837767	,039	291,207	1	6231	,000	
3	lt	,434	,189	,188	7,1017636	,019	145,746	1	6230	,000	
4	lfr	,437	,191	,190	7,0938095	,002	14,979	1	6229	,000	1,977

Quadro 3.86 – Análise ANOVA do modelo VI, sem condutores

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	50723,313	1	50723,313	939,150	,000
	Residual	336589,235	6232	54,010		
	Total	387312,548	6233			
2	Regression	65751,524	2	32875,762	637,045	,000
	Residual	321561,024	6231	51,607		
	Total	387312,548	6233			
3	Regression	73102,207	3	24367,402	483,144	,000
	Residual	314210,342	6230	50,435		
	Total	387312,548	6233			
4	Regression	73855,984	4	18463,996	366,916	,000
	Residual	313456,565	6229	50,322		
	Total	387312,548	6233			

Quadro 3.87 – Coeficientes de regressão do modelo VI, sem condutores

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
β_0	1	(Constant)	13,154	,608		21,630	,000	11,962	14,346					
β_1		Vmax	,301	,010	,362	30,646	,000	,282	,321	,362	,362	,362	1,000	1,000
β_0	2	(Constant)	25,356	,930		27,269	,000	23,533	27,179					
β_1		Vmax	,277	,010	,333	28,512	,000	,258	,296	,362	,340	,329	,979	1,022
β_2		h	-148,758	8,717	-,199	-17,065	,000	-165,847	-131,669	-,248	-,211	-,197	,979	1,022
β_0	3	(Constant)	17,843	1,110		16,073	,000	15,667	20,019					
β_1		Vmax	,310	,010	,372	31,029	,000	,290	,329	,362	,366	,354	,907	1,102
β_2		h	-131,862	8,731	-,177	-15,103	,000	-148,977	-114,747	-,248	-,188	-,172	,953	1,049
β_3		lt	,687	,057	,144	12,073	,000	,575	,798	,073	,151	,138	,914	1,094
β_0	4	(Constant)	14,738	1,369		10,769	,000	12,055	17,421					
β_1		Vmax	,312	,010	,375	31,263	,000	,293	,332	,362	,368	,356	,903	1,108
β_2		h	-142,642	9,155	-,191	-15,581	,000	-160,588	-124,695	-,248	-,194	-,178	,865	1,156
β_3		lt	,662	,057	,139	11,581	,000	,550	,774	,073	,145	,132	,903	1,107
β_4		lfr	,600	,155	,047	3,870	,000	,296	,904	-,053	,049	,044	,885	1,129

Quadro 3.88 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão VI, sem condutores

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	Vmax	h	lt	lfr
1	1	1,988	1,000	,01	,01			
	2	,012	12,990	,99	,99			
2	1	2,968	1,000	,00	,00	,00		
	2	,025	10,791	,00	,47	,39		
	3	,006	21,599	1,00	,53	,61		
3	1	3,909	1,000	,00	,00	,00	,00	
	2	,061	7,995	,00	,06	,02	,70	
	3	,025	12,492	,00	,38	,44	,02	
	4	,005	28,627	1,00	,56	,54	,27	
4	1	4,900	1,000	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,062	8,896	,00	,05	,02	,72	,00
	3	,026	13,710	,00	,43	,29	,03	,01
	4	,009	23,346	,03	,16	,63	,16	,48
	5	,003	38,979	,97	,35	,06	,09	,50

Quadro 3.89 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão VI, sem condutores

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	21,816212	43,565300	31,571602	3,442265	6234
Std. Predicted Value	-2,834003	3,484246	,000000	1,000000	6234
Standard Error of Predicted Value	,098	,388	,194	,051	6234
Adjusted Predicted Value	21,816	43,578	31,571	3,442	6234
Residual	-26,673018	33,505596	,000000	7,091533	6234
Std. Residual	-3,760041	4,723216	,000000	,999679	6234
Stud. Residual	-3,761701	4,726171	,000022	1,000115	6234
Deleted Residual	-26,696573	33,547539	,000315	7,097717	6234
Stud. Deleted Residual	-3,765679	4,734288	,000035	1,000314	6234
Mahal. Distance	,190661	17,624264	3,999358	2,733784	6234
Cook's Distance	,000000	,006597	,000174	,000393	6234
Centered Leverage Value	,000031	,002828	,000642	,000439	6234

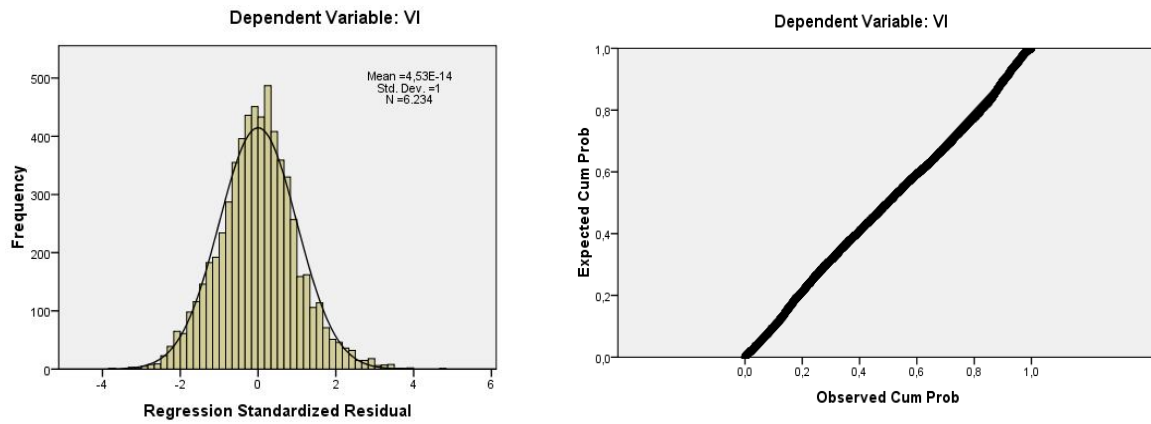


Figura 3.28 – Histograma e normal P-P plot dos resíduos estandardizados do modelo VI, sem condutores

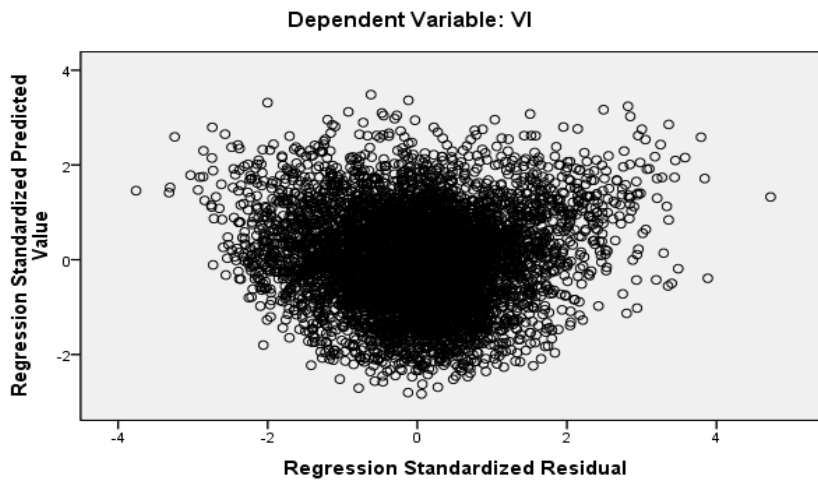


Figura 3.29 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo VI, sem condutores

Quadro 3.90 – Teste do *t-Student* aplicado à média observada e calculada da VI por lombas

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
VI	Equal variances assumed	,471	,495	-,051	66	,960	-,03627	,71242	-1,45866	1,38613
	Equal variances not assumed			-,051	65,156	,960	-,03627	,71242	-1,45901	1,38647

3.5.3 Modelo de Regressão da Variável VI, com Condutores

Quadro 3.91 – Correlações das variáveis do modelo VI, com condutores

		VI	Vmax	h	lt	lfr	C3	C4	C5	C6	C8	C9	C10	C11	C16	C17	C18
Pearson Correlation	VI	1,000	,362	-,248	,073	-,053	,093	,078	-,068	,116	,003	-,062	-,084	-,260	,267	,041	-,006
	Vmax	,362	1,000	-,147	-,248	-,145	,012	,025	-,030	,105	-,131	,058	,164	-,041	,077	-,075	-,050
	h	-,248	-,147	1,000	-,117	,305	-,010	-,047	,006	-,088	-,015	,001	-,101	,032	-,068	,066	,089
	lt	,073	-,248	-,117	1,000	,092	,059	-,049	-,014	-,024	,013	,018	-,014	-,007	-,023	-,078	-,021
	lfr	-,053	-,145	,305	,092	1,000	,020	-,068	,005	-,049	-,004	,014	-,083	,010	-,072	-,003	,049
	C3	,093	,012	-,010	,059	,020	1,000	-,044	-,065	-,042	-,061	-,062	-,050	-,067	-,045	-,051	-,057
	C4	,078	,025	-,047	-,049	-,068	-,044	1,000	-,048	-,032	-,045	-,047	-,037	-,050	-,033	-,038	-,042
	C5	-,068	-,030	,006	-,014	,005	-,065	-,048	1,000	-,047	-,067	-,069	-,055	-,074	-,049	-,056	-,062
	C6	,116	,105	-,088	-,024	-,049	-,042	-,032	-,047	1,000	-,044	-,045	-,036	-,048	-,032	-,036	-,041
	C8	,003	-,131	-,015	,013	-,004	-,061	-,045	-,067	-,044	1,000	-,064	-,051	-,069	-,046	-,052	-,058
	C9	-,062	,058	,001	,018	,014	-,062	-,047	-,069	-,045	-,064	1,000	-,053	-,071	-,047	-,054	-,060
	C10	-,084	,164	-,101	-,014	-,083	-,050	-,037	-,055	-,036	-,051	-,053	1,000	-,056	-,038	-,043	-,048
	C11	-,260	-,041	,032	-,007	,010	-,067	-,050	-,074	-,048	-,069	-,071	-,056	1,000	-,051	-,057	-,064
	C16	,267	,077	-,068	-,023	-,072	-,045	-,033	-,049	-,032	-,046	-,047	-,038	-,051	1,000	-,038	-,043
	C17	,041	-,075	,066	-,078	-,003	-,051	-,038	-,056	-,036	-,052	-,054	-,043	-,057	-,038	1,000	-,049
C18	-,006	-,050	,089	-,021	,049	-,057	-,042	-,062	-,041	-,058	-,060	-,048	-,064	-,043	-,049	1,000	
Sig. (1-tailed)	VI	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,395	,000	,000	,000	,000	,001	,313
	Vmax	,000	.	,000	,000	,000	,180	,022	,009	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,000
	h	,000	,000	.	,000	,000	,209	,000	,304	,000	,119	,473	,000	,005	,000	,000	,000
	lt	,000	,000	,000	.	,000	,000	,135	,030	,157	,075	,135	,304	,038	,000	,045	,000
	lfr	,000	,000	,000	,000	.	,054	,000	,353	,000	,389	,143	,000	,205	,000	,413	,000
	C3	,000	,180	,209	,000	,054	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	C4	,000	,022	,000	,000	,000	,000	.	,000	,006	,000	,000	,002	,000	,004	,001	,000
	C5	,000	,009	,304	,135	,353	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	C6	,000	,000	,000	,030	,000	,000	,006	,000	.	,000	,000	,002	,000	,005	,002	,001
	C8	,395	,000	,119	,157	,389	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	C9	,000	,000	,473	,075	,143	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	C10	,000	,000	,000	,135	,000	,000	,002	,000	,002	,000	,000	.	,000	,001	,000	,000
	C11	,000	,001	,005	,304	,205	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	C16	,000	,000	,000	,038	,000	,000	,004	,000	,005	,000	,000	,001	,000	.	,001	,000
	C17	,001	,000	,000	,000	,413	,000	,001	,000	,002	,000	,000	,000	,000	,001	.	,000
C18	,313	,000	,000	,045	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	

