



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento Engenharia Civil



Estimativas de emissões associadas a processos de afectação de tráfego rodoviário

JOSÉ CARLOS GASPAR MARQUES

Bacharel em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes

Orientadores:

Mestre Paulo José Matos Martins, Professor Adjunto (ISEL)

Mestre Carlos Filipe Nunes Marques, Investigador (NISPT, IST)

Júri:

Presidente:

Doutora Maria da Graça Alfaro Lopes, Prof. Coordenadora c/ agregação (ISEL)

Vogais:

Licenciado, Jorge da Fonseca Nabais, Director de Inovação (Carris de Ferro de Lisboa)

Mestre Paulo José Matos Martins, Professor Adjunto (ISEL)

Mestre Carlos Filipe Nunes Marques, Investigador (NISPT, IST)

Junho 2010

Resumo

O sistema de transportes rodoviário é um dos principais elementos geradores de impactes ambientais. Com esta dissertação pretende-se contribuir para o estudo dos impactos dos transportes sobre o Ambiente, nomeadamente, o estudo dos efeitos relacionados com a poluição atmosférica e efeito de estufa. Face a este problema, é necessário avaliar as condições em que funcionam actualmente as redes rodoviárias e encontrar medidas que contrariem a poluição local e a contribuição de gases de efeito de estufa para o aquecimento global, sendo que o tráfego rodoviário é um dos maiores promotores do seu agravamento.

Na presente dissertação apresenta-se uma abordagem metodológica de avaliação das emissões de poluentes resultantes da actividade dos transportes rodoviários. Esta abordagem consiste no desenvolvimento de um sub-modelo de transportes e de um sub-modelo de emissões aplicados a uma área de estudo, para avaliação das emissões de poluentes atmosféricos e GEE decorrentes da actividade dos transportes rodoviários. Esta metodologia poderá ser usada ao nível de planeamento estratégico e, com isso, contribuir para encontrar soluções que permitam a optimização do uso dos transportes rodoviários, no que diz respeito às emissões de poluentes e GEE para a atmosfera.

A abordagem desenvolvida é aplicada ao estudo de dois casos: o primeiro consiste na modelação de uma zona urbana e o segundo, na modelação de uma zona inter-urbana, com vista a comparar e encontrar soluções que minimizem os impactes nas áreas avaliadas.

Palavras-chave:

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| - Mobilidade sustentável | - Modelação de emissões |
| - Transportes rodoviários | - Poluição local |
| - Modelação de tráfego | - Gases efeito de estufa |

Abstract

The road transport system is one of the main generators of environmental impacts. This dissertation intends to contribute for the study of transport impacts on the Environment, particularly the study of the effects of air pollution and greenhouse effect. Regarding this problem, it is necessary to assess the conditions of the current road systems and find measures to reduce local pollution and the contribution of greenhouse gases to global warming, taking in consideration road traffic to be one of the biggest contributors to this situation.

The purpose of the present study is to present a methodological approach for assessing pollutant emissions and greenhouse gases resulting of road transport activity. This approach consists of the development of a transport submodel and an emissions sub-model, applied to an area of study, in order to evaluate the environmental impact of air pollutants and greenhouse gases due to road transport activities. This methodology can be used at the a strategic planning level and, this way help to, find solutions that lead to the optimization of road transport use minimizing also the emissions of pollutants to the atmosphere.

The methodological approach proposed is applied to two cases studies: the first one consists in modelling an urban area, and the second consists in modelling an inter-urban area. The goal of the case studies is to put in evidence the solutions that minimize the environmental impacts over the studied areas.

Keywords:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| - Sustainable mobility | - Emissions modelling |
| - Road transport | - Local pollution |
| - Traffic Modelling | - Greenhouse gases |

Agradecimentos

Gostava de mostrar a minha gratidão a todos que me acompanharam e ajudaram durante o percurso académico até aquilo que sou hoje. Manifesto assim todo o gosto por todos aqueles que me acompanharam nos planos familiar, académico e também profissional.

Pretendo agradecer a pessoas que contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação aos quais agradeço toda a paciência, força e incentivo que sempre manifestaram.

Em “casa” tenho de agradecer à minha Mãe que sempre me incentivou, e pela sua infindável paciência que sempre me ajudou.

À memória do meu Pai, por me ter ajudado a continuar o Mestrado e pela força que sempre mostrou para continuar a vida académica, pelo educação e rigor e personalidade que sempre mostrou e ajudou na minha vida.

À minha namorada Joana Sardo que sempre me ajudou na pesquisa e na melhoria dos textos para uma melhor compreensão. Na paciência demonstrada nos momentos difíceis, de menor humor e de exaustão.

Aos meus amigos Tito Handem, Fábio Gomes, Bruno Alves, Márcio Medeiros, Gonçalo Abrantes e Ricardo Fernandes pelos momentos de amizade, incentivo, disponibilidade e bons momentos passados em ambiente de descontração.

Aos colegas do ISEL Flávio Pereira, João Dias e Jamila Bessa pela camaradagem, apoio, e luta neste dois anos que passámos juntos.

Ao meu orientador Prof. Paulo Martins, orientador científico, pela motivação que manifestou desde que escolhi a dissertação e todo o empenho mostrado durante todo o período de execução da dissertação, disponibilidade pessoal e de meios e capacidade de orientar e exemplificar soluções para elaborar o trabalho pretendido. Também referir a sua visão moderna, complexa e inovadora que me permitiu descobrir novas metodologias de trabalho e conhecimentos únicos.

Ao meu orientador Eng.^o Carlos Marques pela disponibilidade, partilha de conhecimentos e visão objectiva.

À empresa TIS.PT pela colaboração e disponibilidade de meios que permitiram acrescentar valor ao trabalho elaborado.

À empresa Engimind por disponibilizar o *software* Visum ao ISEL.

Ao ISEL por permitir usar as instalações e acesso à Internet que possibilitou acesso a conteúdos muito importantes no desenvolvimento da dissertação.

Índice

Geral

1	CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.1.1	Energia	2
1.1.2	Transportes.....	4
1.1.3	Transporte mercadorias	7
1.1.4	Transportes passageiros.....	8
1.1.5	Poluição a nível local	9
1.1.6	Gases de efeito de estufa	10
1.1.7	Modelação como forma de avaliação ambiental.....	12
1.2	Objectivos	12
1.3	Estrutura da dissertação	13
2	CAPÍTULO II - ESTADO DA ARTE	15
2.1	Modelação de transportes	15
2.1.1	Estado da Arte dos modelos de simulação de tráfego	17
2.1.2	Modelação mesoscópica através do software DynaMIT	18
2.1.3	Modelo de simulação de tráfego usado no estudo.....	20
2.2	Estado da arte dos modelos de emissão veiculares	21
2.2.1	Base experimental dos modelos de emissão.....	21
2.2.2	Modelos de emissão face ao detalhe	22
2.2.3	Modelos estáticos	23
2.2.4	Modelos Dinâmicos.....	25
2.3	Integração dos modelos de tráfego com os modelos de emissão de gases de escape .	28

2.3.1	Estudos em Portugal	31
2.3.2	Estudos internacionais	34
3	CAPÍTULO III – ABORDAGEM METODOLÓGICA	37
3.1	Introdução	37
3.2	Modelação de tráfego	38
3.2.1	Construção da rede rodoviária na área de estudo	41
3.2.2	Estabelecimento de zonas de análise de tráfego	42
3.2.3	Construção da rede viária no modelo	42
3.2.4	Introdução de dados de procura na área de estudo	42
3.2.5	Modelação de tráfego com o uso do software VISUM	43
3.3	Modelação de emissões	46
3.3.1	Emissões a quente	48
3.3.2	Emissões a frio	54
3.3.3	Emissões evaporativas	59
3.3.4	Abordagem metodológica de cálculo de emissões	64
3.4	Dados de entrada do programa COPERT IV	65
3.4.1	Idade da frota automóvel	66
3.4.2	Distância percorrida	67
3.4.3	Tempo de viagem e velocidades de circulação	68
3.4.4	Classes de veículos	68
3.4.5	<i>Driving Share</i> (quotas em função do ambiente de condução)	69
3.5	Dados específicos relativos a Portugal	70
3.5.1	Temperatura	70
3.5.2	Pressão de vapor de REID (RVP)	71
3.5.3	Melhoria dos combustíveis	71
3.5.4	Inspeção	72
3.5.5	Degradação derivado ao aumento da quilometragem da frota	73
3.5.6	Declive	75
3.5.7	Carga	77

3.6	Síntese Global da abordagem metodológica	77
3.7	Validação e calibração.....	78
4	CAPITULO IV - ESTUDO DE CASOS.....	81
4.1	Estudo de caso interurbano.....	81
4.1.1	Área de estudo.....	81
4.1.2	Procedimento de cálculo.....	82
4.1.3	Dados de Frota	83
4.1.4	Dados de Mobilidade.....	84
4.1.5	Parâmetros específicos do país	85
4.1.6	Resultados	87
4.2	Estudo de caso urbano.....	91
4.2.1	Área de estudo.....	91
4.2.2	Procedimento de cálculo.....	92
4.2.3	Zonas e rede viária da área de estudo	92
4.2.4	Dados de Frota	93
4.2.5	Dados de Mobilidade.....	95
4.2.6	Dados específicos da zona de estudo	96
4.2.7	Resultados	97
4.2.8	Validação.....	101
5	CAPÍTULO V - CONCLUSÕES.....	103
5.1	Estudos futuros	109
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
7	OUTRA BIBLIOGRAFIA.....	123
	ANEXO I - ESTUDOS.....	A1
	AI.1- ESTUDO DE CASOS	A3
	AI.1.1 Área de estudo.....	A.3

Al.1.2	Procedimento de cálculo	A.4
Al.1.3	Dados de Frota.....	A.5
Al.1.4	Dados de Mobilidade.....	A.25
Al.1.5.	Parâmetros específicos do país.....	A.30
Al.1.6.	Resultados.....	A.33
8	AI.2 - CASO DE ESTUDO URBANO.....	A.37
Al.2.1	Estudo de caso	A.37
Al.2.2	Área de estudo.....	A.38
Al.2.3	Características Demográficas	A.38
Al.2.4	Características da Mobilidade.....	A.39
Al.2.5	Emissões no Concelho de Oeiras.....	A.42
Al.2.6	Aplicação do modelo de cálculo	A.42
Al.2.7	Zonas e rede viária da zona urbana.....	A.43
Al.2.7	Caracterização funcional da rede de estradas	A.45
Al.2.8	Dados de Frota.....	A.46
Al.2.8	Dados de Mobilidade.....	A.51
Al.2.9	Dados específicos do país.....	A.64
Al.2.10	Resultados.....	A.67
Al.2.11.	Validação	A.71
Al.2.12	Indicadores ambientais.....	A.75
	ANEXO II - FIGURAS.....	A.77
	All.1 - Efeito de Estufa.....	A.79
	All.2 - Laboratórios de ensaio de motores numa plataforma de serviço.....	A.80
	All.3 - Testes de emissões em dinamómetro de chassis	A.81
	All.4 - Medição de emissões na estrada através de sistemas a bordo do veículo	A.81

All.5 - Medições de emissões na estrada	A.82
All.6 - Relação entre velocidade e emissões.....	A.83
All.7 - Consumo de combustível por carga do veículo	A.83
ANEXO III - LEGISLAÇÃO.....	A.85
All.1 - Decreto-lei nº 111/2002	A.87
All.2 - Decreto-Lei n.º 351/2007	A.87
All.3 - Decreto-lei nº 7/2002	A.87
All.4 - Directiva 2001/81/CE	A.88
All.5 - Resolução do Conselho de Ministros 68/2005	A.88
All.6 - Resolução do Concelho de Ministros 104/2006	A.88
All.7 - Regulamento 715/2007	A.88
All.8 - Decreto-lei nº 254/2001	A.88
All.9 - Directiva 2009/30/CE	A.89
All.10 - Decreto-lei 550/99	A.89
All.11 - Directiva 92/55/EC	A.89
All.12 - Resolução de Conselho de Ministros n.º 1/2008.....	A.89
ANEXO IV - TABELAS.....	A.91
Grupos de poluentes quantificados pela metodologia COPERT IV.....	A.93
AIV.1 - Grupo 1.....	A.93
AIV.2 - Grupo 2.....	A.93
AIV.3 - Grupo 3.....	A.94
AIV.4 - Grupo 4.....	A.94
Efeitos dos poluentes atmosféricos e GEE contemplados pela metodologia COPERT IV na saúde humana e ambiente	A.94
AIV.5 - Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 1	A.95
AIV.6 - Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 2.....	A.96
AIV.7 - Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 3.....	A.98
Dados usados na metodologia COPERT IV.....	A.98
AIV.8 - Factor de carga	A.99
AIV.9 - Classes de veículos adoptadas em Portugal	A.99

AIV.10 - Matriz O/D da zona urbana na HPMA.101

Índice de

figuras

<i>Figura 1 - Aumento de temperatura global</i>	2
<i>Figura 2. - Esquema do balanço energético no sector dos transportes rodoviários</i>	3
<i>Figura 3 - Emissões de GEE por sector em Portugal</i>	4
<i>Figura 4 - Evolução da escolha modal em Portugal</i>	6
<i>Figura 5 - Evolução do tráfego internacional - Mercadorias exportadas por modos de transportes – em toneladas.</i>	8
<i>Figura 6 - Principais poluentes produzidos pelos veículos</i>	9
<i>Figura 7 - Emissões de GEE e metas do Protocolo de Quioto para Portugal</i>	11
<i>Figura 8 - Modelos baseados na velocidade média</i>	23
<i>Figura 9 - Estrutura do modelo Tremod</i>	25
<i>Figura 10 - Modelos microscópicos instantâneos</i>	26
<i>Figura 11 - Estrutura do modelo CMEM</i>	28
<i>Figura 12 - Exemplificação da integração entre modelos de mobilidade e ambientais</i>	29
<i>Figura 13 - Modelo Base da metodologia adoptada</i>	31
<i>Figura 14 - Modelo de rede de transportes</i>	39
<i>Figura 15 - Modelos dos 4 passos</i>	41
<i>Figura 16 - Fases do ciclo de Otto</i>	49
<i>Figura 17 - Curvas de formação de poluentes em função da razão de equivalência</i>	51
<i>Figura 18 - Relação velocidade e emissões de poluentes</i>	53
<i>Figura 19 - Relação entre período de estacionamento e partida a frio</i>	55
<i>Figura 20 - Tempo médio de emissões a frio</i>	56
<i>Figura 21 - Relação temperatura e distância a frio e Relação velocidade e distância a frio</i>	57
<i>Figura 22 - Emissão de poluentes totais nas partidas a frio</i>	57

<i>Figura 23 - Variação da massa de combustível evaporado e temperatura do combustível ao longo do tempo.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 24 - Emissões a quente</i>	<i>62</i>
<i>Figura 25 - Emissões a frio</i>	<i>62</i>
<i>Figura 26 - Esquema de cálculo de emissões totais no COPERT IV</i>	<i>65</i>
<i>Figura 27 - Relações emissões velocidade e relação RPM/consumo</i>	<i>69</i>
<i>Figura 28 – Diagrama de temperaturas mensais em Portugal Continental</i>	<i>70</i>
<i>Figura 29 - Factor de correcção da quilometragem e factor de emissão de CO em função da velocidade</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30 - influência da massa dos veículos nas emissões produzidas (INRETS)</i>	<i>76</i>
<i>Figura 31 - Relação entre emissões, declive e velocidade</i>	<i>76</i>
<i>Figura 32 - Relação entre potência do motor e o declive da estrada</i>	<i>76</i>
<i>Figura 33 - Área de estudo interurbano</i>	<i>82</i>
<i>Figura 34 - Esquema do procedimento de cálculo usado no estudo na área interurbano</i>	<i>83</i>
<i>Figura 35 - Resultado das emissões de poluentes atmosféricos</i>	<i>87</i>
<i>Figura 36 - Resultado das emissões consumo de combustível/energético</i>	<i>88</i>
<i>Figura 37 - Resultados das emissões de GEE</i>	<i>88</i>
<i>Figura 38 - Resultados das emissões evaporativas</i>	<i>89</i>
<i>Figura 39 - Resultado das emissões de Metais Pesados</i>	<i>89</i>
<i>Figura 40 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel</i>	<i>90</i>
<i>Figura 41 - Área de estudo interurbano</i>	<i>91</i>
<i>Figura 42 - Esquema do procedimento de cálculo usada no estudo da zona interurbana</i>	<i>92</i>
<i>Figura 43 - Zonas e rede viária da zona de estudo</i>	<i>93</i>
<i>Figura 44 - Viagens iniciadas em Oeiras durante o dia</i>	<i>94</i>
<i>Figura 45 - Distribuição dos tipos de arranque em função do motivo das viagens</i>	<i>94</i>
<i>Figura 46 - Total de emissões de Poluentes Atmosféricos</i>	<i>97</i>
<i>Figura 47 - Total de emissões de metais pesados</i>	<i>98</i>
<i>Figura 48 - Total de emissões de GEE</i>	<i>98</i>
<i>Figura 49 - Total de emissões de energia consumida</i>	<i>99</i>
<i>Figura 50 - Total de emissões evaporativas</i>	<i>99</i>
<i>Figura 51 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel</i>	<i>100</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 52 - Contribuição das emissões por tipo de via na HPM</i>	100
<i>Figura 53 - Área de estudo</i>	A4
<i>Figura 54 - Sublanço em estudo Alverca / Vila Franca de Xira</i>	A4
<i>Figura 55 - Esquema do procedimento de cálculo usado no estudo na área inter-urbano</i>	A5
<i>Figura 56 - Esquema da criação da frota da A1</i>	A6
<i>Figura 57 - Curvas de Abate da frota automóvel alemã</i>	A10
<i>Figura 58 - Curvas de Abate em Portugal</i>	A10
<i>Figura 59 - Comportamento dos volumes de tráfego nos veículos ligeiros no sublanço de estudo e no sublanço IC17/CRIL/Santa Iria</i>	A12
<i>Figura 60 - Dados de tráfego do sublanço Alverca/VFX nos veículos de classe 3 e 4</i>	A13
<i>Figura 61 - Dados de tráfego do sublanço Alverca/VFX nos veículos de classe 1</i>	A13
<i>Figura 62 - Frota Média de veículos todo-o-terreno na classe de veículos ligeiros de Passageiros</i>	A19
<i>Figura 63 - Frota média de comerciais Ligeiros de classe de portagem 1 inseridos dentro da classe dos veículos comerciais ligeiros</i>	A20
<i>Figura 64 - Percentagem de veículos classe 2 no universo do grupo de veículos ligeiros de passageiros</i>	A20
<i>Figura 65 - Percentagem de veículos classe 1 no universo do grupo dos veículos ligeiros comerciais</i>	A21
<i>Figura 66 - Frota nacional de veículos por classes de tipologia de veículos</i>	A22
<i>Figura 67 - Frota de veículos por Classe e Tipologia</i>	A22
<i>Figura 68 - Frota de veículos em percentagem da A1 por classe e tipologia no sentido Sul/Norte</i>	A23
<i>Figura 69 - Frota de veículos em percentagem da A1 por classe e tipologia no sentido Norte/Sul</i>	A23
<i>Figura 70 - Tráfego na A1 por classe e tipologia de veículos no sentido Sul/Norte</i>	A24
<i>Figura 71 - Tráfego na A1 por classe e tipologia de veículos no sentido Norte/Sul</i>	A24
<i>Figura 72 - Quilometragem efectuada pelo veículo anualmente em função da idade</i>	A27
<i>Figura 73 - Banda de velocidades verificadas no sublanço Santa Iria - Sacavém</i>	A29
<i>Figura 74 - Resultado das emissões de poluentes atmosféricos</i>	A33
<i>Figura 75 - Consumo total de energia</i>	A34
<i>Figura 76 - Resultados das emissões de GEE</i>	A34
<i>Figura 77 - Resultados das emissões evaporativas</i>	A35
<i>Figura 78 - Resultado das emissões de Metais Pesados</i>	A35
<i>Figura 79 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel</i>	A36

<i>Figura 80 - Área de estudo Urbana</i>	A38
<i>Figura 81 - Densidade populacional na área de estudo</i>	A39
<i>Figura 82 - Equipamentos existentes na área de estudo</i>	A40
<i>Figura 83 - Duração média dos movimentos pendulares (mín) da população residentes empregada ou estudante</i>	A41
<i>Figura 84 - Viagens com extremo em Oeiras</i>	A41
<i>Figura 85 - Dados estatísticos da estação da Quinta do Marquês em Oeiras para os meses de Inverno</i>	A42
<i>Figura 86 - Esquema da metodologia de cálculo usada no estudo da zona interurbana</i>	A43
<i>Figura 87 - Zonas e rede viária da zona de estudo</i>	A44
<i>Figura 88 - Proporções das diferentes classes de veículos da frota de estudo</i>	A46
<i>Figura 89 - Distribuição horária das viagens em função do seu destino</i>	A51
<i>Figura 90 - Viagens iniciadas em Oeiras durante o dia</i>	A52
<i>Figura 91 - Distribuição dos tipos de arranque em função do motivo das viagens</i>	A56
<i>Figura 92 - Velocidade modelada para vias urbanas na HPM</i>	A58
<i>Figura 93 - Velocidade modelada para vias rurais na HPM</i>	A59
<i>Figura 94 - Velocidade modelada para vias AE na HPM</i>	A59
<i>Figura 95 - Velocidades nos municípios do Distrito de Lisboa (km/h)</i>	A60
<i>Figura 96 - Velocidade modelada para vias urbanas no PEP</i>	A61
<i>Figura 97 - Velocidade modelada para vias rurais no PEP</i>	A61
<i>Figura 98 - Velocidade modelada para vias AEs no PEP</i>	A62
<i>Figura 99 - Mapa hipsométrico da zona de estudo</i>	A65
<i>Figura 100 - Total de emissões de Poluentes Atmosféricos</i>	A67
<i>Figura 101 - Total de emissões de metais pesados</i>	A68
<i>Figura 102 - Total de emissões de GEE</i>	A68
<i>Figura 103 - Total de emissões de energia consumida</i>	A69
<i>Figura 104 - Total de emissões evaporativas</i>	A69
<i>Figura 105 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel</i>	A70
<i>Figura 106 - Contribuição das emissões por tipo de via na HPM</i>	A70
<i>Figura 107 - Emissões evaporativas consoante tipo de emissão</i>	A70

Índice de Figuras

<i>Figura 108 - Efeito de Estufa</i>	A79
<i>Figura 109 – Laboratórios de ensaio de motores numa plataforma de serviço</i>	A80
<i>Figura 110 - Laboratório de testes de emissões com um dinamómetro de chassis</i>	A81
<i>Figura 111 - Medição de emissões na estrada através de sistemas a bordo do veículo</i>	A82
<i>Figura 112 - Medições de emissões na estrada</i>	A82
<i>Figura 113 - Relação entre velocidade e emissões</i>	A83
<i>Figura 114 - Consumo de combustível por carga do veículo</i>	A83

Índice de

Tabelas

<i>Tabela 1 – Emissões de GEE no Sector dos Transportes</i>	6
<i>Tabela 2 - Tipos de modelos de afectação de tráfego</i>	16
<i>Tabela 3 - Factores de emissão para o poluente CO para veículos a gasolina</i>	53
<i>Tabela 4 – Rácio de sobre-emissões nas partidas a frio para veículos ligeiros a diesel</i>	58
<i>Tabela 5 – Fracção de percurso conduzido com motor frio ou catalisador operando abaixo da temperatura estabilizada</i>	59
<i>Tabela 6 – Factores de emissão para emissões evaporativas de veículos a gasolina</i>	63
<i>Tabela 7 – Tecnologias de controlo de emissões e datas de implementação das mesmas pelos fabricantes</i>	66
<i>Tabela 8 – Exemplo da velocidade de veículos (km/h) consideradas como representativas para caracterizar o comportamento de condução de veículos a gasolina <2,5t em diferentes tipos de estrada</i>	68
<i>Tabela 9 – Percentagem de repartição das viagens por ambiente de condução por motorização</i>	70
<i>Tabela 10 – Especificações da gasolina</i>	72
<i>Tabela 11 – Especificações do gasóleo (COPERT IV)</i>	72
<i>Tabela 12 – Aumento da emissão de poluentes por aumento da quilometragem dos veículos</i>	73
<i>Tabela 13 – Influência do declive</i>	77
<i>Tabela 14 – Resumo da metodologia a adoptar no estudo</i>	77
<i>Tabela 15 – Esquema da criação da frota da A1</i>	84
<i>Tabela 16 Velocidades médias utilizadas no estudo interurbano</i>	85
<i>Tabela 17 Declive da zona de estudo por sentido de tráfego</i>	86
<i>Tabela 18 – Factores de emissão do estudo de caso interurbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999</i>	87
<i>Tabela 19 – Indicadores ambientais</i>	90
<i>Tabela 20 - Velocidades segundo tipo de via e períodos de estudo analisados</i>	95