Quadro 3.92 – Resumo das características do modelo de regressão VI, com condutores

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	,362	,131	,131	7,3491	,131	939,150	1	6232	,000	
2	,412	,170	,169	7,1838	,039	291,207	1	6231	,000	
3	,434	,189	,188	7,1018	,019	145,746	1	6230	,000	
4	,437	,191	,190	7,0938	,002	14,979	1	6229	,000	
5	,596	,355	,354	6,3367	,165	144,399	11	6218	,000	1,928

Quadro 3.93 – Análise ANOVA do modelo VI, com condutores

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	50723,313	1	50723,313	939,150	,000
	Residual	336589,235	6232	54,010		
	Total	387312,548	6233			
2	Regression	65751,524	2	32875,762	637,045	,000
	Residual	321561,024	6231	51,607		
	Total	387312,548	6233			
3	Regression	73102,207	3	24367,402	483,144	,000
	Residual	314210,342	6230	50,435		
	Total	387312,548	6233			
4	Regression	73855,984	4	18463,996	366,916	,000
	Residual	313456,565	6229	50,322		
	Total	387312,548	6233			
5	Regression	137635,916	15	9175,728	228,514	,000
	Residual	249676,632	6218	40,154		
	Total	387312,548	6233			

Quadro 3.94 – Coeficientes de regressão do modelo VI, com condutores

Model			Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
			B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	1	(Constant)	13,154	,608		21,630	,000	11,962	14,346					
β_1		Vmax	,301	,010	,362	30,646	,000	,282	,321	,362	,362	,362	1,000	1,000
β_0	2	(Constant)	25,356	,930		27,269	,000	23,533	27,179					
β_1		Vmax	,277	,010	,333	28,512	,000	,258	,296	,362	,340	,329	,979	1,022
β_2		h	-148,758	8,717	-,199	-17,065	,000	-165,847	-131,669	-,248	-,211	-,197	,979	1,022
β_0	3	(Constant)	17,843	1,110		16,073	,000	15,667	20,019					
β_1		Vmax	,310	,010	,372	31,029	,000	,290	,329	,362	,366	,354	,907	1,102
β_2		h	-131,862	8,731	-,177	-15,103	,000	-148,977	-114,747	-,248	-,188	-,172	,953	1,049
β_3		lt	,687	,057	,144	12,073	,000	,575	,798	,073	,151	,138	,914	1,094
β_0	4	(Constant)	14,738	1,369		10,769	,000	12,055	17,421					
β_1		Vmax	,312	,010	,375	31,263	,000	,293	,332	,362	,368	,356	,903	1,108
β_2		h	-142,642	9,155	-,191	-15,581	,000	-160,588	-124,695	-,248	-,194	-,178	,865	1,156
β_3		lt	,662	,057	,139	11,581	,000	,550	,774	,073	,145	,132	,903	1,107
β_4		lfr	,600	,155	,047	3,870	,000	,296	,904	-,053	,049	,044	,885	1,129
β_0	5	(Constant)	12,442	1,245		9,993	,000	10,001	14,883					
β_1		Vmax	,324	,009	,389	35,019	,000	,305	,342	,362	,406	,357	,842	1,187
β_2		h	-135,647	8,259	-,182	-16,424	,000	-151,838	-119,457	-,248	-,204	-,167	,848	1,179
β_3		lt	,725	,052	,152	14,067	,000	,624	,826	,073	,176	,143	,887	1,127
β_4		lfr	,730	,139	,057	5,243	,000	,457	1,003	-,053	,066	,053	,877	1,140
β_5		C3	2,353	,361	,068	6,523	,000	1,646	3,060	,093	,082	,066	,942	1,062
β_6		C4	2,975	,467	,066	6,373	,000	2,060	3,890	,078	,081	,065	,956	1,046
β_7		C5	-1,699	,333	-,054	-5,100	,000	-2,352	-1,046	-,068	-,065	-,052	,934	1,071
β_8		C6	2,860	,485	,062	5,894	,000	1,908	3,811	,116	,075	,060	,950	1,052
β_9		C8	1,459	,355	,043	4,108	,000	,763	2,156	,003	,052	,042	,926	1,080
β_{10}		C9	-2,805	,344	-,086	-8,156	,000	-3,479	-2,131	-,062	-,103	-,083	,935	1,069
β_{11}		C10	-6,257	,426	-,156	-14,701	,000	-7,091	-5,423	-,084	-,183	-,150	,924	1,082
β_{12}		C11	-6,904	,325	-,224	-21,252	,000	-7,541	-6,267	-,260	-,260	-,216	,930	1,075
β_{13}		C16	9,807	,461	,222	21,258	,000	8,902	10,711	,267	,260	,216	,952	1,051
β_{14}		C17	3,445	,414	,087	8,321	,000	2,634	4,257	,041	,105	,085	,940	1,064
β_{15}	C18	,892	,374	,025	2,384	,017	,159	1,625	-,006	,030	,024	,940	1,064	

Quadro 3.95 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão VI, com condutores

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions															
				(Constant)	Vmax	h	lt	lfr	C3	C4	C5	C6	C8	C9	C10	C11	C16	C17	C18
1	1	1,988	1,000	,01	,01														
	2	,012	12,990	,99	,99														
2	1	2,968	1,000	,00	,00	,00													
	2	,025	10,791	,00	,47	,39													
	3	,006	21,599	1,00	,53	,61													
4	1	3,909	1,000	,00	,00	,00	,00												
	2	,061	7,995	,00	,06	,02	,70												
	3	,025	12,492	,00	,38	,44	,02												
	4	,005	28,627	1,00	,56	,54	,27												
4	1	4,900	1,000	,00	,00	,00	,00	,00											
	2	,062	8,896	,00	,05	,02	,72	,00											
	3	,026	13,710	,00	,43	,29	,03	,01											
	4	,009	23,346	,03	,16	,63	,16	,48											
	5	,003	38,979	,97	,35	,06	,09	,50											
5	1	5,485	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	1,002	2,339	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,02	,01	,15	,10	,01	,30	,03	,09	,08	,09
	3	1,001	2,341	,00	,00	,00	,00	,00	,27	,07	,00	,01	,13	,02	,00	,00	,01	,34	,05
	4	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,05	,10	,00	,03	,36	,15	,00	,01	,02	,00	,16
	5	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,02	,06	,08	,50	,00	,01	,04	,03	,16	,00	,01
	6	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,06	,09	,16	,23	,01	,00	,28
	7	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,13	,42	,05	,01	,02	,00	,01	,00	,26	,00	,00
	8	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,23	,02	,00	,07	,07	,29	,07	,00	,11	,01	,00
	9	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,05	,35	,03	,03	,12	,02	,04	,03	,17	,01
	10	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,03	,01	,22	,06	,01	,05	,02	,39	,03	,03	,03
	11	1,000	2,342	,00	,00	,00	,00	,00	,03	,12	,02	,01	,00	,02	,18	,01	,14	,19	,18
	12	,415	3,634	,00	,00	,00	,00	,00	,20	,11	,23	,11	,20	,22	,14	,24	,12	,14	,18
	13	,061	9,501	,00	,05	,02	,72	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00
	14	,024	15,205	,00	,44	,31	,02	,01	,00	,00	,00	,02	,00	,00	,04	,00	,01	,01	,01
	15	,009	24,789	,02	,16	,60	,15	,49	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	16	,003	41,874	,97	,35	,07	,10	,49	,00	,01	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,01	,00

Quadro 3.96 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão VI, com condutores

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	16,745	49,052	31,572	4,699	6234
Std. Predicted Value	-3,155	3,720	,000	1,000	6234
Standard Error of Predicted Value	,124	,558	,302	,109	6234
Adjusted Predicted Value	16,721	49,051	31,571	4,699	6234
Residual	-20,973	26,945	,000	6,329	6234
Std. Residual	-3,310	4,252	,000	,999	6234
Stud. Residual	-3,312	4,261	,000	1,000	6234
Deleted Residual	-21,001	27,050	,000	6,346	6234
Stud. Deleted Residual	-3,315	4,266	,000	1,000	6234
Mahal. Distance	1,381	47,373	14,998	10,533	6234
Cook's Distance	,000	,005	,000	,000	6234
Centered Leverage Value	,000	,008	,002	,002	6234

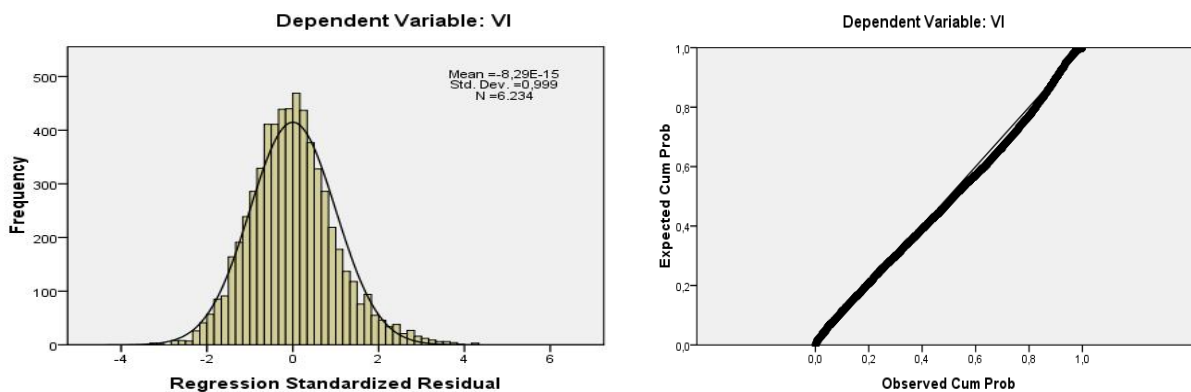


Figura 3.30 – Histograma e *normal P-P plot* dos resíduos estandardizados, com condutores

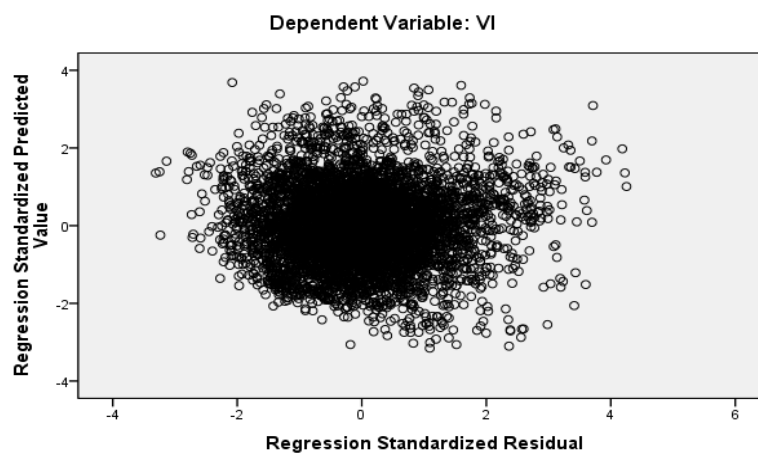


Figura 3.31 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo VI, com condutores

3.5.4 Modelo de Regressão da Variável Avmax

Quadro 3.97 – Correlações das variáveis do modelo Avmax

		Avmax	VI	VI2	Inv_lt	h	h2
Pearson Correlation	Avmax	1,000	,695	,688	,413	-,146	-,147
	VI	,695	1,000	,983	-,032	-,248	-,244
	VI2	,688	,983	1,000	-,028	-,249	-,245
	Inv_lt	,413	-,032	-,028	1,000	,165	,143
	h	-,146	-,248	-,249	,165	1,000	,995
	h2	-,147	-,244	-,245	,143	,995	1,000
Sig. (1-tailed)	Avmax	.	,000	,000	,000	,000	,000
	VI	,000	.	,000	,006	,000	,000
	VI2	,000	,000	.	,013	,000	,000
	Inv_lt	,000	,006	,013	.	,000	,000
	h	,000	,000	,000	,000	.	,000
	h2	,000	,000	,000	,000	,000	.

Quadro 3.98 – Resumo das características do modelo de regressão **Avmax**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,695	,483	,483	,078639	,483	2911,851	2	6231	,000
2	,820	,672	,672	,062657	,189	3584,901	1	6230	,000
3	,823	,677	,677	,062169	,005	50,156	2	6228	,000

Quadro 3.99 – Análise ANOVA do modelo de regressão **Avmax**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	36,014	2	18,007	2911,851	,000
	Residual	38,533	6231	,006		
	Total	74,547	6233			
2	Regression	50,088	3	16,696	4252,746	,000
	Residual	24,459	6230	,004		
	Total	74,547	6233			
3	Regression	50,476	5	10,095	2611,976	,000
	Residual	24,071	6228	,004		
	Total	74,547	6233			

Quadro 3.100 – Coeficientes de regressão do modelo **Avmax**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
β_0	1	(Constant)	,093	,012		8,037	,000	,071	,116					
β_1	1	VI	,008	,001	,546	10,933	,000	,006	,009	,695	,137	,100	,033	30,099
β_2	1	VI2	,000	,000	,151	3,016	,003	,000	,000	,688	,038	,027	,033	30,099
β_0	2	(Constant)	-,121	,010		-12,165	,000	-,140	-,101					
β_1	2	VI	,008	,001	,598	15,017	,000	,007	,009	,695	,187	,109	,033	30,113
β_2	2	VI2	2,258E-05	,000	,112	2,817	,005	,000	,000	,688	,036	,020	,033	30,107
β_3	2	Inv_it	1,179	,020	,435	59,874	,000	1,141	1,218	,413	,604	,435	,999	1,001
β_0	3	(Constant)	,133	,030		4,483	,000	,075	,191					
β_1	3	VI	,008	,001	,608	15,365	,000	,007	,010	,695	,191	,111	,033	30,162
β_2	3	VI2	1,796E-05	,000	,089	2,254	,024	,000	,000	,688	,029	,016	,033	30,208
β_3	3	Inv_it	1,235	,020	,455	60,784	,000	1,195	1,275	,413	,610	,438	,924	1,082
β_4	3	h	-6,887	,803	-,665	-8,575	,000	-8,461	-5,313	-,146	-,108	-,062	,009	115,819
β_5	3	h2	44,066	5,487	,619	8,032	,000	33,310	54,822	-,147	,101	,058	,009	114,745

Quadro 3.101 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão **Avmax**

Model	Dimen sion	Eigenval ue	Condition Index	Variance Proportions					
				(Cons	VI	VI2	Inv_lt	h	h2
1	1	2,889	1,000	,00	,00	,00			
	2	,110	5,119	,03	,00	,03			
	3	,001	47,593	,97	1,00	,97			
2	1	3,806	1,000	,00	,00	,00	,00		
	2	,166	4,790	,01	,00	,02	,10		
	3	,027	11,822	,10	,00	,01	,89		
	4	,001	54,825	,89	1,00	,96	,01		
3	1	5,675	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,245	4,817	,00	,00	,02	,01	,00	,00
	3	,056	10,038	,00	,00	,00	,53	,00	,00
	4	,023	15,708	,02	,00	,02	,41	,00	,00
	5	,001	66,201	,07	,99	,96	,01	,00	,00
	6	,000	216,482	,91	,00	,00	,05	1,00	,99

Quadro 3.102 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão **Avmax**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	,13710	,80702	,36480	,089990	6234
Std. Predicted Value	-2,530	4,914	,000	1,000	6234
Standard Error of Predicted Value	,001	,011	,002	,001	6234
Adjusted Predicted Value	,13693	,81341	,36480	,090001	6234
Residual	-,270582	,714800	,000000	,062144	6234
Std. Residual	-4,352	11,498	,000	1,000	6234
Stud. Residual	-4,362	11,513	,000	1,000	6234
Deleted Residual	-,271725	,716697	-,000001	,062238	6234
Stud. Deleted Residual	-4,368	11,637	,000	1,001	6234
Mahal. Distance	1,028	178,923	4,999	6,781	6234
Cook's Distance	,000	,064	,000	,002	6234
Centered Leverage Value	,000	,029	,001	,001	6234

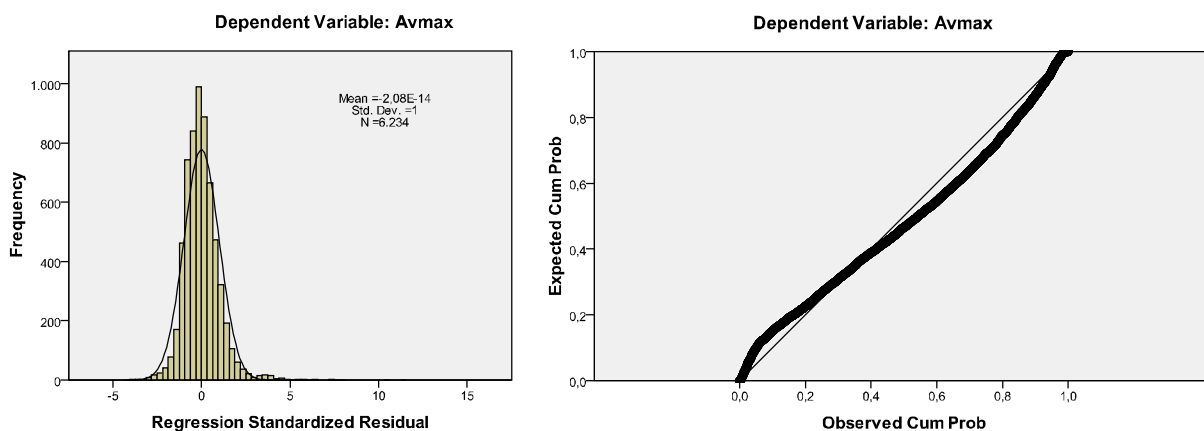


Figura 3.32 – Histograma e normal P-P plot dos resíduos estandardizados do modelo de regressão **Avmax**

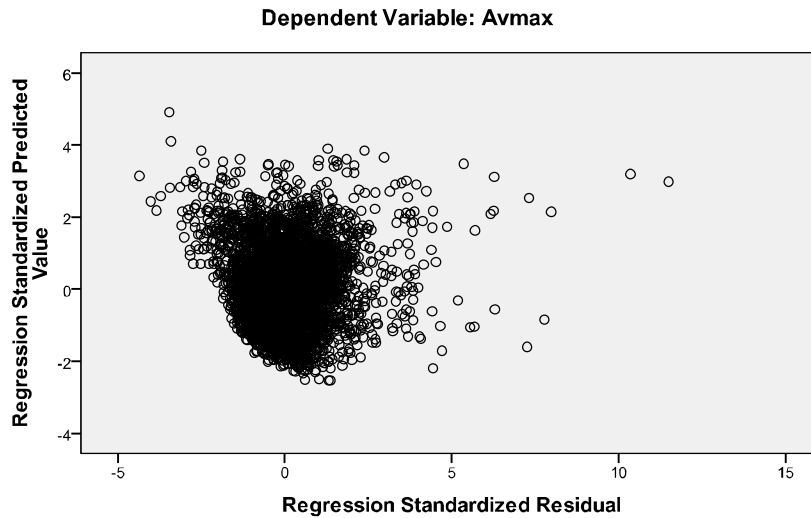


Figura 3.33 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo **Avmax**

3.5.5 Modelo de Regressão da Variável **CO2tot**

Quadro 3.103 – Correlações das variáveis do modelo **CO2tot**

		CO2tot	V150	V150 ²	Ahsai	Ahsai2	Vmax	Vmax2
Pearson Correlation	CO2tot	1,000	,700	,708	,603	,626	,179	,187
	V150	,700	1,000	,996	,345	,376	,548	,543
	V1502	,708	,996	1,000	,353	,387	,542	,540
	Ahsai	,603	,345	,353	1,000	,970	,095	,091
	Ahsai2	,626	,376	,387	,970	1,000	,128	,125
	Vmax	,179	,548	,542	,095	,128	1,000	,994
	Vmax2	,187	,543	,540	,091	,125	,994	1,000
Sig. (1-tailed)	CO2tot	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	V150	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	V1502	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000
	Ahsai	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	Ahsai2	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000
	Vmax	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000
	Vmax2	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.