<i>Tabela 21 - Distribuição das viagens por ambiente de condução em períodos de ponta por tipo de ambiente de condução</i>	95
<i>Tabela 22 – Factores de emissão do estudo de caso urbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999</i>	97
<i>Tabela 23 – Indicadores ambientais calculados para a zona de estudo</i>	101
<i>Tabela 24 – Comparação de consumo de combustíveis entre modelo de emissões e dados estatísticos da DGEG</i>	101
<i>Tabela 25 – Vendas de veículos usados ligeiros de passageiros</i>	A7
<i>Tabela 26 - Marcas de veículos importados usados mais vendidas</i>	A8
<i>Tabela 27 – Frota consoante a idade do veículo</i>	A8
<i>Tabela 28 – Percentagem de veículos por cilindrada e tipo de combustível mais vendido a nível nacional</i>	A8
<i>Tabela 29 – Vendas de veículos novos em Portugal</i>	A11
<i>Tabela 30 – Procedimentos para a execução da Frota para o uso no Programa COPERT IV</i>	A11
<i>Tabela 31 - Dados de Portagem no sentido N/S</i>	A14
<i>Tabela 32 - Dados de Portagem no sentido S/N</i>	A14
<i>Tabela 33 – Frota automóvel nacional e de estudo</i>	A15
<i>Tabela 34 – Distância entre pontos inicial e final da A1 em estudo</i>	A25
<i>Tabela 35 – Tempo médio entre pontos inicial e final do estudo da A1</i>	A25
<i>Tabela 36 – Quilometragem média na Europa</i>	A26
<i>Tabela 37 – Quilometragem média total dos veículos da frota nacional</i>	A27
<i>Tabela 38 – Limites legais para as diferentes classes de veículos de acordo com o código da estrada</i>	A29
<i>Tabela 39 – Quotas de quilometragem em função do tipo de ambiente de condução no estudo</i>	A29
<i>Tabela 40 – Temperaturas máximas e mínimas na zona de estudo</i>	A30
<i>Tabela 41 – Pressão de valor de Reid</i>	A30
<i>Tabela 42 – Altitude dos pontos inicial e final do troço da A1-Norte</i>	A31
<i>Tabela 43 – Factores de emissão do estudo de caso interurbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999</i>	A33
<i>Tabela 44 – Indicadores ambientais</i>	A36
<i>Tabela 45- Legenda dos equipamentos existentes na área de estudo</i>	A40
<i>Tabela 46 - Dados das principais viagens efectuadas no Concelho de Oeiras</i>	A45

Índice de Tabelas

<i>Tabela 47 - Frota de estudo por classe, categoria, idade e tecnologia de emissões</i>	A46
<i>Tabela 48 – Principais deslocações em TI de não residentes e residentes no Concelho de Oeiras</i>	A53
<i>Tabela 49 - Períodos de análise do estudo e variação horária das viagens realizadas na zona de estudo ao longo de um dia.</i>	A53
<i>Tabela 50 - Distâncias a frio percorridas por tipo de veículo</i>	A54
<i>Tabela 51 - Viagens iniciadas por tipo de arranque nos diferentes períodos de estudo</i>	A56
<i>Tabela 52 - Viagens iniciadas por tipo de arranque na HPM</i>	A57
<i>Tabela 53 – Índice de congestionamento por tipo de ambiente de condução (>100%) indica que as velocidades de afectação são mais lentas que as de regime livre</i>	A58
<i>Tabela 54 - Velocidades segundo tipo de via e períodos de estudo analisados</i>	A62
<i>Tabela 55 - Velocidade por tipo de via e valores adoptados nos períodos de estudo analisados</i>	A62
<i>Tabela 56 - Distribuição das viagens por ambiente de condução em períodos de ponta por tipo de ambiente de condução</i>	A64
<i>Tabela 57 - Temperaturas registadas na zona de estudo</i>	A64
<i>Tabela 58 – Factores de emissão do estudo de caso urbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999</i>	A67
<i>Tabela 59 – Inventário do consumo de combustíveis no Concelho de Oeiras</i>	A71
<i>Tabela 60 – Consumo de combustíveis na área de estudo</i>	A72
<i>Tabela 61 – Comparação de consumo de combustíveis entre modelo de emissões e dados estatísticos da DGEG</i>	A72
<i>Tabela 62 – Percentagem de poluente em função da fonte de emissão</i>	A74
<i>Tabela 63 – Inventário de emissões da APA para o Concelho de Oeiras</i>	A75
<i>Tabela 64 – Indicadores ambientais calculados para a zona de estudo</i>	A75
<i>Tabela 65 – Grupo 1</i>	A93
<i>Tabela 66 – Grupo 2</i>	A93
<i>Tabela 67 – Grupo 3</i>	A94
<i>Tabela 68 – Grupo 4</i>	A94
<i>Tabela 69 – Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 1</i>	A95
<i>Tabela 70 – Poluentes e as suas consequências na saúde humana (Grupo 2)</i>	A96
<i>Tabela 71 – Poluentes e as suas consequências na saúde humana (Grupo 3)</i>	A98

Tabela 72 – Factor de carga *A99*

Tabela 73 - Classes de veículos adoptadas em Portugal *A99*

Tabela 74 – Matriz O/D da zona urbana na HPM *A101*

Acrónimos

AE – Auto-estrada

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

cm – centímetros

CMEM - Comprehensive Modal Emissions Model

COPERT – *Software program aiming at the CalculatiOn of air Pollutant Emissions from Road Transport* (Programa de modelação de emissões de poluentes decorrentes do tráfego rodoviário)

CORINAIR – Core Inventory Air Emissions

COST - European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research

COV – Compostos orgânicos voláteis

EEA – European Environmental Agency (EUA)

EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme

EMME/3 – Programa de modelação macroscópica de tráfego

EPA – Environmental protection agency

EPEFE - European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies

EUDC – Extra Urban Driving Cycle

FE – Factor de emissão

g/t.km – gramas por tonelada.kilometro

GEE – Gases de efeito de estufa

GEMAC - Grupo de Emissões, Modelação e Alterações Climáticas da Universidade de Aveiro

GPL – Gás petróleo liquefeito

ha – hectare

hab. – Habitante

HC – Hidrocarbonetos

HPM – hora de ponta matinal

IC – itinerário complementar

IFEU - *Institute on behalf of the Federal Environment Agency*

IMTT – Instituto da Mobilidade e Transportes Terrestres

INE – Instituto Nacional de Estatística

INRETS - Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

IP – itinerário principal

km/h – quilómetros por hora

km² – Quilómetro quadrado

kPa – Kilo Pascal

kt – Kilo Tonelada

l – Litro

m²/s² – metro quadrado por segundo quadrado

MEET - Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption

MIT – Massachusetts Institute of Technology

MOPTC – Ministério das Obras Públicas e Telecomunicações

NMVOG – compostos orgânicos voláteis excluindo os compostos com metano

NUTS – Nomenclatura de Unidade Territorial para fins Estatísticos

O/D – Origem/Destino

°C – grau Celsius

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OMC – Organização Mundial de Comércio

PAH – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

PPM – Período de ponta matinal

PEP – Período entre pontas

PIB – Produto Interno bruto

PM – Partículas microscópicas

PNAC – Plano Nacional de Alterações Climáticas

PNB – Produto nacional bruto

ppm – partes por milhão

PPT – Período de ponta da tarde

PRN2000 – Plano Rodoviário Nacional 2000

RVP – Pressão de vapor de Reid

TC – Transporte colectivo

tep – Tonelada de petróleo equivalente

TI – Transporte individual

TREM - Modelo de Emissões dos Transportes para Fontes em Linha

UDC – Urban Driving Cycle

UE – União Europeia

Vadis - Pollutant **d**ispersion in the atmosphere under **v**ariable wind conditions

veíc – Veículo

Visum – Programa modelação macroscópica de tráfego

VKT – total de quilómetros percorridos por um veículo

VOC – Volatile organic compounds (Compostos orgânicos voláteis)

“All models are simplifications, by definition, and the balance between representational complexity and practical requirements is often a fine one, governed by the information sought, the study budget, and the state of the art, however contentious that might be. Government agencies and private consultancies seek practical modeling tools which are believed to be robust for the purpose, avoiding unjustified elaboration and misspecification from overly simplest forms.” (Lee, 2004)

Capítulo I - Introdução

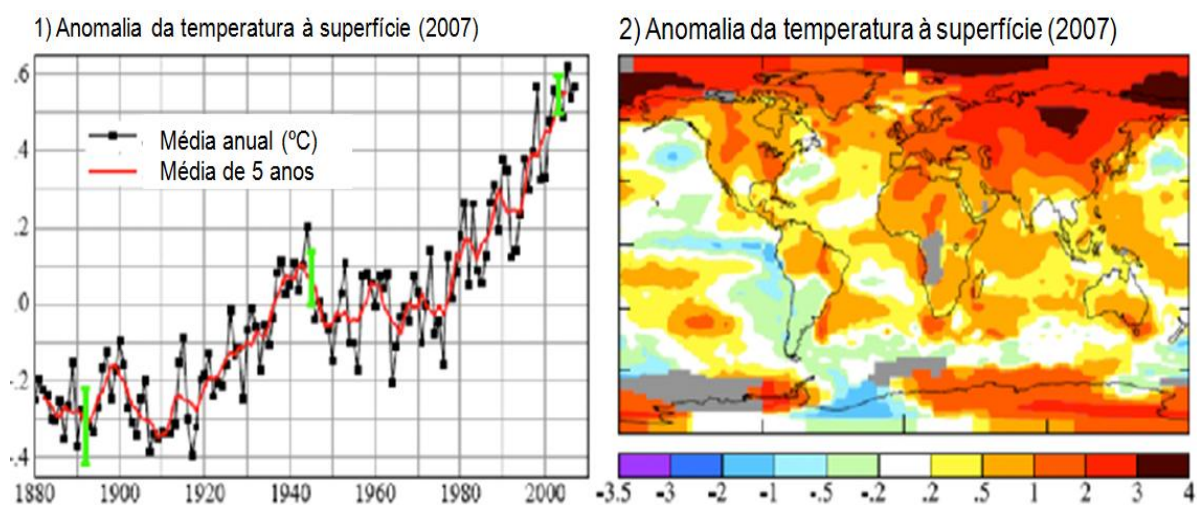
1.1 Enquadramento

As mudanças climáticas passaram, na última década, de uma matéria importante relacionada com o Ambiente, para um problema à escala global, em relação ao qual se têm desenvolvido diversos esforços para alterar o panorama actual. Cientificamente sabe-se que a origem das mudanças climáticas é antropogénica ou natural. As mudanças naturais têm origem nas variações da luminosidade do sol e nas variações da órbita da Terra em torno do Sol. As mudanças antropogénicas resultam "...principalmente de alterações na composição da atmosfera, especialmente no que respeita a gases de efeito de estufa" (Santos, Moita, e Forbes, 2001). Desde a revolução industrial, a humanidade contribui para o aumento dos gases de efeito de estufa (GEE¹) e causa impactes no clima global. A concentração de dióxido de carbono (CO₂) aumentou 31% até ao valor actual. Este aumento deve-se a vários factores, como por exemplo: a queima de combustíveis fósseis ou a alteração do uso de solos (desflorestação). Actualmente, a actividade humana contribui com 10¹² quilogramas de carbono sob a forma de CO₂ para a atmosfera. Este aumento de GEE provocou o aumento da temperatura da terra em 0,6°C no século passado (Figura 1) e, conseqüentemente, o aumento do nível das águas do mar entre 10 a 20 cm. Actualmente, Portugal evidencia algumas mudanças climáticas, como referencia o projecto *Scenarios, Impacts, and Adaptation Measures* (SIAM 2, 2002), "Desde a década de 1970, a temperatura média subiu em todas as regiões de Portugal, a uma taxa de cerca de 0.5°C/década, mais do dobro da taxa de aquecimento observada para a temperatura média mundial". Perante esta evidência, urge tomar medidas que atenuem os impactes ambientais. Os efeitos resultantes vão desde a perturbação do equilíbrio natural do planeta a eventos extremos, como secas e inundações, até mudanças nas correntes oceânicas e do clima global.

Economicamente, existem dados que conseguem quantificar o prejuízo resultante das alterações climáticas, que se estima em 500 biliões de euros com aumento de 6% ao ano (Munich Re, 2008). Estes números assustadores atraem a atenção de qualquer governo no mundo e, hoje, as mudanças climáticas são o maior problema com que o planeta se depara.