Quadro 3.104 – Resumo das características do modelo de regressão **CO2tot**

Model	Variables Entered	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
						R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	V1502, V150	0,711	0,506	0,505	7,079	0,5055	2758,714	2	5397	0
2	Ahsai, Ahsai2	0,805	0,649	0,649	5,967	0,1433	1100,365	2	5395	0
3	Vmax2, Vmax	0,835	0,698	0,697	5,538	0,0488	435,166	2	5393	6E-176

Quadro 3.105 – Análise ANOVA do modelo de regressão **CO2tot**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	276471,321	2	138235,660	2758,714	0
	Residual	270436,834	5397	50,109		
	Total	546908,155	5399			
2	Regression	354825,676	4	88706,419	2491,488	0
	Residual	192082,479	5395	35,604		
	Total	546908,155	5399			
3	Regression	381516,830	6	63586,138	2073,386	0
	Residual	165391,325	5393	30,668		
	Total	546908,155	5399			

Quadro 3.106 – Coeficientes de regressão do modelo **CO2tot**

Model			Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
			B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	1	(Constant)	48,301	4,221		11,444	,000	40,027	56,575					
β_1		V150	-,963	,146	-,714	-6,608	,000	-1,249	-,677	,700	-,090	-,063	,008	127,263
β_2		V1502	,016	,001	1,419	13,140	,000	0,014	0,019	0,708	0,176	0,126	0,008	127,263
β_0	2	(Constant)	29,753	3,580		8,311	,000	22,735	36,771					
β_1		V150	-,380	,124	-,282	-3,055	,002	-,624	-,136	,700	-,042	-,025	,008	130,521
β_2		V1502	,010	,001	,834	8,992	,000	,008	,012	,708	,122	,073	,008	132,043
β_3		Ahsai	58,492	13,384	0,148	4,370	,000	32,255	84,730	0,603	0,059	0,035	0,057	17,524
β_4		Ahsai2	697,379	90,119	,266	7,738	,000	520,708	874,049	,626	,105	,062	,055	18,148
β_0	3	(Constant)	46,865	3,555		13,183	,000	39,896	53,834					
β_1		V150	,375	,121	,278	3,092	,002	,137	,612	,700	,042	,023	,007	143,809
β_2		V1502	,005	,001	,414	4,602	,000	,003	,007	,708	,063	,034	,007	144,084
β_3		Ahsai	35,719	12,486	,090	2,861	,004	11,242	60,196	,603	,039	,021	,056	17,705
β_4		Ahsai2	804,280	83,846	0,307	9,592	,000	639,908	968,651	0,626	0,130	0,072	0,055	18,238
β_5		Vmax	-1,179	,077	-1,125	-15,346	,000	-1,330	-1,029	,179	-,205	-,115	,010	95,920
β_6		Vmax2	,008	,001	,885	12,123	,000	,006	,009	,187	,163	,091	,011	95,099

Quadro 3.107 – Diagnostico de colinearidade do modelo de regressão **CO2tot**

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions						
				(Constant)	V150	V1502	Ahsai	Ahsai2	Vmax	Vmax2
1	1	2,970	1,000	,00	,00	,00				
	2	,030	9,882	,01	,00	,01				
	3	,000	188,053	,99	1,00	,99				
2	1	4,704	1,000	,00	,00	,00	,00	,00		
	2	,259	4,264	,00	,00	,00	,00	,04		
	3	,033	11,968	,01	,00	,01	,02	,01		
	4	,004	33,286	,02	,00	,00	,97	,94		
	5	,000	239,399	,98	1,00	,99	,01	,01		
3	1	6,594	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,317	4,560	,00	,00	,00	,00	,03	,00	,00
	3	,052	11,229	,00	,00	,00	,01	,01	,00	,01
	4	,032	14,377	,00	,00	,01	,01	,00	,00	,00
	5	,004	39,270	,01	,00	,00	,97	,94	,00	,00
	6	,000	189,973	,43	,00	,00	,00	,00	,88	,88
	7	,000	293,996	,56	1,00	,99	,01	,01	,12	,11

Quadro 3.108 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão **CO2tot**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	26,372417	91,258537	48,774561	8,406209	5400
Std. Predicted Value	-2,664952	5,053881	,000	1,000	5400
Standard Error of Predicted Value	,106	,850	,182	,081	5400
Adjusted Predicted Value	26,145	91,447	48,775	8,408	5400
Residual	-27,125696	27,532398	,000	5,534772	5400
Std. Residual	-4,898236	4,971677	,000	,999444	5400
Stud. Residual	-4,919	4,973	,000	1,000	5400
Deleted Residual	-27,357	27,547	,000	5,545	5400
Stud. Deleted Residual	-4,929660	4,983972	-,000023	1,000671	5400
Mahal. Distance	,973087	126,242760	5,998889	8,243210	5400
Cook's Distance	,000	,047	,000	,001	5400
Centered Leverage Value	,000	,023	,001	,002	5400

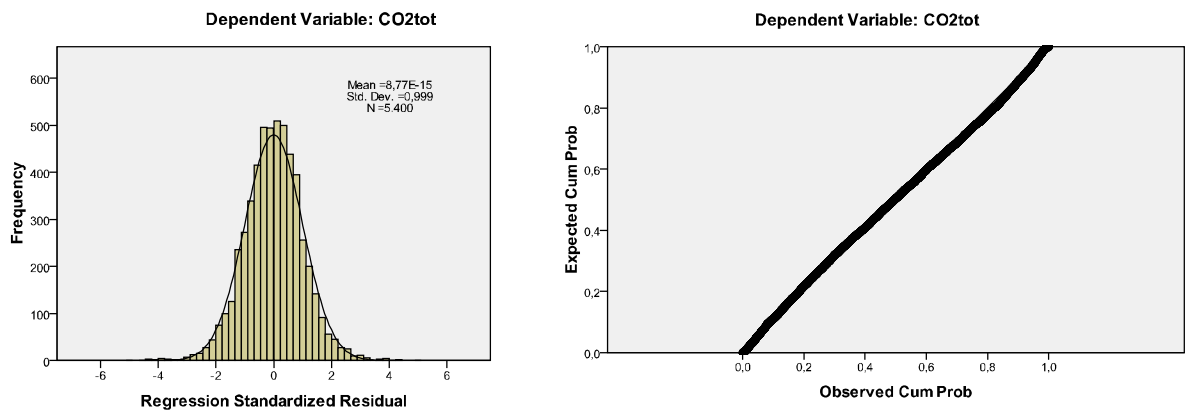


Figura 3.34 – Histograma e normal P-P plot dos resíduos estandardizados do modelo de regressão **CO2tot**

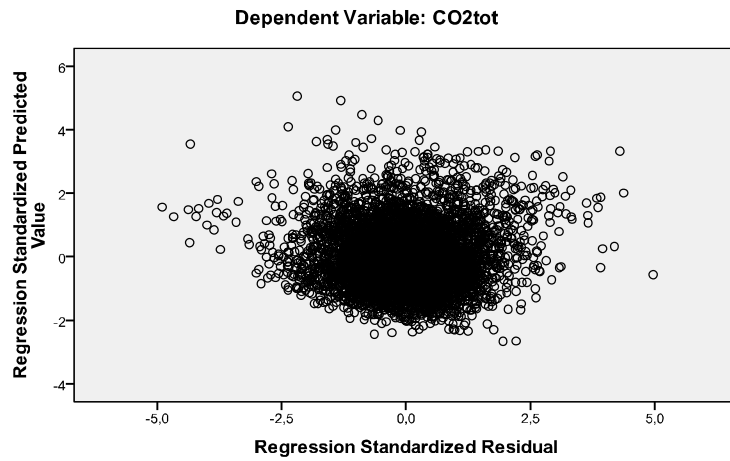


Figura 3.35 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo **CO2tot**

Quadro 3.109 – Teste do *t-Student* aplicado à média observada e calculada da **VI** por **lomba**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Low er	Upper
CO2tot	Equal variances assumed	11,156	,001	-,110	59	,913	-,13500	1,22714	-2,59050	2,32050
	Equal variances not assumed			-,109	47,310	,914	-,13500	1,23674	-2,62256	2,35257

3.5.6 Modelo de Regressão da Velocidade – Modelo Base, com Condutores

Quadro 3.110 – Correlações das variáveis do modelo de velocidade Base, com condutores

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	(Constant)	xF1	xF2	x2F1	x2F2	x3F1	Vmax	h	lt	C3	C4	C5	C6	C8	C9	C10	C11	C13	C15	C16	C17	C18		
1	1	3,216	1	0,01	0	0	0	0	0																		
	2	2,269	1,191	0,01	0	0	0	0,01	0																		
	3	0,409	2,803	0,19	0	0	0	0,02	0																		
	4	0,088	6,058	0,09	0,05	0,01	0	0,05	0,02																		
	5	0,018	13,456	0,4	0,02	0,78	0	0,78	0,02																		
	6	0,001	47,26	0,31	0,93	0,21	1	0,14	0,96																		
2	1	3,864	1	0	0	0	0	0	0	0																	
	2	2,415	1,265	0	0	0	0	0	0	0																	
	3	0,599	2,54	0,01	0	0	0	0,02	0	0,01																	
	4	0,091	6,529	0	0,05	0,01	0	0,04	0,02	0																	
	5	0,019	14,289	0	0,02	0,71	0	0,74	0,01	0,09																	
	6	0,011	18,547	0,92	0	0,06	0	0,06	0	0,89																	
	7	0,001	51,826	0,06	0,92	0,21	1	0,14	0,96	0																	
3	1	4,668	1	0	0	0	0	0	0	0	0																
	2	2,48	1,372	0	0	0	0	0	0	0	0																
	3	0,709	2,667	0	0	0,01	0	0,02	0	0	0																
	4	0,091	7,146	0	0,05	0,01	0	0,04	0,02	0	0																
	5	0,025	13,612	0	0	0	0	0	0	0,47	0,38																
	6	0,019	15,791	0	0,02	0,76	0	0,78	0,02	0,02	0,01																
	7	0,006	27,451	0,96	0	0,02	0	0,01	0	0,5	0,6																
	8	0,001	56,994	0,04	0,92	0,21	1	0,14	0,96	0	0																
4	1	5,511	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	2	2,513	1,481	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	3	0,775	2,667	0	0	0,01	0	0,02	0	0	0	0,01															
	4	0,092	7,744	0	0,05	0,01	0	0,04	0,02	0	0	0,01															
	5	0,06	9,567	0	0	0	0	0	0	0,06	0,02	0,69															
	6	0,025	14,926	0	0	0	0	0	0	0,38	0,44	0,02															
	7	0,019	17,175	0	0,02	0,77	0	0,79	0,02	0,01	0,01	0															
	8	0,005	34,413	0,97	0	0,01	0	0,01	0	0,54	0,53	0,27															
	9	0,001	61,936	0,03	0,92	0,21	1	0,14	0,95	0	0	0															
5	1	6,158	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	2,531	1,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1,004	2,477	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0	0	0,1	0,14	0,17	0,05	0,05	0,03	0,06	0,15	0,02	0,02	
	4	1,002	2,479	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,06	0,2	0	0,02	0,15	0,07	0,01	0,01	0,2	0,02	0,05	0,05	
	5	1,001	2,481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,11	0	0,03	0,27	0	0,01	0	0	0	0,06	0,17	0,02	0,02	
	6	1	2,481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,02	0,04	0	0,13	0,01	0,08	0,14	0,17	0,01	0,01	0	0,11	
	7	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,01	0,24	0,05	0,01	0,09	0,14	0,02	0,02	0,11	0,01	0	0,09	
	8	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,01	0	0,23	0,03	0,12	0	0,03	0,1	0,04	0,11	0	0	
	9	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,03	0,29	0,02	0,01	0,08	0,01	0,06	0	0,05	0	0,23	0,06	
	10	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,21	0,02	0,15	0,16	0,21	0,02	0	0,02	
	11	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0,37	0,01	0,24	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0,04	0,01	0	0	
	12	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,06	0,02	0,02	0,03	0,06	0,21	0,03	0,01	0,37	
	13	1	2,482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,15	0,06	0,06	0,01	0,03	0,2	0,05	0,04	0,01	0,02	0,19	0	
	14	0,999	2,483	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,11	0,02	0,01	0,11	0,19	0	0,32	0,02	0,06	
	15	0,821	2,739	0	0	0,01	0	0,02	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,01	
	16	0,287	4,629	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,2	0,11	0,24	0,1	0,2	0,23	0,15	0,27	0,18	0,24	0,11	0,14	0,19	
	17	0,092	8,19	0	0,05	0,01	0	0,04	0,02	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0,059	10,224	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,03	0,67	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	
	19	0,022	16,617	0	0	0	0	0	0	0	0,38	0,48	0,02	0	0	0	0,02	0	0	0,04	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	
	20	0,019	18,167	0	0,02	0,77	0	0,79	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0,004	37,081	0,97	0	0,01	0	0,01	0	0,54	0,49	0,28	0	0	0,01	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	
	22	0,001	65,494	0,03	0,92	0,21	1	0,14	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 3.111 – Resumo das características do modelo Base, com condutores

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,827	,684	,684	6,73688	,684	194693	5	449356	,000
2	,872	,760	,760	5,86740	,076	143047	1	449355	,000
3	,874	,764	,764	5,82786	,003	6119	1	449354	,000
4	,874	,764	,764	5,81848	,001	1451	1	449353	,000
5	,884	,781	,781	5,60432	,017	2693	13	449340	,000

Quadro 3.112 – Análise ANOVA ao modelo Base, com condutores

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44181231	5	8836246,248	194693,221	0
	Residual	20394240	449356	45,385		
	Total	64575471	449361			
2	Regression	49105816	6	8184302,672	237733,632	0
	Residual	15469655	449355	34,426		
	Total	64575471	449361			
3	Regression	49313658	7	7044808,298	207420,491	0
	Residual	15261813	449354	33,964		
	Total	64575471	449361			
4	Regression	49362773	8	6170346,660	182259,832	0
	Residual	15212698	449353	33,855		
	Total	64575471	449361			
5	Regression	50462428	21	2402972,742	76507,364	0
	Residual	14113044	449340	31,408		
	Total	64575471	449361			

Quadro 3.113 – Coeficientes de regressão do modelo Base, com condutores

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	26,811	,028		951,668	,000	26,756	26,866					
β_1	xF1	-1,216	,003	-2,806	-381,383	,000	-1,222	-1,209	-,636	-,495	-,320	,013	77,038
β_2	xF2	,367	,002	,856	216,948	,000	,364	,371	,032	,308	,182	,045	22,157
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,039	-192,157	,000	-,016	-,016	,560	-,276	-,161	,003	355,887
β_4	x2F2	-,001	,000	-,177	-51,140	,000	-,001	-,001	,144	-,076	-,043	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,240	-126,843	,000	,000	,000	-,484	-,186	-,106	,007	136,040
β_0	(Constant)	5,450	,062		88,514	,000	5,330	5,571					
β_1	xF1	-1,224	,003	-2,827	-441,057	,000	-1,230	-1,219	-,636	-,550	-,322	,013	77,043
β_2	xF2	,365	,001	,851	247,607	,000	,362	,368	,032	,346	,181	,045	22,157
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,115	-226,094	,000	-,017	-,016	,560	-,320	-,165	,003	355,962
β_4	x2F2	-,001	,000	-,173	-57,247	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,275	-149,703	,000	,000	,000	-,484	-,218	-,109	,007	136,056
β_6	Vmax	,353	,001	,277	378,215	,000	,351	,355	,319	,491	,276	,994	1,006
β_0	(Constant)	10,838	,092		117,665	,000	10,658	11,019					
β_1	xF1	-1,222	,003	-2,822	-443,293	,000	-1,228	-1,217	-,636	-,552	-,321	,013	77,050
β_2	xF2	,364	,001	,849	248,767	,000	,361	,367	,032	,348	,180	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,106	-226,983	,000	-,017	-,016	,560	-,321	-,165	,003	355,985
β_4	x2F2	-,001	,000	-,172	-57,352	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,270	-150,133	,000	,000	,000	-,484	-,219	-,109	,007	136,064
β_6	Vmax	,343	,001	,269	365,381	,000	,341	,344	,319	,479	,265	,973	1,028
β_7	h	-65,257	,834	-,057	-78,227	,000	-66,892	-63,622	-,110	-,116	-,057	,979	1,022
β_0	(Constant)	8,526	,110		77,375	,000	8,310	8,742					
β_1	xF1	-1,222	,003	-2,821	-443,846	,000	-1,227	-1,217	-,636	-,552	-,321	,013	77,051
β_2	xF2	,364	,001	,849	249,071	,000	,361	,367	,032	,348	,180	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,104	-227,206	,000	-,017	-,016	,560	-,321	-,165	,003	355,990
β_4	x2F2	-,001	,000	-,172	-57,414	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,128
β_5	x3F1	,000	,000	-1,269	-150,238	,000	,000	,000	-,484	-,219	-,109	,007	136,065
β_6	Vmax	,353	,001	,277	362,421	,000	,351	,355	,319	,476	,262	,900	1,111
β_7	h	-60,089	,844	-,053	-71,210	,000	-61,743	-58,435	-,110	-,106	-,052	,953	1,049
β_8	llt	,212	,006	,029	38,089	,000	,201	,223	-,041	,057	,028	,912	1,097
β_0	(Constant)	8,442	,109		77,808	,000	8,230	8,655					
β_1	xF1	-1,211	,003	-2,796	-456,573	,000	-1,216	-1,206	-,636	-,563	-,318	,013	77,099
β_2	xF2	,360	,001	,839	255,585	,000	,357	,363	,032	,356	,178	,045	22,167
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,062	-232,650	,000	-,016	-,016	,560	-,328	-,162	,003	356,145
β_4	x2F2	-,001	,000	-,167	-57,885	,000	-,001	-,001	,144	-,086	-,040	,058	17,130
β_5	x3F1	,000	,000	-1,247	-153,223	,000	,000	,000	-,484	-,223	-,107	,007	136,112
β_6	Vmax	,349	,001	,273	355,915	,000	,347	,350	,319	,469	,248	,825	1,212
β_7	h	-54,773	,825	-,048	-66,356	,000	-56,391	-53,155	-,110	-,099	-,046	,924	1,082
β_8	llt	,208	,005	,028	38,431	,000	,198	,219	-,041	,057	,027	,890	1,124
β_9	C3	2,168	,040	,040	54,796	,000	2,090	2,245	,052	,081	,038	,911	1,098
β_{10}	C4	,719	,050	,010	14,414	,000	,621	,817	,021	,021	,010	,939	1,065
β_{11}	C5	-,410	,035	-,009	-11,712	,000	-,478	-,341	-,035	-,017	-,008	,889	1,124
β_{12}	C6	1,427	,053	,019	26,960	,000	1,323	1,530	,056	,040	,019	,933	1,072
β_{13}	C8	,618	,038	,012	16,306	,000	,543	,692	-,023	,024	,011	,894	1,118
β_{14}	C9	-,535	,036	-,011	-14,673	,000	-,606	-,463	-,003	-,022	-,010	,895	1,117
β_{15}	C10	-1,964	,045	-,032	-43,566	,000	-2,052	-1,876	,003	-,065	-,030	,896	1,116
β_{16}	C11	-3,185	,033	-,072	-97,021	,000	-3,249	-3,121	-,100	-,143	-,068	,877	1,140
β_{17}	C13	1,132	,041	,020	27,664	,000	1,052	1,212	,036	,041	,019	,911	1,098
β_{18}	C15	-,221	,035	-,005	-6,398	,000	-,289	-,153	-,021	-,010	-,004	,887	1,127
β_{19}	C16	5,912	,052	,082	113,952	,000	5,810	6,013	,124	,168	,079	,940	1,064
β_{20}	C17	1,174	,044	,020	26,789	,000	1,088	1,260	-,007	,040	,019	,912	1,096
β_{21}	C18	,453	,039	,008	11,512	,000	,376	,530	-,006	,017	,008	,907	1,103

Quadro 3.114 – Diagnostico de colinearidade do modelo Base, com condutores

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions																					
				(Constant)	xF1	xF2	x2F1	x2F2	x3F1	Vmax	h	lit	C3	C4	C5	C6	C8	C9	C10	C11	C13	C15	C16	C17	C18
1	1	3,216	1,000	,01	,00	,00	,00	,00	,00																
	2	2,269	1,191	,01	,00	,00	,00	,01	,00																
	3	,409	2,803	,19	,00	,00	,00	,02	,00																
	4	,088	6,058	,09	,05	,01	,00	,05	,02																
	5	,018	13,456	,40	,02	,78	,00	,78	,02																
	6	,001	47,260	,31	,93	,21	1,00	,14	,96																
2	1	3,864	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00															
	2	2,415	1,265	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00															
	3	,599	2,540	,01	,00	,00	,00	,02	,00	,01															
	4	,091	6,529	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00															
	5	,019	14,289	,00	,02	,71	,00	,74	,01	,09															
	6	,011	18,547	,92	,00	,06	,00	,06	,00	,89															
	7	,001	51,826	,06	,92	,21	1,00	,14	,96	,00															
3	1	4,668	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00															
	2	2,480	1,372	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00															
	3	,709	2,567	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00															
	4	,091	7,146	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00															
	5	,025	13,612	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,47	,38														
	6	,019	15,791	,00	,02	,76	,00	,78	,02	,02	,01														
	7	,006	27,451	,96	,00	,02	,00	,01	,00	,50	,60														
	8	,001	56,994	,04	,92	,21	1,00	,14	,96	,00	,00														
4	1	5,511	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00														
	2	2,513	1,481	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00														
	3	,775	2,667	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,01														
	4	,092	7,744	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00	,01														
	5	,060	9,567	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,06	,02	,69													
	6	,025	14,926	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,38	,44	,02													
	7	,019	17,175	,00	,02	,77	,00	,79	,02	,01	,01	,00													
	8	,005	34,413	,97	,00	,01	,00	,01	,00	,54	,53	,27													
	9	,001	61,936	,03	,92	,21	1,00	,14	,95	,00	,00	,00													
5	1	6,158	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
	2	2,531	1,560	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
	3	1,004	2,477	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,06	,00	,10	,14	,17	,05	,05	,03	,06	,15	,02		
	4	1,002	2,479	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,08	,06	,20	,00	,02	,15	,07	,01	,01	,20	,02	,05	
	5	1,001	2,481	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,19	,11	,00	,03	,27	,00	,01	,00	,00	,00	,06	,17	,02	
	6	1,000	2,481	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,11	,02	,04	,00	,13	,01	,08	,14	,17	,01	,01	,00	,11	
	7	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,04	,01	,24	,05	,01	,09	,14	,02	,02	,11	,01	,00	,09	
	8	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,20	,01	,00	,23	,03	,12	,00	,03	,10	,04	,11	,00	,00	
	9	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,02	,03	,29	,02	,01	,08	,01	,06	,00	,05	,00	,23	,06	
	10	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,02	,01	,01	,21	,02	,15	,16	,21	,02	,00	,02	
	11	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,18	,37	,01	,24	,02	,01	,01	,01	,00	,04	,01	,00	,00	
	12	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,04	,06	,02	,02	,03	,06	,21	,03	,01	,37		
	13	1,000	2,482	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,04	,15	,06	,06	,01	,03	,20	,05	,04	,01	,02	,19	,00	
	14	,999	2,483	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,01	,11	,02	,01	,11	,19	,00	,32	,02	,06		
	15	,821	2,739	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,00	,01	,01	,00	,01	,02	,00	,00	,00	,01	,02	,01	,01		
	16	,287	4,629	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,20	,11	,24	,10	,20	,23	,15	,27	,18	,24	,11	,14	,19
	17	,092	8,190	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
	18	,059	10,224	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,06	,03	,67	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00	
	19	,022	16,617	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,38	,48	,02	,00	,00	,00	,02	,00	,00	,04	,00	,01	,00	,01	,01	
	20	,019	18,167	,00	,02	,77	,00	,79	,02	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
	21	,004	37,081	,97	,00	,01	,00	,01	,00	,54	,49	,28	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00	
	22	,001	65,494	,03	,92	,21	1,00	,14	,95	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	