¹ O Protocolo de Quioto contempla os seguintes GEE: Dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Figura 1 - Aumento de temperatura global



Fonte: (SCAR, 2007)

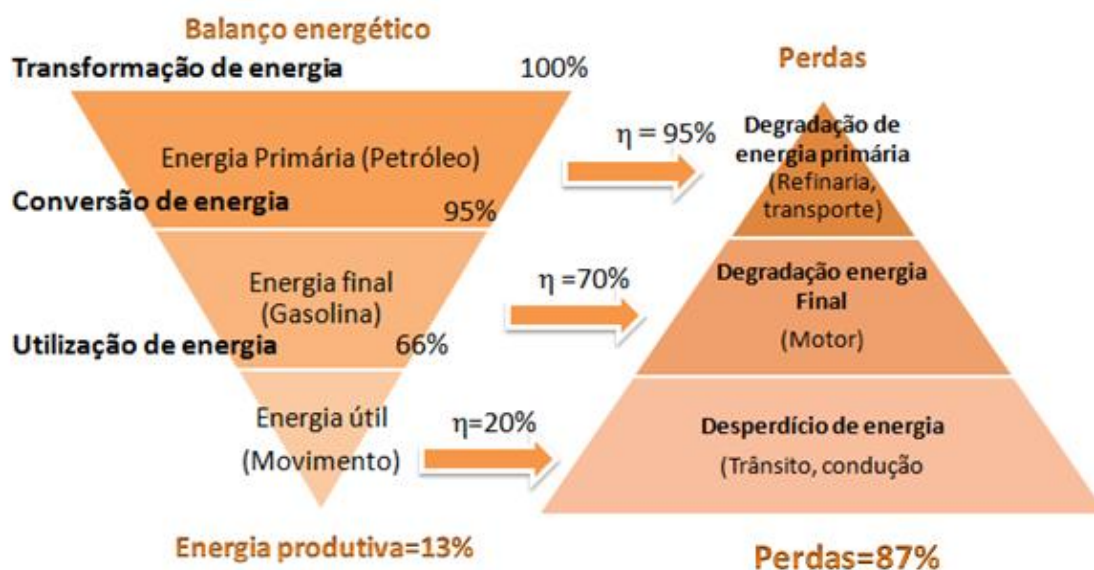
1.1.1 Energia

A energia representa um importante factor produtivo na sociedade, nomeadamente nos serviços, transportes e indústria. Esta representa a base do crescimento económico e bem-estar da sociedade, mas, por outro lado, causa efeitos significativos no ambiente. O desenvolvimento tecnológico tem lutado contra os problemas que o uso de energia nas actividades humanas causa ao meio ambiente. Hoje em dia, apesar de a maioria da energia ser de origem fóssil, existem já outros meios que causam menos danos, como a energia nuclear, solar, eólica, etc.

O aumento da procura de energia primária tem repercussões económicas e sociais significativas. Actualmente, a União Europeia (UE) é dependente em cerca de 50% de fontes externas no fornecimento de energia e poderá, até 2030, aumentar a sua dependência para 70%. Esta situação provoca importantes tensões geopolíticas na procura de fontes de energia entre países produtores e países dependentes de energia (UE, 2006).

Desde o local em que é recolhida até ao consumidor final, a energia passa por várias etapas: transformação (refinação), produção (extracção), transporte, armazenamento e uso da energia final. O balanço energético segue o esquema representado na Figura 2, em que a energia efectivamente usada é só de 13%, no caso dos transportes rodoviários. Este baixo rendimento indica que a energia deve ser usada de uma forma eficiente e consciente, pois deve-se ter em conta os graves impactes ambientais e a ineficiência energética associados ao uso energético das actividades humanas.

Figura 2. - Esquema do balanço energético no sector dos transportes rodoviários



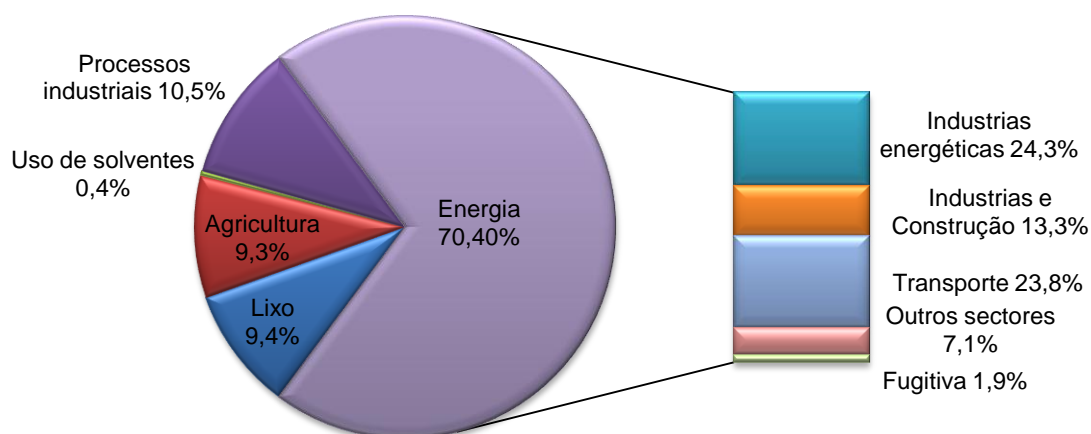
Fonte: (Parente, 2008)

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2008), “A dependência energética do país em relação à importação de produtos energéticos foi de 81,2%, em 2006, contra 85,4%, em 2005”. O país apresenta escassos recursos energéticos de origem fóssil e, paradigmaticamente, metade do consumo tem por base o petróleo.

Portugal manifesta um nível satisfatório de consumo de energia em relação a outros países da UE. O país tem uma média de consumo por habitante (hab) de 1,7 tonelada equivalente de petróleo (tep), enquanto a média europeia de consumo cifra-se em 2,5 tep/hab. Este dado, apesar de satisfatório, revela que ainda têm de desenvolver-se esforços para cumprir os compromissos ambientais acordados no Protocolo de Quioto (PQ). Medidas como a melhoria da eficiência energética, a redução da dependência energética do exterior e o aumento da produção de energias renováveis podem melhorar o desempenho ambiental do país e ajudar ao cumprimento dos objectivos definidos no PQ.

As emissões em Portugal são maioritariamente provocadas pelo sector da energia, sendo que o subsector dos transportes é responsável por 23,8% (Figura 3) das emissões totais de GEE. O transporte rodoviário é responsável por 84% das emissões de GEE do sector dos transportes, e totalizando 20% das emissões totais de GEE em Portugal (E. Value, 2006).

Figura 3 - Emissões de GEE por sector em Portugal



Fonte: (APA, 2008)

O sector dos transportes apresenta um grave problema de sustentabilidade ambiental, pois grande parte da frota consome energia de origem fóssil. Na UE Cerca de 83% da mobilidade é feita através do modo rodoviário, o que agrava as emissões de GEE e poluentes locais (MOPTC, 2009). Uma medida recentemente promovida pelo governo português consiste na promoção da venda de veículos eléctricos no mercado nacional automóvel com ajudas fiscais. Esta medida poderá melhorar a situação a médio prazo e contribuir para uma melhor sustentabilidade ambiental no futuro.

1.1.2 Transportes

A mobilidade é um factor que melhora a qualidade de vida da população e um elemento vital para a competitividade de um país. Esta representa a espinha dorsal da economia, estabelecendo os elos entre as várias etapas das cadeias de produção e a relação entre os prestadores de serviços e os seus clientes, para além de ser uma importante fonte de emprego (UE, 2008). O sector dos transportes representa 7% do PIB europeu e 5% do trabalho na UE, o que revela, por si só, a sua enorme importância. A actividade transportadora está relacionada com a maior parte das actividades da sociedade, sendo por isso de grande relevância para todos os sectores.

A importância do sector dos transportes na política da UE e o seu papel preponderante no crescimento económico conduziram à definição de um conjunto de políticas comuns nos estados membros que se iniciaram no Tratado de Roma em 1986. No entanto, durante 30 anos, a UE enfrentou um conjunto de problemas que tornou difícil a inclusão das políticas de transporte. No Tratado de Maastricht (1992) a UE consagra a procura da coesão económico-social das diversas regiões e países comunitários como um dos objectivos da União. Para o conseguir, regulamentou-se o chamado Fundo de Coesão, que proporcionaria uma ajuda financeira aos sectores do meio ambiente e das redes europeias em matéria de

infra-estruturas de transportes. Este fundo estava destinado aos estados membros da União que tivessem um Produto Nacional Bruto (PNB)² *per capita* inferior a 90% da média europeia e levassem a cabo políticas de convergência (Ocaña, 2003). Com a aplicação deste fundo, Portugal sofre uma revolução no investimento em infra-estruturas de transportes e no rápido crescimento do tráfego. A aplicação do investimento em infra-estruturas de transportes foi mais acentuada na rodovia, seguindo-se a ferrovia e o metropolitano. Esta opção de maior investimento na rodovia prende-se com a finalização do Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN200): “No total, as estradas previstas no PRN2000 somam cerca de 16.500 km, ou seja, um aumento da ordem dos 65% relativamente àqueles que estavam abrangidos pelo PRN85” (EP, 2009). Associado a este aumento da rodovia e do Produto Interno Bruto (PIB) nos anos 90, surge o aumento da taxa de motorização e um maior número de viagens efectuadas pelos cidadãos.

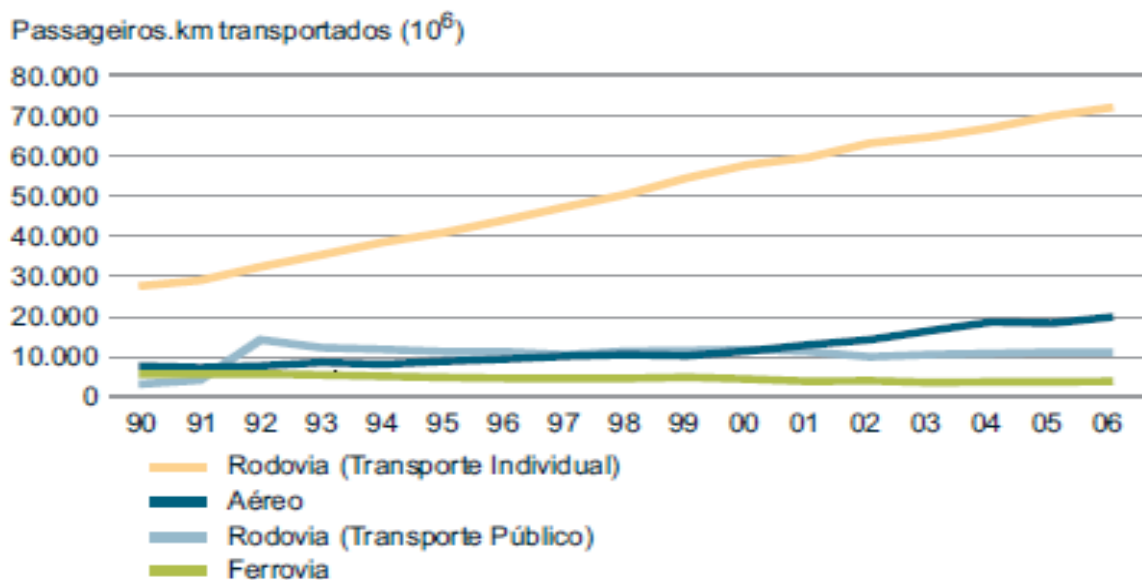
A área metropolitana de Lisboa (AML) evidenciou mudanças enormes ao longo da última década. Nesta última década o efeito da redução das taxas de juro (passou a ser mais fácil aos cidadãos a compra de casa e de veículo próprio), aos baixos custos do combustível, as melhorias das acessibilidades dos transportes e da economia, fizeram incrementar significativamente a taxa de motorização e a quantidade de veículos em circulação. Outros efeitos resultantes destas mudanças foram: um novo ordenamento do território devido à compra de casa nos concelhos limítrofes da AML; o aumento de população nestes concelhos e a uma perda da mesma na cidade de Lisboa, perto de 30%. Esta nova realidade criou uma comunidade urbana estendida por uma área cada vez maior, criando novos paradigmas de necessidades de mobilidade e acessibilidades na AML. Resultados desta situação são os movimentos pendulares entre a capital e os concelhos limítrofes que criaram um total de 2,3 milhões de viagens com pelo menos um extremo na cidade (C.M.L., 2005). Estas são feitas maioritariamente, por TI e com deslocações mais longas. Este acréscimo significativo das necessidades de deslocação da população, propiciou o aumento da capacidade de resposta da rede de transportes sendo o TI continua a ser o modo mais usado em detrimento do TC.