Quadro 3.115 – Estatísticas dos resíduos do modelo Base, com condutores

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	15,186668	77,010002	43,474534	10,597084	449362
Std. Predicted Value	-2,669401	3,164594	,000	1,000	449362
Standard Error of Predicted Value	,018	,096	,038	,010	449362
Adjusted Predicted Value	15,186	77,007	43,475	10,597	449362
Residual	-26,880882	35,789322	,000	5,604187	449362
Std. Residual	-4,796459	6,386025	,000	,999977	449362
Stud. Residual	-4,797	6,386	,000	1,000	449362
Deleted Residual	-26,883	35,792	,000	5,604	449362
Stud. Deleted Residual	-4,796799	6,386569	,000000	1,000007	449362
Mahal. Distance	3,641267	130,062195	20,999953	11,780198	449362
Cook's Distance	,000	,000	,000	,000	449362
Centered Leverage Value	,000	,000	,000	,000	449362

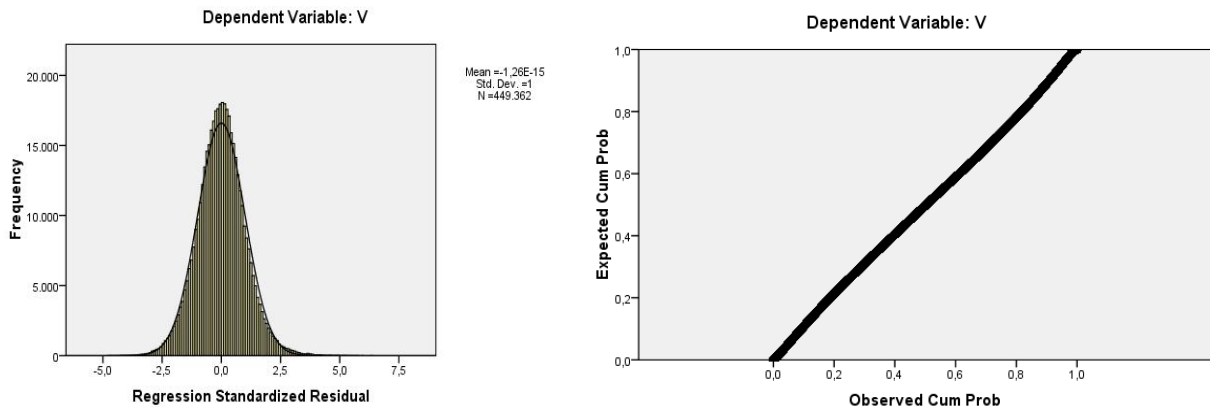


Figura 3.36 – Histograma e *normal P-P plot* da regressão do modelo Base, com condutores

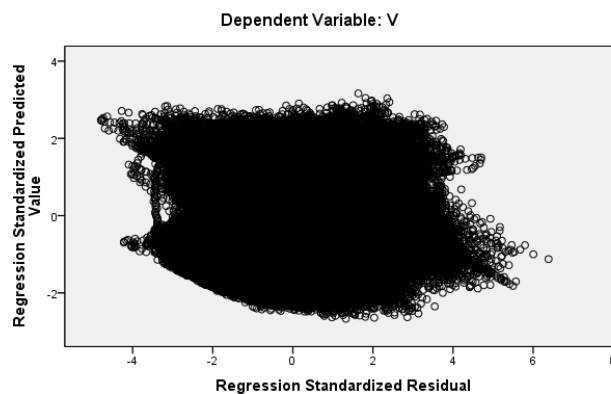


Figura 3.37 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo Base, com condutores

3.5.7 Modelo de Regressão da Velocidade – Modelo Base

Quadro 3.116 – Correlações das variáveis do modelo de velocidade Base

	V	xF1	xF2	x2F1	x2F2	x3F1	Vmax	h	lt	
Pearson Correlation	V	1,000	-,636	,032	,560	,144	-,484	,319	-,110	-,041
	xF1	-,636	1,000	,510	-,948	,388	,870	-,073	,013	,017
	xF2	,032	,510	1,000	-,383	,957	,310	-,025	-,003	,011
	x2F1	,560	-,948	-,383	1,000	-,291	-,979	,078	-,013	-,018
	x2F2	,144	,388	,957	-,291	1,000	,236	-,020	-,004	,010
	x3F1	-,484	,870	,310	-,979	,236	1,000	-,076	,013	,017
	Vmax	,319	-,073	-,025	,078	-,020	-,076	1,000	-,146	-,252
	h	-,110	,013	-,003	-,013	-,004	,013	-,146	1,000	-,117
	lt	-,041	,017	,011	-,018	,010	,017	-,252	-,117	1,000
Sig. (1-tailed)	V	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	xF1	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	xF2	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,035	,000
	x2F1	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	x2F2	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,004	,000
	x3F1	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	Vmax	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000
	h	,000	,000	,035	,000	,004	,000	,000	.	,000
	lt	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.

Quadro 3.117 – Resumo das características do modelo Base de regressão de velocidade

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Chang
1	,827	,684	,684	6,7368750	,684	194693,221	5	449356	,000
2	,872	,760	,760	5,8673977	,076	143046,937	1	449355	,000
3	,874	,764	,764	5,8278553	,003	6119,500	1	449354	,000
4	,874	,764	,764	5,8184767	,001	1450,766	1	449353	,000

Quadro 3.118 – Análise ANOVA ao modelo Base de regressão de velocidade

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44181231,240	5	8836246,248	194693,221	,000
	Residual	20394240,016	449356	45,385		
	Total	64575471,255	449361			
2	Regression	49105816,034	6	8184302,672	237733,632	,000
	Residual	15469655,221	449355	34,426		
	Total	64575471,255	449361			
3	Regression	49313658,088	7	7044808,298	207420,491	,000
	Residual	15261813,167	449354	33,964		
	Total	64575471,255	449361			
4	Regression	49362773,282	8	6170346,660	182259,832	,000
	Residual	15212697,973	449353	33,855		
	Total	64575471,255	449361			

Quadro 3.119 – Coeficientes de regressão do modelo Base de velocidade

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
β_0		(Constant)	26,811	,028										
β_1	1	xF1	-1,216	,003	-2,806	-381,383	,000	-1,222	-1,209	-,636	-,495	-,320	,013	77,038
β_2		xF2	,367	,002	,856	216,948	,000	,364	,371	,032	,308	,182	,045	22,157
β_3		x2F1	-,016	,000	-3,039	-192,157	,000	-,016	-,016	,560	-,276	-,161	,003	355,887
β_4		x2F2	-,001	,000	-,177	-51,140	,000	-,001	-,001	,144	-,076	-,043	,058	17,127
β_5		x3F1	,000	,000	-1,240	-126,843	,000	,000	,000	-,484	-,186	-,106	,007	136,040
β_0		(Constant)	5,450	,062		88,514	,000	5,330	5,571					
β_1	2	xF1	-1,224	,003	-2,827	-441,057	,000	-1,230	-1,219	-,636	-,550	-,322	,013	77,043
β_2		xF2	,365	,001	,851	247,607	,000	,362	,368	,032	,346	,181	,045	22,157
β_3		x2F1	-,016	,000	-3,115	-226,094	,000	-,017	-,016	,560	-,320	-,165	,003	355,962
β_4		x2F2	-,001	,000	-,173	-57,247	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,127
β_5		x3F1	,000	,000	-1,275	-149,703	,000	,000	,000	-,484	-,218	-,109	,007	136,056
β_6		Vmax	,353	,001	,277	378,215	,000	,351	,355	,319	,491	,276	,994	1,006
β_0		(Constant)	10,838	,092		117,665	,000	10,658	11,019					
β_1	3	xF1	-1,222	,003	-2,822	-443,293	,000	-1,228	-1,217	-,636	-,552	-,321	,013	77,050
β_2		xF2	,364	,001	,849	248,767	,000	,361	,367	,032	,348	,180	,045	22,158
β_3		x2F1	-,016	,000	-3,106	-226,983	,000	-,017	-,016	,560	-,321	-,165	,003	355,985
β_4		x2F2	-,001	,000	-,172	-57,352	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,127
β_5		x3F1	,000	,000	-1,270	-150,133	,000	,000	,000	-,484	-,219	-,109	,007	136,064
β_6		Vmax	,343	,001	,269	365,381	,000	,341	,344	,319	,479	,265	,973	1,028
β_7		h	-65,257	,834	-,057	-78,227	,000	-66,892	-63,622	-,110	-,116	-,057	,979	1,022
β_0		(Constant)	8,526	,110		77,375	,000	8,310	8,742					
β_1	4	xF1	-1,222	,003	-2,821	-443,846	,000	-1,227	-1,217	-,636	-,552	-,321	,013	77,051
β_2		xF2	,364	,001	,849	249,071	,000	,361	,367	,032	,348	,180	,045	22,158
β_3		x2F1	-,016	,000	-3,104	-227,206	,000	-,017	-,016	,560	-,321	-,165	,003	355,990
β_4		x2F2	-9,844E-04	,000	-,172	-57,414	,000	-,001	-,001	,144	-,085	-,042	,058	17,128
β_5		x3F1	-7,403E-05	,000	-1,269	-150,238	,000	,000	,000	-,484	-,219	-,109	,007	136,065
β_6		Vmax	,353	,001	,277	362,421	,000	,351	,355	,319	,476	,262	,900	1,111
β_7		h	-60,089	,844	-,053	-71,210	,000	-61,743	-58,435	-,110	-,106	-,052	,953	1,049
β_8		lt	,212	,006	,029	38,089	,000	,201	,223	-,041	,057	,028	,912	1,097