O sector dos transportes é uma das maiores causas de impactes ambientais geradores de emissões de poluentes e alterações climáticas. Este sector em Portugal divide-se entre o transporte de mercadorias e de passageiros, ambos têm revelado um comportamento de aumento muito acima do crescimento do PIB do país. Esta procura enorme a que o sector está sujeito tem-se revelado pouco eficiente, isto deve-se ao facto de que grande parte dos transportes de mercadorias e passageiros serem feitos através de transporte rodoviário

² PNB é igual à produção interna mais os recursos vindos do exterior menos os que saem do país

(Figura 4), o que contribui fortemente para as emissões de GEE (Tabela 1), a poluição atmosférica, o congestionamento, o ruído e a insegurança rodoviária.

Figura 4 - Evolução da escolha modal em Portugal



Fonte: (INE, 2007)

Tabela 1 – Emissões de GEE no Sector dos Transportes

Poluente	1990	2007	Var. (%)
CO ₂ Fóssil (kt)	9.249,4	18.164,8	96,4
CH ₄ (t)	72.377,4	50.255,7	-30,6
N ₂ O (t)	140.667,6	600.255,7	326,7
CO ₂ eq. ³ (kt)	9.462,4	18.815,3	98,8

Fonte: (APA, 2008)

A evolução dos padrões de ocupação territorial, conjuntamente com as apostas políticas na oferta de infra-estruturas de transporte, deu origem a uma nova cultura de prestígio do uso do automóvel, facto corroborado pelo aumento da taxa de motorização, de 49 veíc/1000 hab. em 1970 para 405 veíc/1000 hab. na actualidade (MOPTC, 2009) .

O aumento da taxa de motorização tem sido acompanhado pela diminuição do uso de transporte público. A percentagem de passageiros assegurados pelo transporte colectivo

³ As emissões dos GEE são expressas em **CO₂eq** para efeitos de comparação. Estes baseiam-se no Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential, GWP*) correspondente a 100 anos. O GWP do CO₂ e CH₄ é 1 e 21. Tal precisa que o CH₄ apresenta um GWP 21 vezes superior ao do CO₂.

passou de 54% em 1970 para apenas 18% em 2006 (MOPTC, 2009). No caso das mercadorias, 95% do transporte das mesmas cabe ao transporte terrestre rodoviário.

O preço do petróleo representa uma parte importante do custo do transporte. Os recentes aumentos nos preços do petróleo revelaram comportamentos interessantes por parte dos transportadores de mercadorias e passageiros. Dados de investigação recentes indicam que na Europa, por cada 10% de aumento do preço do petróleo, a procura por transporte colectivo aumenta 21% para autocarros de serviço urbano, 18% para a ferrovia de longa distância, 10% para a ferrovia urbana e 4% para autocarros inter-urbanos (EEA, 2009). Com a crise económica também se registou uma diminuição da compra de veículos novos de 14,5% no mês de Outubro de 2008, em relação a 2007 (EEA, 2006).

1.1.3 Transporte mercadorias

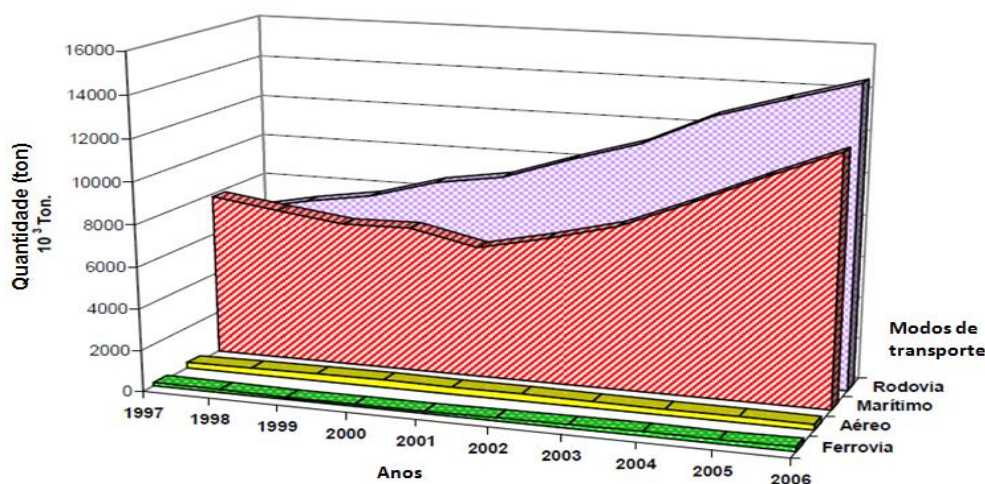
O transporte de mercadorias tem continuamente crescido devido à globalização, à melhoria da economia mundial e à entrada da China na Organização Mundial de Comércio (OMC). Estes níveis de crescimento têm sido suportados através de modos menos eficientes a nível energético, como o transporte rodoviário e aéreo (EEA, 2009).

O aumento dos volumes de mercadorias, em consonância com o crescimento económico, registou um incremento de 35% entre 1996 e 2006. Dados de investigação indicam que o total de mercadorias transportadas aumentou em termos de volume, em vez de peso. Este facto demonstra que, para o mesmo peso, são necessários mais camiões para efectuar o transporte de mercadorias (EEA, 2009). Esta situação revela que, apesar de o peso ser menor por camião, o que poderá corresponder a uma menor emissão de poluentes, isso conduz a uma menor eficiência energética e a uma maior emissão de poluentes no total de mercadoria transportada.

A emissão de poluentes varia consoante o modo de transporte, sendo que ao comboio correspondem 18-35 g/t.km, ao barco, 2-7 g/t.km, ao transporte marítimo por via fluvial, 30-49 g/t.km, ao rodoviário, 62-110 g/t.km e ao aéreo, mais de 665 g/t.km (EEA, 2008). Os transportes mais “amigos” do ambiente são o barco e o comboio, por sua vez o transporte terrestre e o modo aéreo são os mais prejudiciais para o ambiente, devido às emissões GEE e poluentes de efeito local, ao ruído, ao congestionamento e à menor eficiência energética. Portugal actualmente apresenta, no sector de transporte de mercadorias, tendo por base o peso destas, uma preponderância do modo rodoviário nas mercadorias exportadas (Figura 5) e do marítimo nas mercadorias importadas. O modo rodoviário é, comparativamente, responsável pelo transporte de mercadorias de maior valor. Este panorama deve-se à importação de combustíveis fósseis, que têm um papel muito importante na balança das importações e que chegam por via marítima aos portos de Sines e Leixões. O transporte

rodoviário é feito através de veículos pesados, que comparativamente a outros modos como o comboio e navio evidencia uma eficiência ambiental e energética por tonelada.kilómetro (TK) pior que os outros modos de transporte para longas distâncias. No caso de curtas/médias distâncias este modo de transporte é a melhor opção em termos de custos e consumos de energia e emissões de CO₂/TK. Esta realidade é tanto maior no caso dos veículos equipados com tecnologias de controlo de emissões mais recentes (EURO 6).

Figura 5 - Evolução do tráfego internacional - Mercadorias exportadas por modos de transportes – em toneladas.



Fonte: (IMTT, 2006)

1.1.4 Transportes passageiros

Qualquer pessoa que pretenda viajar tem dois modos de o fazer: através de transporte individual (TI) ou transporte colectivo (TC). O TI envolve o transporte individual ou familiar, sustentado no transporte privado através de automóvel. O transporte colectivo consiste em diferentes modos de transportes públicos como o metropolitano, o comboio ou o autocarro que podem ser geridos por instituições públicas ou privadas.

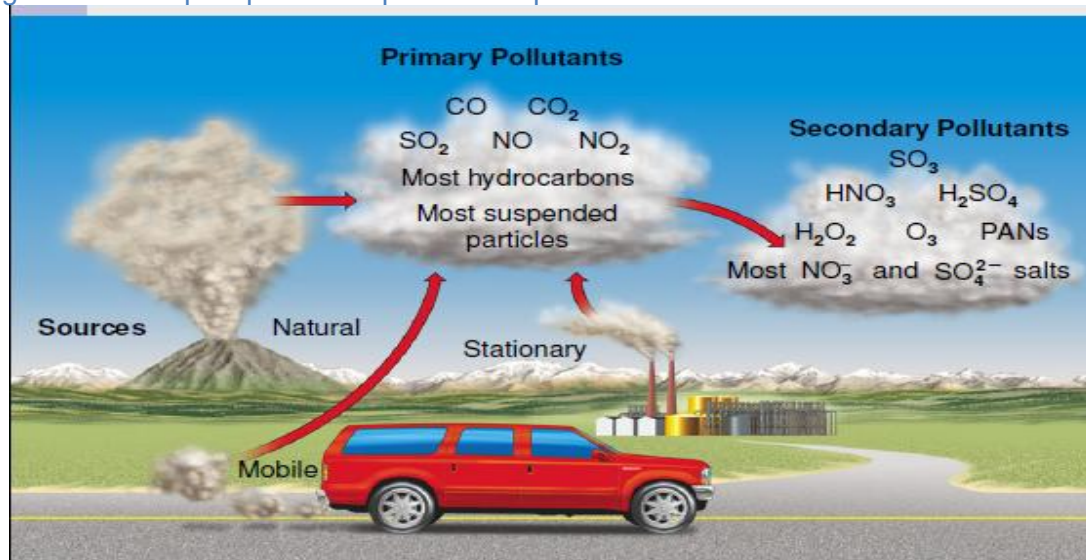
Desde o surgimento do motor a explosão, o mundo sofreu enormes mudanças na mobilidade das populações. Em países como os Estados Unidos da América (EUA), ainda hoje o TI prevalece face a outros meios de transporte de passageiros e mercadorias. Dados de 2005 apontam os EUA como um país com altas taxas de motorização (777 veic/1000 hab) e com cerca de 77% de utilizadores a escolherem o TI como meio de transporte usado para as deslocações casa-trabalho. Esta situação é mais gravosa pelo facto de se tratar de uma população de 300 milhões de pessoas, o que faz com que o sector dos transportes represente um terço das emissões de CO₂ para a atmosfera (OCDE, 2005). Esta “cultura do automóvel” tem um enorme impacte a nível mundial, sendo os EUA os maiores consumidores de recursos energéticos e os maiores produtores de GEE.

1.1.5 Poluição a nível local

O transporte rodoviário é composto maioritariamente por veículos motorizados que utilizam os combustíveis fósseis para gerar energia que permitem a locomoção dos veículos. A reacção de combustão envolve a reacção do hidrogénio e do carbono presentes no combustível com o oxigénio do ar para produzir energia e produtos de reacção, como água e dióxido de carbono e outros compostos químicos (Figura 6). Estes compostos químicos, resultantes da combustão dos hidrocarbonetos do combustível causam danos à saúde em concentrações bem especificadas pela Organização Mundial de Saúde. Estes poluentes têm três origens possíveis (Hansen, 2008):

- ✓ O carbono presente no combustível não reage adequadamente com oxigénio durante a combustão, originando o monóxido de carbono (CO), ou condensando-se sobre a forma partículas carbónicas sólidas (impurezas).
- ✓ Os hidrocarbonetos não queimam completamente (ou evaporam antes da combustão), sendo libertados sobre a forma de hidrocarbonetos gasosos, denominados compostos orgânicos voláteis (COV), ou então, por adsorção originam partículas carbónicas.
- ✓ Outros elementos presentes no combustível e no ar enxofre (S), chumbo (Pb), azoto (N), zinco (Zn) e magnésio (Mg) envolvem-se no processo de combustão, originando vários óxidos de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO₂, NO_x, NO), sulfato, cinzas e importantes componentes de partículas de matéria (PM).

Figura 6 - Principais poluentes produzidos pelos veículos



Fonte: (Environment Canada, 2009)

Os poluentes são a origem de muitas doenças que afectam a saúde humana, mas, para além disto, também reagem na atmosfera, produzindo outros poluentes, como ácido sulfúrico, sulfatos e ozono. O tipo e quantidade de produção destes poluentes secundários

estão fortemente dependentes da atmosfera local e do estado do clima (Gorham, 2002). Outros factores, como a formas das cidades, a densidade populacional, a densidade de ruas, influenciam o modo como as populações estão mais susceptíveis a estes poluentes. Cerca de 75% da população mundial vive em cidades, o que faz com que se gere uma grande pressão sobre estas áreas que resulta em grandes densidades de emissões de gases, provenientes dos veículos em congestionamentos e do grande número de veículos em circulação (UITP, s.d.).

As tabelas 69,70 e 71 (ver Anexo IV - pág. A.95) indicam os principais malefícios para a saúde dos poluentes considerados na abordagem metodológica **COPERT IV** (que será apresentada em detalhe no Capítulo 3), especificando o grupo de poluentes e consequências para a saúde de cada um. Em Portugal o enquadramento legal que limita as concentrações de poluentes atmosféricos no ar está disposto no **Decreto-Lei nº 111/2002 de 16 de Abril** (ver Anexo III - pág. A.87); o **Decreto-Lei n.º 351/2007 de 23 de Outubro** (ver Anexo III – pág. A.87) de 15 de Dezembro, estabelece valores alvo para as concentrações médias anuais de metais pesados e PM.

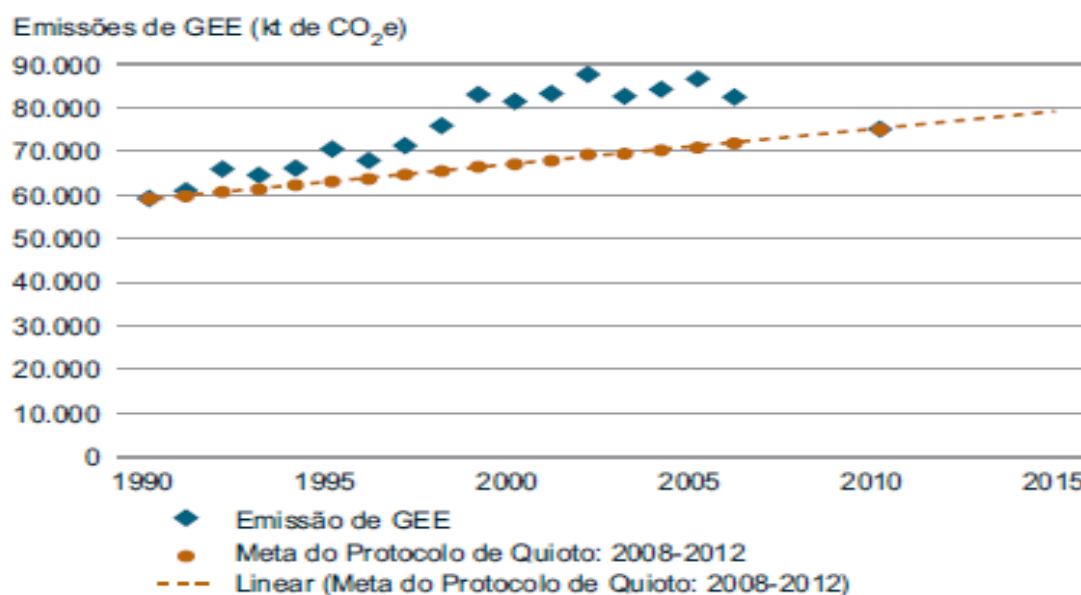
1.1.6 Gases de efeito de estufa

O Efeito de Estufa é, segundo *Farlex* (2009), um fenómeno da atmosfera terrestre através do qual a radiação solar absorvida pela terra e reemitida pela superfície terrestre como radiação infravermelha, é impedida de escapar por diversos gases no ar (GEE). Estes gases aprisionam o calor pois facilmente absorvem radiação infravermelha. Como a energia não consegue escapar, aquece a terra provocando um aumento na temperatura global. Este efeito (ver Figura 108 – Anexo II pág. A.79) tem aumentado gradualmente deste a Revolução Industrial e apresenta-se como um problema ambiental global que afecta o planeta e que tem gerado uma mudança nas formas de utilização da energia. Os transportes e outras actividades contribuem para o agravamento deste efeito. Portugal ratificou o PQ em 31 de Maio de 2002 (ver **Decreto-lei nº7/2002** - Anexo III, pág. A.87), este consiste num tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução dos GEE.

Alguns países têm níveis de emissões ainda bastante abaixo da média e estão mais atrasados em termos de desenvolvimento, sendo o objectivo da União Europeia fomentar a sua aproximação ao nível de desenvolvimento da média comunitária. Daí que os Estados-membros mais pobres possam aumentar as suas emissões, desde que, no conjunto, a EU consiga cumprir a sua meta de redução de 8% até 2008-2012. Enquadrando-se nesta situação, Portugal podia aumentar a sua cota de emissões em +27% das emissões base de 1990. Não obstante, em 2001, Portugal já tinha ultrapassado este limite, pois o aumento de GEE cresceu em 36%. Este aumento deveu-se, principalmente, aos sectores da energia e

dos transportes como se pode comprovar na Figura 7, as emissões de GEE estão acima dos limites exigíveis pelo PQ.

Figura 7 - Emissões de GEE e metas do Protocolo de Quioto para Portugal



Fonte: (APA, 2008)

O PQ pretende limitar o aumento da temperatura global entre 1,2^o/5,8^o até 2100. Recentemente, o Conselho de Ambiente da UE estabeleceu o objectivo de limitar a temperatura global em 2^o C acima do nível pré-industrial, para isso serão necessárias reduções globais superiores às anteriormente estipuladas pelo PQ (EEA, 2006). Legalmente existe um controlo das emissões de GEE de forma a convergir para o cumprimento das obrigações nacionais do PQ através da **Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008** (ver Anexo III – pág. A.89).

No âmbito de acordos internacionais e comunitários assumidos na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), na Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteira de Longo Alcance (UNECE) e na Directiva relativa aos Tectos Nacionais de Emissões (**Directiva 2001/81/CE** - Anexo III, pág. A.88), Portugal submete anualmente o inventário dos gases com efeito de estufa (GEE) e outros poluentes atmosféricos.

É com base nos inventários nacionais que se define a quantidade de emissões de GEE atribuída a Portugal e se verifica o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do Acordo de Partilha de Responsabilidades e do PQ (APA, 2006). Dada a importância da temática das emissões de GEE, já foi criado, por meio da **Resolução do Conselho de Ministros n.º 68/2005** (ver Anexo III – pág. A.88), o Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoções por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos (SNIERPA).

1.1.7 Modelação como forma de avaliação ambiental

A preocupação global derivada do declínio da qualidade do ambiente conduziu os principais actores mundiais a fazerem grandes esforços para encontrar as melhores políticas a adoptar para a melhoria das condições ambientais. As áreas urbanas são as mais visadas pois são aquelas que mais afectam as populações. As políticas adoptadas necessitam de ser comprovadas com base na sustentabilidade das alternativas encontradas.

Devido à falta de informação e de recursos disponíveis para uma monitorização real da qualidade do ambiente, torna-se necessário que os indicadores representativos dos impactes ambientais estejam disponíveis e sem custos de acesso. A modelação apresenta-se como uma forma de obter os indicadores ambientais no sector dos transportes rodoviários, através da previsão de poluentes emitidos dos veículos. A modelação de emissões e de tráfego e a monitorização da qualidade do ar, são instrumentos fundamentais na procura das melhores soluções ambientalmente sustentáveis. Estas desempenham um papel importante na construção de políticas ambientais que consigam atingir a meta de melhorar a qualidade ambiental da região onde foram aplicadas.

1.2 Objectivos

O mundo só muito recentemente acordou para o problema ambiental decorrente das actividades humanas. Apesar de nas últimas décadas muitos progressos terem sido feitos para diminuir os impactes das actividades humanas ainda há um grande caminho a percorrer, esta realidade exige a contribuição de todos contra esta ameaça global. O presente trabalho pretende ser um pequeno contributo na procura de métodos que avaliem os impactes do tráfego rodoviário no ambiente e estudar medidas que possam melhorar o desempenho ambiental da mobilidade.

Deste modo procura-se neste trabalho usar abordagens metodológicas que permitam avaliar numa forma objectiva as emissões decorrentes do tráfego rodoviário através da integração de modelos de planeamento de transportes e modelos de emissão de poluentes com apoio de dados estatísticos que completam a metodologia usada.

O trabalho deverá ser desenvolvido tendo em conta vários aspectos:

- ✓ Quantificar a quantidade de poluentes emitida em meio urbano e inter-urbano;
- ✓ Tratamento de resultados obtidos tendo em conta a sua resolução espacial e temporal;
- ✓ Comparação de resultados em contextos distintos (ex. tráfego em zona urbana densa vs. tráfego interurbano), do ponto de vista das características com maior

potencial de impacte nas emissões associadas (ex. velocidade média nos arcos da rede);

- ✓ Comparação dos resultados obtidos com os dados de outros estudos feitos na mesma área;
- ✓ Apontar medidas que possam melhorar o desempenho da metodologia aplicada;
- ✓ Identificar os factores críticos de sucesso.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. No Capítulo I, é feita a introdução ao trabalho realizado. Neste capítulo é feita uma abordagem global à importância dos transportes como sector contribuinte para as emissões de poluentes atmosféricos. São ainda referidos aspectos relacionados com: a poluição atmosférica, a energia, o ambiente, a modelação como sistema de avaliação ambiental e os enquadramentos do sistema institucional e técnico.

No Capítulo II é apresentado o estado da arte e as melhores práticas desenvolvidas em projectos e estudos que utilizam metodologias na área de modelação de transportes e emissões poluentes de veículos.

No Capítulo III explora o modelo que engloba as metodologias de modelação de transportes e de emissão de poluentes dos veículos. Neste capítulo abordam-se conceitos, definições e factores relacionados com as metodologias abordadas.

No Capítulo IV apresenta-se o estudo de dois casos. O primeiro relaciona-se com o estudo de emissões de veículos na auto-estrada A1 Norte, remetendo-se o segundo caso para o estudo de emissões numa malha urbana situada no Concelho de Oeiras. Os casos foram sujeitos à implementação do processo de afectação de tráfego à rede e à aplicação do modelo **COPERT IV** para estimação de impactes resultantes das emissões de poluentes de veículos.

No Capítulo V são apresentadas as conclusões da dissertação, assim como a identificação dos factores críticos de sucesso e dos principais obstáculos, a concretização dos objectivos propostos e a avaliação do potencial de implementação.

Capítulo II – Estado da arte

2.1 Modelação de transportes

Os fundamentos da modelação de transportes foram desenvolvidos nos anos 50 nos EUA, através de estudos pioneiros nas cidades de Detroit e Chicago (Hensher e Button, 2000). A partilha de informação com o Reino Unido permitiu avanços nesta área, mas o maior impulso foi a introdução dos modelos informáticos que permitiram trabalhar a grande escala um enorme conjunto de problemas, compilando uma enorme quantidade de informação. No início, a maior preocupação era a resposta à falta de capacidade e à incessante procura por novas infra-estruturas, i.e., encontrar formas, através da modelação de tráfego, de melhorar a gestão do tráfego rodoviário. Hoje em dia, o paradigma mudou. A ligação forte entre a actividade dos transportes e os impactes ambientais e socioeconómicos consequentes desta levam à necessidade de diminuir o crescimento da procura e tentar melhorar a eficiência dos sistemas de transporte. Desta necessidade surgiram metodologias que levaram à criação da modelação de emissões de poluentes decorrentes dos veículos para quantificar, através de inventários de emissões, os impactes ambientais que a actividade gera.

Os modelos de afectação de tráfego consistem na determinação dos caminhos utilizados pelos diferentes veículos que circulam na rede rodoviária entre cada par origem/destino (O/D), caracterizados pelo conjunto de arcos e nós consecutivos utilizados. Os modelos permitem também a estimação de fluxos de tráfego em cada arco assim como velocidades e níveis de serviço. A grande parte dos modelos de afectação de tráfego baseia-se em modelos que usam dois critérios de selecção de caminhos (Tavares, 2003);

- ✓ Percursos de custo mínimo
- ✓ Equilíbrio

O processo de selecção dos caminhos a seguir na rede modelada é complexo, sendo que o utilizador da rede tende a minimizar o custo da sua viagem. No entanto, verificou-se que condutores com a mesma viagem escolhem percursos diferentes, devido a diferentes pesos atribuídos aos factores que influenciam a escolha do percurso (sinalização, tempo de percurso) ou devido ao diferente grau de conhecimento do estado da rede (trânsito, obras na via).

Os modelos de afectação de tráfego são muito variados, sendo classificados segundo um número de atributos no que diz respeito à escolha de caminhos ou à simulação do tráfego (Tabela 2). Os modelos podem ser classificados consoante os seguintes atributos (Tavares, 2003):

- ✓ Com ou sem restrição de capacidade;
- ✓ Estáticos ou mesoscópicos;
- ✓ Microscópicos ou macroscópicos;
- ✓ Determinísticos ou estocásticos;
- ✓ Analíticos ou por simulação.