Quadro 3.120 – Diagnostico de colinearidade do modelo Base de regressão de velocidade

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions								
				(Constant)	xF1	xF2	x2F1	x2F2	x3F1	Vmax	h	lt
1	1	3,216	1,000	,01	,00	,00	,00	,00	,00			
	2	2,269	1,191	,01	,00	,00	,00	,01	,00			
	3	,409	2,803	,19	,00	,00	,00	,02	,00			
	4	,088	6,058	,09	,05	,01	,00	,05	,02			
	5	,018	13,456	,40	,02	,78	,00	,78	,02			
	6	,001	47,260	,31	,93	,21	1,00	,14	,96			
2	1	3,864	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
	2	2,415	1,265	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
	3	,599	2,540	,01	,00	,00	,00	,02	,00	,01		
	4	,091	6,529	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00		
	5	,019	14,289	,00	,02	,71	,00	,74	,01	,09		
	6	,011	18,547	,92	,00	,06	,00	,06	,00	,89		
	7	,001	51,826	,06	,92	,21	1,00	,14	,96	,00		
3	1	4,668	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
	2	2,480	1,372	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
	3	,709	2,567	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,00	
	4	,091	7,146	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00	,00	
	5	,025	13,612	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,47	,38	
	6	,019	15,791	,00	,02	,76	,00	,78	,02	,02	,01	
	7	,006	27,451	,96	,00	,02	,00	,01	,00	,50	,60	
	8	,001	56,994	,04	,92	,21	1,00	,14	,96	,00	,00	
4	1	5,511	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	2,513	1,481	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,775	2,667	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,00	,01
	4	,092	7,744	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00	,00	,01
	5	,060	9,567	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,06	,02	,69
	6	,025	14,926	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,38	,44	,02
	7	,019	17,175	,00	,02	,77	,00	,79	,02	,01	,01	,00
	8	,005	34,413	,97	,00	,01	,00	,01	,00	,54	,53	,27
	9	,001	61,936	,03	,92	,21	1,00	,14	,95	,00	,00	,00

Quadro 3.121 – Estatísticas dos resíduos do modelo Base de regressão de velocidade

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	17,077412	72,917458	43,474534	10,4809847	449362
Std. Predicted Value	-2,519	2,809	,000	1,000	449362
Standard Error of Predicted Value	,014	,086	,025	,007	449362
Adjusted Predicted Value	17,077427	72,917480	43,474534	10,4809880	449362
Residual	-26,5216122	35,5124969	,0000000	5,8184249	449362
Std. Residual	-4,558	6,103	,000	1,000	449362
Stud. Residual	-4,558	6,104	,000	1,000	449362
Deleted Residual	-26,5227222	35,5142097	-,0000003	5,8185526	449362
Stud. Deleted Residual	-4,558	6,104	,000	1,000	449362
Mahal. Distance	1,666	96,537	8,000	6,715	449362
Cook's Distance	,000	,000	,000	,000	449362
Centered Leverage Value	,000	,000	,000	,000	449362

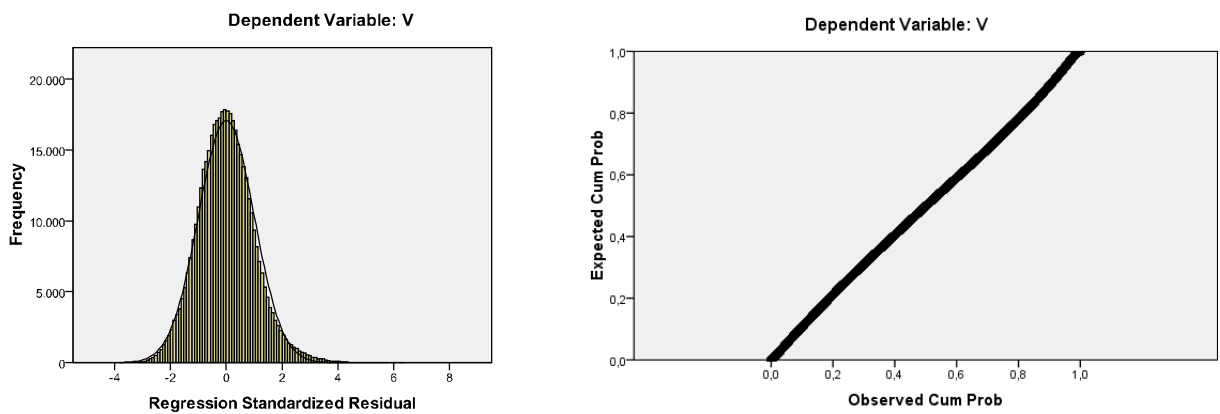


Figura 3.38 – Histograma e normal P-P plot da regressão do modelo Base de velocidade

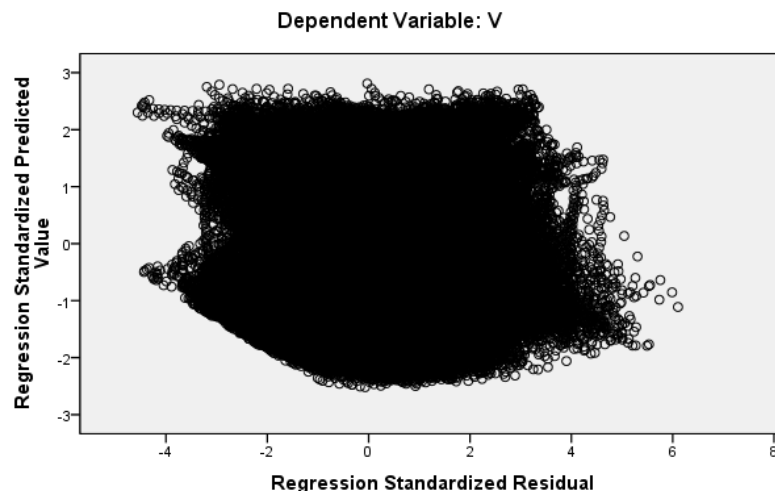


Figura 3.39 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo Base de velocidade

3.5.8 Modelo de Regressão da Velocidade – Modelo Simplificado

Quadro 3.122 – Correlações das variáveis do modelo Simplificado de velocidade

		Correlations								
		V	xF1	xF2	x2F1	x2F2	x3F1	h	Visent	Vissai
Pearson Correlation	V	1,000	-,636	,032	,560	,144	-,484	-,110	,067	,028
	xF1	-,636	1,000	,510	-,948	,388	,870	,013	-,051	-,013
	xF2	,032	,510	1,000	-,383	,957	,310	-,003	-,019	-,012
	x2F1	,560	-,948	-,383	1,000	-,291	-,979	-,013	,054	,011
	x2F2	,144	,388	,957	-,291	1,000	,236	-,004	-,015	-,011
	x3F1	-,484	,870	,310	-,979	,236	1,000	,013	-,053	-,009
	h	-,110	,013	-,003	-,013	-,004	,013	1,000	,041	,064
	Visent	,067	-,051	-,019	,054	-,015	-,053	,041	1,000	-,338
	Vissai	,028	-,013	-,012	,011	-,011	-,009	,064	-,338	1,000
Sig. (1-tailed)	V		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	xF1	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	xF2	,000	,000		,000	,000	,000	,035	,000	,000
	x2F1	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	x2F2	,000	,000	,000	,000		,000	,004	,000	,000
	x3F1	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	h	,000	,000	,035	,000	,004	,000		,000	,000
	Visent	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	Vissai	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	

Quadro 3.123 – Resumo das características do modelo Simplificado de regressão de velocidade

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df 1	df 2	Sig. F Change
1	,827	,684	,684	6,7368750	,684	194693,221	5	449356	,000
2	,833	,693	,693	6,6373541	,009	13577,373	1	449355	,000
3	,834	,695	,695	6,6183329	,002	2587,613	1	449354	,000
4	,835	,697	,697	6,5961347	,002	3030,544	1	449353	,000

Quadro 3.124 – Análise ANOVA ao modelo Simplificado de regressão de velocidade

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44181231,240	5	8836246,248	194693,221	,000
	Residual	20394240,016	449356	45,385		
	Total	64575471,255	449361			
2	Regression	44779375,206	6	7463229,201	169409,127	,000
	Residual	19796096,049	449355	44,054		
	Total	64575471,255	449361			
3	Regression	44892718,674	7	6413245,525	146413,339	,000
	Residual	19682752,581	449354	43,802		
	Total	64575471,255	449361			
4	Regression	45024574,583	8	5628071,823	129354,218	,000
	Residual	19550896,673	449353	43,509		
	Total	64575471,255	449361			

Quadro 3.125 – Coeficientes de regressão do modelo Simplificado de velocidade

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Low er Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
β_0	(Constant)	26,811	,028		951,668	,000	26,756	26,866					
β_1	xF1	-1,216	,003	-2,806	-381,383	,000	-1,222	-1,209	-,636	-,495	-,320	,013	77,038
β_2	xF2	,367	,002	,856	216,948	,000	,364	,371	,032	,308	,182	,045	22,157
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,039	-192,157	,000	-,016	-,016	,560	-,276	-,161	,003	355,887
β_4	x2F2	-,001	,000	-,177	-51,140	,000	-,001	-,001	,144	-,076	-,043	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,240	-126,843	,000	,000	,000	-,484	-,186	-,106	,007	136,040
β_0	(Constant)	34,773	,074		471,481	,000	34,629	34,918					
β_1	xF1	-1,213	,003	-2,799	-386,145	,000	-1,219	-1,207	-,636	-,499	-,319	,013	77,043
β_2	xF2	,366	,002	,853	219,370	,000	,363	,369	,032	,311	,181	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,028	-194,341	,000	-,016	-,016	,560	-,278	-,161	,003	355,899
β_4	x2F2	-,001	,000	-,176	-51,424	,000	-,001	-,001	,144	-,076	-,042	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,234	-128,069	,000	,000	,000	-,484	-,188	-,106	,007	136,045
β_6	h	-109,530	,940	-,096	-116,522	,000	-111,372	-107,687	-,110	-,171	-,096	1,000	1,000
β_0	(Constant)	33,889	,076		448,449	,000	33,741	34,037					
β_1	xF1	-1,214	,003	-2,803	-387,726	,000	-1,220	-1,208	-,636	-,501	-,319	,013	77,050
β_2	xF2	,366	,002	,853	219,977	,000	,363	,369	,032	,312	,181	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,039	-195,580	,000	-,016	-,016	,560	-,280	-,161	,003	355,966
β_4	x2F2	-,001	,000	-,176	-51,516	,000	-,001	-,001	,144	-,077	-,042	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,239	-128,984	,000	,000	,000	-,484	-,189	-,106	,007	136,061
β_6	h	-111,511	,938	-,098	-118,868	,000	-113,350	-109,673	-,110	-,175	-,098	,998	1,002
β_7	Visent	,006	,000	,042	50,869	,000	,006	,007	,067	,076	,042	,995	1,005
β_0	(Constant)	32,592	,079		413,028	,000	32,438	32,747					
β_1	xF1	-1,215	,003	-2,805	-389,251	,000	-1,221	-1,209	-,636	-,502	-,320	,013	77,051
β_2	xF2	,366	,002	,853	220,743	,000	,363	,369	,032	,313	,181	,045	22,158
β_3	x2F1	-,016	,000	-3,046	-196,668	,000	-,016	-,016	,560	-,282	-,161	,003	355,989
β_4	x2F2	-,001	,000	-,175	-51,611	,000	-,001	-,001	,144	-,077	-,042	,058	17,127
β_5	x3F1	,000	,000	-1,243	-129,825	,000	,000	,000	-,484	-,190	-,107	,007	136,069
β_6	h	-115,795	,938	-,102	-123,424	,000	-117,634	-113,956	-,110	-,181	-,101	,991	1,009
β_7	Visent	,009	,000	,059	66,827	,000	,009	,009	,067	,099	,055	,878	1,139
β_8	Vissai	,007	,000	,048	55,050	,000	,007	,008	,028	,082	,045	,879	1,138