Tabela 2 - Tipos de modelos de afectação de tráfego

Nome	Tempo Discreto	Evento Discreto	Micro	Mesoscópico	Macro	Determinístico	Estocástico
NETSIM							
NETFLO 1							
NETFLO 2							
FREFLO							
ROADSIM							
FRESIM							
CORSIM							
INTEGRATION							
DYNASMART							
CARSIM							
TRANSIMS							

Fonte: (Liebermann e Rathi, s.d.)

Os modelos com ou sem restrição de capacidade assentam no cálculo dos tempos de viagem, nomeadamente se as velocidades ao longo dos arcos, assim como se os atrasos nas intersecções são independentes do tráfego ou se, pelo contrário, os efeitos devido às flutuações de fluxos da rede são considerados.

Os modelos estáticos baseiam-se na constância do aumento da procura, enquanto os mesoscópicos permitem a variação da mesma. Estes podem ainda denominar-se contínuos, quando o estado do tráfego muda ao longo do tempo, ou discretos, se as mudanças do estado do sistema ocorrem de uma forma descontínua a intervalos de tempo discretos.

Os modelos microscópicos e macroscópicos são distinguidos pelo nível de detalhe. Os microscópicos conseguem perspectivar o movimento de um veículo na rede através das suas características (velocidade, destino, tipo de veículo) e a descrição detalhada do comportamento de condução. Os modelos macroscópicos simulam correntes de tráfego

como um fluido contínuo, representando as variáveis de tráfego os valores médios agregados ao longo de um ciclo (velocidades médias, densidades de veículos, filas de espera).

No desenvolvimento e uso de modelos de transportes, o nível de detalhe apropriado deve ser considerado (i.e. submicroscópico, microscópico, mesoscópico, macroscópico) (Hoogendoorn e Bovy, 2001). Quando se prepara um estudo, a aplicabilidade é muito importante para não cometer o erro de usar um modelo que vai ser menos preciso para o tipo de simulação que se pretende. Dada esta situação, segundo *Hoogendoorn* (2001), os modelos de simulação microscópicos são mais aplicáveis a simulações estáticas, como estudos detalhados de desenho da geometria das vias (bermas, rampas) e equipamentos de ajuda ao condutor. Os modelos macroscópicos são aplicáveis em simulações em larga escala, análises e reproduções macroscópicas das características do tráfego, como ondas de choque e filas de espera. Os modelos mesoscópicos devem ser usados em simulações de redes rodoviárias de larga escala (Balakrishna, Antoniou, e Ben-Akiva, 2002).

As escolhas dos caminhos distinguem os modelos consoante os seguintes atributos:

- ✓ Determinísticos ou estocásticos
- ✓ Equilíbrio do utilizador ou do sistema

Os modelos determinísticos assumem que todos os utilizadores têm a mesma percepção dos custos de viagem, enquanto os estocásticos permitem que estes tenham diferentes percepções, através da distribuição de custos aos arcos.

2.1.1 Estado da Arte dos modelos de simulação de tráfego

O estado da arte representa o maior nível de desenvolvimento de um mecanismo, de uma técnica, ou uma área científica conseguido num determinado período de tempo como refere o dicionário de *Oxford* (2008). A área científica de modelos de afectação de tráfego desenvolveu-se muito graças às melhorias computacionais, que permitiram o processamento de um maior número de variáveis nos modelos. Nos dias de hoje, os modelos de tráfego estão muito avançados, sendo possível simular microscopicamente e analisar o comportamento de veículos em diferentes situações geométricas de vias ou fazendo alterações à rede, como rotundas ou sinalização luminosa.

Ao nível da investigação, o maior desenvolvimento a nível de modelos de afectação de tráfego prende-se com o desenvolvimento de modelos de afectação mesoscópicos. Estes modelos foram criados devido à necessidade de capturar os recursos decorrentes do congestionamento de tráfego. Estes modelos combinam as propriedades dos modelos de transporte microscópicos e macroscópicos. Os modelos estáticos de tráfego dominam o

mercado de planeamento de transportes, mas pressupõe-se que serão substituídos em breve pelos modelos mesoscópicos. Isso deve-se ao desenvolvimento de ferramentas metodológicas por parte dos fabricantes de *software* de planeamento de transportes e as melhores potencialidades destes modelos em relação aos macroscópicos. Os modelos mesoscópicos usam equações dos modelos macroscópicos, mas conseguem simular a circulação de veículos em pequenos pacotes. Por sua vez, os modelos microscópicos conseguem seguir o rumo dos veículos segundo a segundo, os detalhes da via, o comportamento do condutor e as interações entre ambos. Assim tornando-se mais precisos que os modelos mesoscópicos, contudo necessitam de grandes capacidades computacionais.

Os modelos mesoscópicos são usados a nível operacional e a nível de planeamento de transportes, através da sua metodologia conseguem capturar a evolução do tráfego no dia-a-dia. Estes modelos têm a capacidade de modelar o comportamento do viajante e a *performance* da rede rodoviária na resposta a situações como incidentes, intempéries, eventos desportivos, etc.

2.1.2 Modelação mesoscópica através do software DynaMIT

O programa mais avançado de simulação de modelos mesoscópicos é o **DynaMIT**. Este programa foi desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e consiste numa ferramenta de planeamento e simulação de capacidade e procura.

O **DynaMIT** é um sistema computadorizado em tempo real para estimação das condições de tráfego rodoviário na rede de estradas, prevê e gera informação para os utilizadores da rede rodoviária, assim como indica o rumo ideal dos viajantes, tendo em conta o seu destino.

A funcionalidade do programa incide em dois aspectos fundamentais:

- ✓ Representação detalhada da rede de transportes
- ✓ Modelos de comportamentos dos utilizadores da rede de transportes

O **DynaMIT** usa a informação em tempo real e as bases de dados de registos antigos das condições da rede perante inúmeras situações que possam ter ocorrido. Aliando esta informação com a descrição detalhada da rede rodoviária, o software cria a memória do sistema de transportes. A informação em tempo real é fornecida através dos sistemas de vigilância da rede como:

- ✓ Sistemas de informação avançados do utilizador da rede
- ✓ Sistemas avançados de gestão da rede

Os objectivos deste modelo mesoscópico são:

- ✓ Estimação das condições da rede em tempo real.
- ✓ Conseguir fazer previsões das condições da rede em resposta a medidas de controlo de tráfego alternativas e estratégias de disseminação da informação.
- ✓ Geração de informação de tráfego e capacidade de indicar aos utilizadores as decisões óptimas que melhoram as condições da rede (Moshe Ben-Akiva, 1998).

Os componentes do modelo mesoscópico ***DynaMIT*** consistem na agregação de dois simuladores:

- ✓ Simulador de procura
- ✓ Simulador de oferta da rede

O **simulador de procura** consiste num simulador microscópico de comportamento do viajante. Este estima e prevê os fluxos O/D e as decisões dos condutores em termos de tempo de partida, escolha de rota a efectuar e modo de transporte que usam.

Este simulador engloba 3 modelos:

I. Estimação de matrizes origem e destino

A estimação inicial é feita através da procura derivada da base de dados. O simulador de oferta simula a interacção entre essa procura e a rede. As matrizes de afectação transformam os fluxos O/D em fluxos nos arcos. As matrizes de afectação e as observações em tempo-real são usadas pelo simulador de procura para melhorar a estimação da procura. O ciclo é gerado até haver coerência entre procura e oferta que é conseguida quando a simulação representa suficientemente bem a informação observada.

II. Desagregação da procura

A simulação de procura inicia-se através da transformação de matrizes históricas numa descrição desagregada da estimação da procura. Estas matrizes são desagregadas numa lista explícita de condutores, usando informação socioeconómica externa e modelos de comportamento, capturando o comportamento habitual dos viajantes.

III. Modelos de escolha do viajante

Os modelos de escolha de comportamento são aplicados sobre três contextos específicos: a hora de partida habitual, o modo de transporte e a rota escolhida; as decisões que influenciam a mudança de alguns aspectos da escolha habitual da rota a usar por parte dos viajantes, como consequência de informação recebida antes de iniciar a viagem; decisões que influenciam a mudança na rota normalmente usada como resposta a informação

recebida durante a viagem. Assim, cada pessoa é confrontada com uma escolha individual que é traduzida para o modelo nos movimentos dos veículos na rede.

O **simulador de oferta** usa como dado de entrada a lista de condutores produzida pelo simulador de procura e simula as suas viagens na rede. Como dado de saída o simulador calcula os indicadores de *performance* da rede, como o tempo de viagem, a densidade e os fluxos de tráfego. O simulador de oferta combina a representação microscópica do tráfego, onde cada veículo é individualmente representado, com os modelos macroscópicos que capturam a dinâmica do tráfego.

O processo de simulação das operações do tráfego na rede é efectuado em duas fases:

1. Fase actualizada

Tem função de cálculo. É usada para actualizar os parâmetros dinâmicos do tráfego, como a densidade e as velocidades utilizadas na simulação.

2. Fase avançada

Fase que opera a nível microscópico e é usada para avançar os veículos para as suas novas posições.

O **DynaMIT** é um sistema de afectação de tráfego dinâmico em tempo-real que efectua previsões de tráfego e orientação de rotas dos condutores. Este está constantemente a actualizar a estimação de fluxos na rede de tráfego. A estimação representa o ponto de início do processo de previsão para continuamente explorar a informação reunida em tempo-real da rede pelos sistemas de vigilância.

2.1.3 Modelo de simulação de tráfego usado no estudo

O modelo de afectação em análise no presente trabalho vai ser elaborado utilizando o *software Visum*, um *software* de modelação de tráfego nas redes de transportes desenvolvido pela empresa **PTV**. O modelo de afectação concebido no **Visum** é um modelo estático macroscópico, que, tal como outros simuladores, tem sido usado ao longo destas ultimas décadas na produção de distribuições espaciais de tráfego e que ainda são usadas nos dias de hoje. O planeamento e as complexas operações de controlo de tráfego requerem hoje uma aproximação à realidade cada vez mais exigente, dado que foram feitos investimentos em aparelhos de telemática que fornecem informações em tempo-real do tráfego na rede. O estado da arte dos modelos de procura de transportes providencia matrizes O/D em espaços temporais grandes e, hoje, as necessidades exigem tempos cada vez mais pequenos para tomar decisões consoante a capacidade da estrada que vai variando ao longo do dia (Markus Friedrich, 2000).

O modelo de afectação analisado necessita de uma matriz representativa da rede que seja capaz de simular as velocidades médias nos arcos da rede. Para este efeito não vai ser necessário um modelo dinâmico, mas um estático. Estes modelos possuem algoritmos computacionais rápidos e são de fácil calibração, no entanto, não permitem um grande detalhe da rede e são apropriados para modelação macroscópica.

O passo mais importante na estimação das emissões de tráfego é o de construir o perfil de velocidades na rede de estradas analisada. Existem dois métodos de chegar aos resultados pretendidos. O primeiro método baseia-se no uso da afectação de tráfego e nos dados de saída de velocidade do modelo, obtendo-se velocidades médias nos arcos e quilómetros percorridos entre pares O/D. O segundo meio utiliza o sistema de vigilância de tráfego que, através dos dados de campo, lhe dá a possibilidade de reproduzir os perfis de velocidade da rede desejados.

Os perfis de velocidade permitem passar à fase de estimação de emissões de poluentes dos veículos. A modelação é feita, segundo *Sportisse* (2002), através de três abordagens:

- I. Uso dos perfis de velocidade média da rede para obter um único factor de emissão (macro-escala). *A posteriori* este valor é multiplicado pela quantidade de transporte (quilómetros percorridos por veículo num determinado período de tempo);
- II. Uso dos perfis de velocidade média por classe funcional de estrada (urbana, rural ou AE), para obter um factor de emissão para cada classe funcional e consequentemente o total de emissões (mesoscala);
- III. Uso dos perfis de velocidade para calcular os factores de emissão entre arcos sucessivos e subseqüentemente o total de emissões de gases de escape emitidos pelos veículos (micro-escala).

2.2 Estado da arte dos modelos de emissão veiculares

2.2.1 Base experimental dos modelos de emissão

Os modelos de emissões são desenvolvidos, tendo por base diversos tipos de medição de emissões. Existem diversos tipos de medição de emissões disponíveis, como: laboratórios de testes de motor numa plataforma de serviço (ver Figura 109 – Anexo II, pág. A.80), laboratórios de teste de emissões com uso de dinamómetro (ver Figura 110 – Anexo II, pág. A.81), medição de emissões na estrada através de sistemas a bordo do veículo (ver Figura 111 – Anexo II, pág. A.82), medições de emissões na estrada (ver Figura 112 – Anexo II, pág. A.82).