Quadro 3.126 – Diagnostico de colinearidade do modelo Simplificado de regressão de velocidade

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions								
				(Constant)	xF1	xF2	x2F1	x2F2	x3F1	h	Visent	Vissai
1	1	3,216	1,000	,01	,00	,00	,00	,00	,00			
	2	2,269	1,191	,01	,00	,00	,00	,01	,00			
	3	,409	2,803	,19	,00	,00	,00	,02	,00			
	4	,088	6,058	,09	,05	,01	,00	,05	,02			
	5	,018	13,456	,40	,02	,78	,00	,78	,02			
	6	,001	47,260	,31	,93	,21	1,00	,14	,96			
2	1	3,854	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
	2	2,421	1,262	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		
	3	,604	2,526	,01	,00	,00	,00	,02	,00	,01		
	4	,091	6,520	,00	,05	,01	,00	,04	,02	,00		
	5	,019	14,278	,00	,02	,72	,00	,75	,01	,07		
	6	,010	19,639	,93	,00	,05	,00	,04	,00	,92		
	7	,001	51,752	,05	,92	,21	1,00	,14	,96	,00		
3	1	4,558	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	
	2	2,472	1,358	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	
	3	,714	2,526	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,04	
	4	,136	5,785	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,02	,90	
	5	,089	7,138	,00	,05	,01	,00	,05	,02	,01	,04	
	6	,019	15,528	,00	,02	,72	,00	,75	,01	,07	,00	
	7	,010	21,485	,92	,00	,05	,00	,04	,00	,89	,01	
	8	,001	56,292	,05	,92	,21	1,00	,14	,96	,00	,00	
4	1	5,282	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	2,501	1,453	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,772	2,616	,00	,00	,01	,00	,02	,00	,00	,02	,02
	4	,253	4,570	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,34	,32
	5	,094	7,491	,00	,05	,00	,00	,03	,02	,00	,06	,06
	6	,068	8,813	,04	,00	,01	,00	,02	,00	,09	,55	,57
	7	,019	16,716	,00	,02	,72	,00	,75	,01	,07	,00	,00
	8	,010	23,370	,91	,00	,05	,00	,04	,00	,84	,03	,02
	9	,001	60,602	,05	,92	,21	1,00	,14	,96	,00	,00	,00

Quadro 3.127 – Estatísticas dos resíduos do modelo Simplificado de regressão de velocidade

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	24,200914	64,784630	43,474534	10,0098396	449362
Std. Predicted Value	-1,925	2,129	,000	1,000	449362
Standard Error of Predicted Value	,017	,096	,029	,008	449362
Adjusted Predicted Value	24,200706	64,785225	43,474537	10,0098451	449362
Residual	-25,0245838	41,4658775	,0000000	6,5960760	449362
Std. Residual	-3,794	6,286	,000	1,000	449362
Stud. Residual	-3,794	6,286	,000	1,000	449362
Deleted Residual	-25,0249043	41,4667091	-,0000029	6,5962227	449362
Stud. Deleted Residual	-3,794	6,287	,000	1,000	449362
Mahal. Distance	2,013	93,941	8,000	6,573	449362
Cook's Distance	,000	,000	,000	,000	449362
Centered Leverage Value	,000	,000	,000	,000	449362

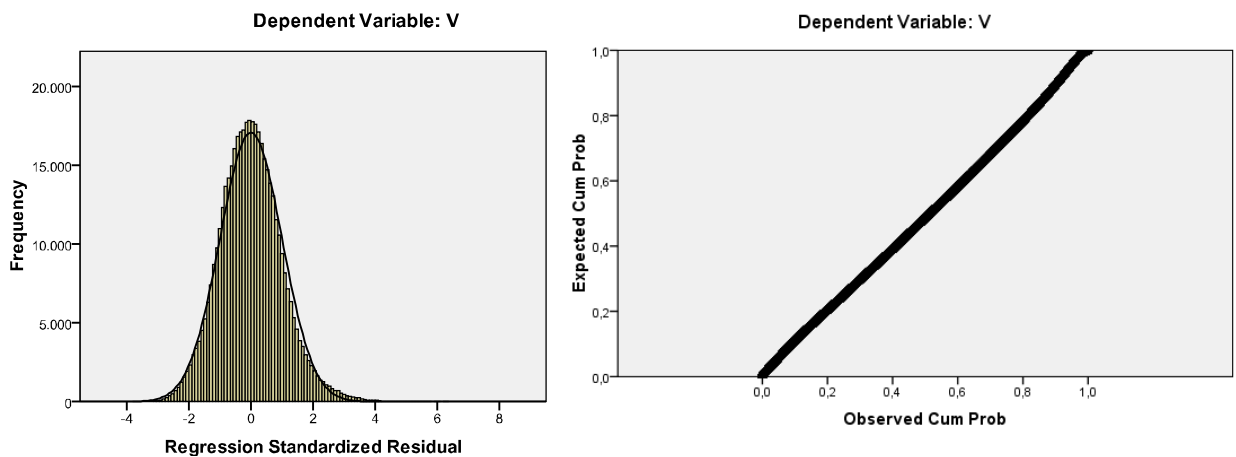


Figura 3.40 – Histograma e normal P-P plot da regressão do modelo Simplificado de velocidade

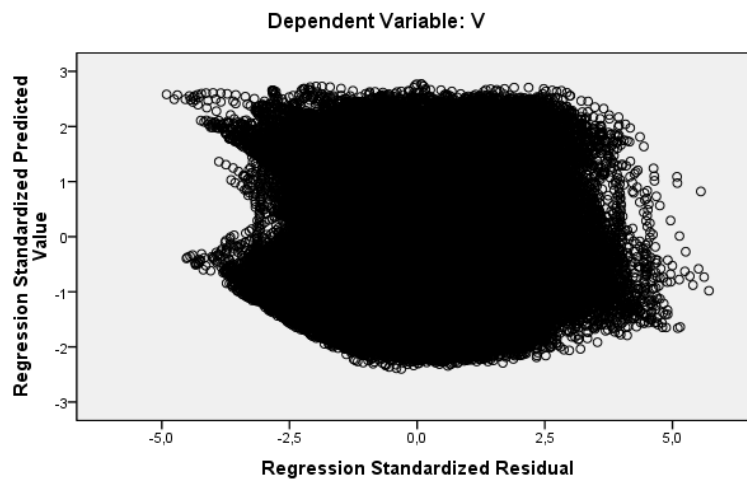


Figura 3.41 – Resíduos estandardizados versus valores previstos pelo modelo B de velocidade

3.6 Avaliação do Desempenho Global das Lombas

3.6.1 Redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento

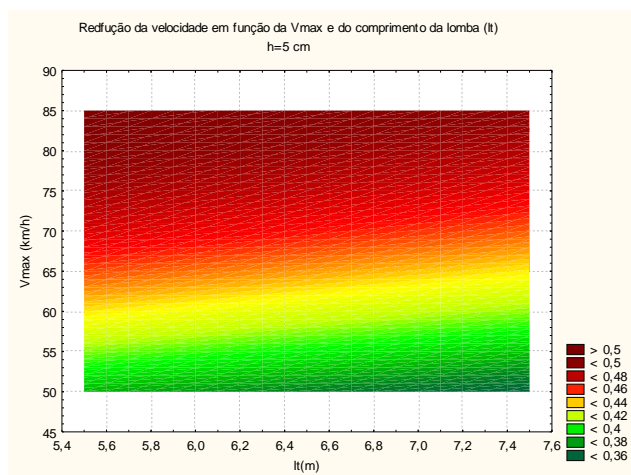


Figura 3.42 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento (h=5 cm)

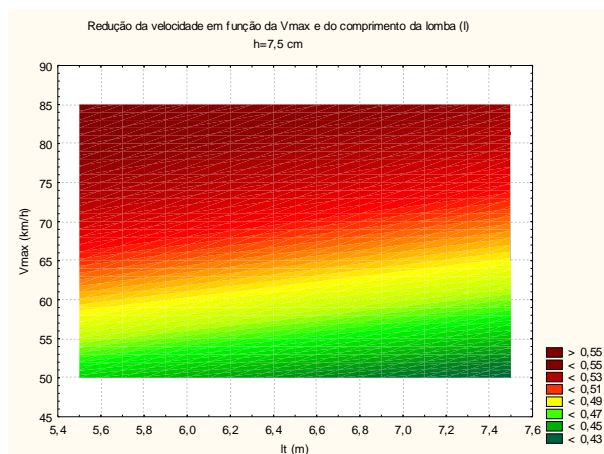


Figura 3.43 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento (h=7,5 cm)

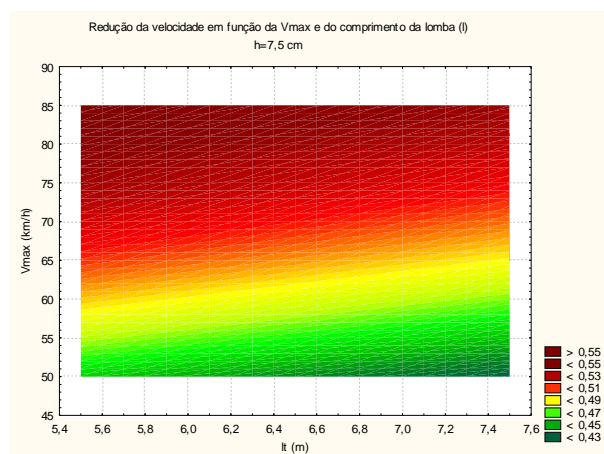


Figura 3.44 – Potencial de redução de velocidade das lombas de acordo com o comprimento (h=10 cm)