- I. Os laboratórios de testes de motor são locais em que se realizam ensaios de medições de emissões. Os ensaios consistem na fixação do veículo a uma plataforma em que são feitas operações através de dinamómetro de chassis, de acordo com um ciclo de condução estabelecido. É definido um ciclo de condução de acordo com um comportamento de condução pré-definido em que as condições de operação do veículo como velocidade instantânea e alterações na caixa de velocidades são propositadamente definidos. Os ciclos de condução representam modelos de comportamento de condução que são ilustrativos de certas condições do ambiente em que a estrada se insere. Esses ciclos são específicos de cada classe de veículos num determinado período de tempo. O teste é feito através de um monitor que opera o veículo, de modo a que, a velocidade do veículo se mantenha dentro dos limites durante um período de tempo pré-definido pelo ciclo usado. As emissões de poluentes são testadas pelo dinamómetro⁴ e são recolhidas as emissões de escape para identificar a *performance* ambiental de cada veículo (Pimentel, 2008).
- II. Os testes realizados a bordo do veículo para testar as emissões de escape são, segundo *Weaver* (2004), conduzidos através de sistemas portáteis capazes de medir as emissões de escape durante a condução dos veículos. São modelos que têm a particularidade de medir emissões onde não existem laboratórios para esse efeito. Estes testes têm maior aplicabilidade em veículos e motores que não são testados com muita frequência (ex. máquinas de construção). Os dados são analisados depois de feita a viagem de teste para obter as médias de emissão de cada veículo testado.
- III. Medição de emissões na estrada, que, segundo *Gong* (1999), consiste num sistema em que é aplicada uma fonte de infra-vermelhos separada de um detector sensível e rápido de infra-vermelhos, que permite medições em tempo real de emissões de escape de veículos que circulam na estrada. Cada composto emitido pelo escape absorve uma radiação com um comprimento de onda específico num espectro de infra-vermelhos. São dispostos quatro filtros dentro de um disco rotativo localizado em frente do detector que emite comprimentos de onda pré-seleccionados. Este sistema permite uma rápida avaliação das emissões dos veículos na zona de estudo.

2.2.2 Modelos de emissão face ao detalhe

Os modelos de emissão podem ser divididos em três categorias em relação ao detalhe (Cappiello, 2002):

A. Modelos baseados na velocidade média (macro-escala/meso-escala);

⁴ Dinamómetro é um equipamento de testes, projectado para realizar testes em veículos e motores com objectivo de medir e analisar os seus dados de performance, como potência e binário, auxiliando na manutenção e preparação de motores

- B. Modelos em situação de tráfego (macro-escala/meso-escala);
- C. Modelos instantâneos (micro-escala).

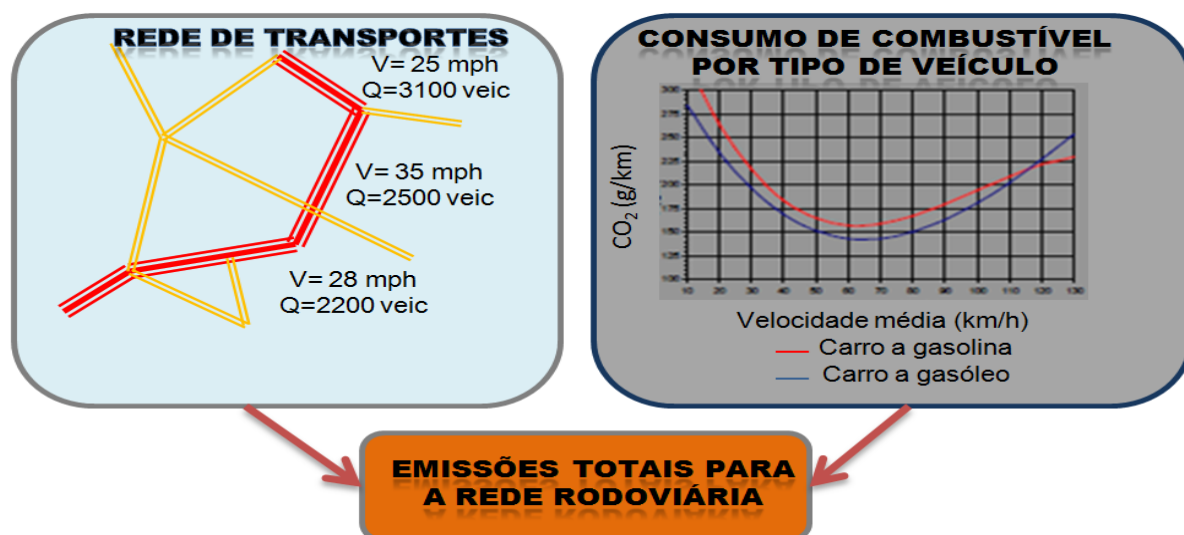
Os modelos são também classificados como: modelos estáticos e dinâmicos.

2.2.3 Modelos estáticos

São modelos usados para inventários de emissões nacionais e baseiam-se na **velocidade média** (Figura 8). Estes modelos são sustentados pelos dados de saída dos modelos de afectação de tráfego estáticos macroscópicos. São modelos que não podem ser usados para gerar estimativas de emissões instantâneas, dado que estes determinam as emissões num período de tempo, em função da velocidade média, e devem ser usados em condições estáveis. As aplicações destes modelos são feitas para análises de larga escala e para casos em que a velocidade média caracteriza adequadamente o fluxo de veículos (ex. tráfego nas AEs).

No entanto, em muitas aplicações é necessário prever as emissões de tráfego com maior área espacial e resolução temporal, para além disso em muitos casos a mesma velocidade média pode corresponder a diferentes ambientes de condução. Assim, os modelos baseados na velocidade média podem significativamente subestimar as emissões, por exemplo contabilizando as emissões que ocorrem com alto dinamismo de condução (AE), num ambiente de condução que corresponde a uma velocidade média mais baixa que a verificada no campo.

Figura 8 - Modelos baseados na velocidade média



Fonte: (Syckes, 2008)

Os modelos estáticos mais usados para inventários de emissões são:

I. Copert IV

O COPERT IV é um modelo usado para simular o inventário de fontes móveis na maioria dos países europeus, desenvolvido pelo Laboratório Termodinâmica Aplicada (LAT) da Universidade de Tessalónica na Grécia. O **COPERT IV** (*Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport*) é um modelo que simula as emissões de poluentes como: CO, NO_x, VOC e PM, para além de muitos outros (N₂O, NH₃, SO₂, metais pesados, etc). Este modelo foi financiado pela EEA nas actividades de enquadramento do Centro Europeu de Emissões Atmosféricas. Foi proposto para ser usado nos países europeus membros da UE para a compilação dos inventários de emissões (*CORINAIR*). O **COPERT IV** teve como base vários programas de I&D como: **COST319**, **MEET**, **AUTO-OIL II**, **EPEFE**, entre outros.

II. Mobile 6

O *software* Mobile 6 foi concebido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) nos EUA com o intuito de elaborar os inventários nacionais norte-americanos. A EPA usa o Mobile 6 para estimar emissões de veículos para todos os estados americanos, exceptuando o estado da Califórnia que tem um modelo próprio. Este modelo foi desenvolvido pelo Departamento de Transportes e Qualidade do Ar da EPA. Este usa a informação estatística de tráfego, como distâncias percorridas pelos veículos e factores de emissão, para formar a base de cálculo das emissões. Este modelo simula emissões de compostos como: PM_{2.5}, SO₂, NH₃, PM₁₀, VOC, SO₂ e CO (EPA, s.d.).

III. EMV

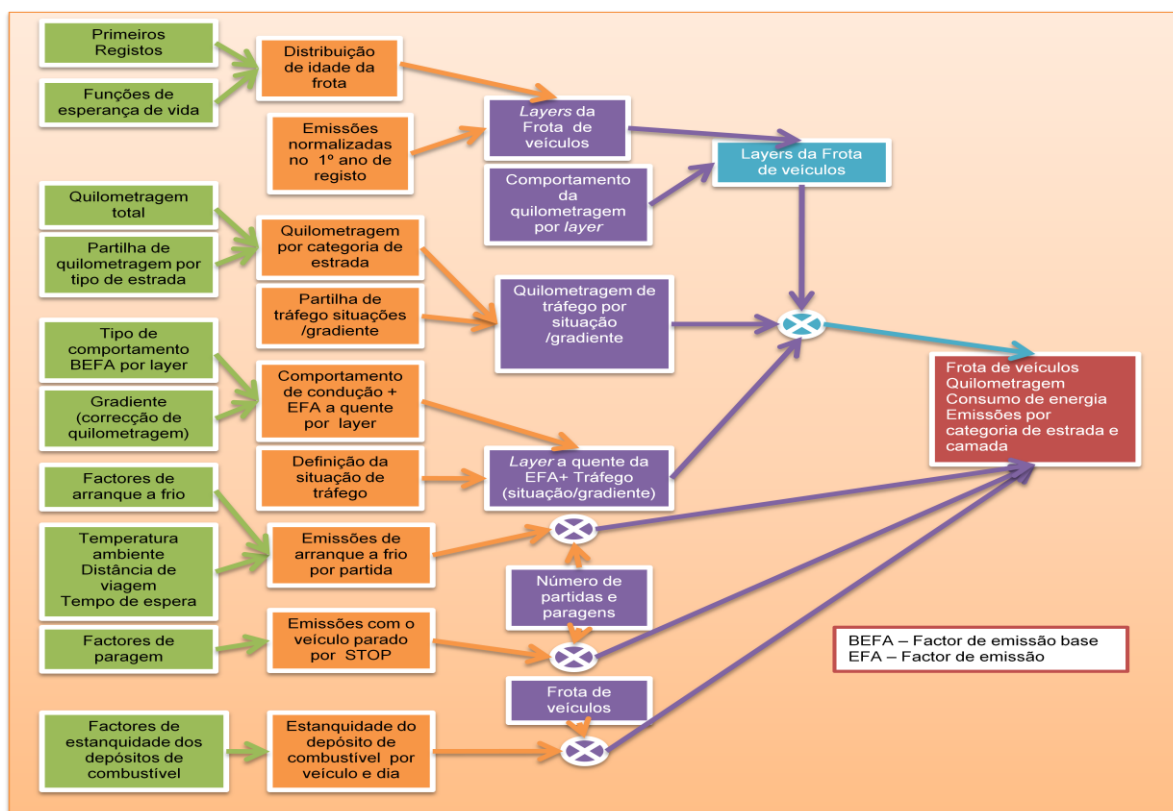
O **EMV** é um *software* de cálculo de emissões desenvolvido pela Agência de Protecção Ambiental Sueca e tem sido usado desde 1990 para os inventários nacionais de poluentes atmosféricos. É considerado um modelo de abordagem de “top-down” que calcula emissões de poluentes, mas em dois tipos de ambiente de condução: urbano e rural. Calcula os três tipos de emissões: evaporativas, a quente e a frio e tem em conta o clima e a frota sueca (Åke Sjodin, s.d.).

IV. Tremod

O modelo de emissões de veículos **TREMOD** foi concebido para modelar o tráfego de veículos a motor, comboios, navios e aviões na Alemanha entre 1960 e 2030. Este modelo foi desenvolvido pelo *Institute on behalf of the Federal Environment Agency* (IFEU) e foi continuamente actualizado ao longo dos anos. Tem o propósito de elaborar relatórios ambientais e auxiliar a tomada de decisões políticas. Na Alemanha, este modelo foi elaborado para a concepção da base de dados de energia e emissões de veículos. O

TREMOD (Figura 9) simula as emissões de poluentes atmosféricos, como: VOC, NMVOC, NO₂, CO, CO₂, SO₂, Chumbo, NH₃, etc (Knörr, et al., 2006).

Figura 9 - Estrutura do modelo Tremod



Fonte: Adaptado (IFEU, 2006)

2.2.4 Modelos Dinâmicos

Os modelos dinâmicos de emissões são modelos que se baseiam nos ensaios com recurso a testes em dinamómetros em veículos de teste. As emissões de escape dos veículos são medidas ao segundo. As condições de operação de um veículo, num dado período de tempo, são definidas pela velocidade e pela emissão que esse veículo gera. Outro dado importante a reter é a aceleração que é obtida através da curva velocidade/tempo e o consumo de combustível (Michael Hafner, s.d.).

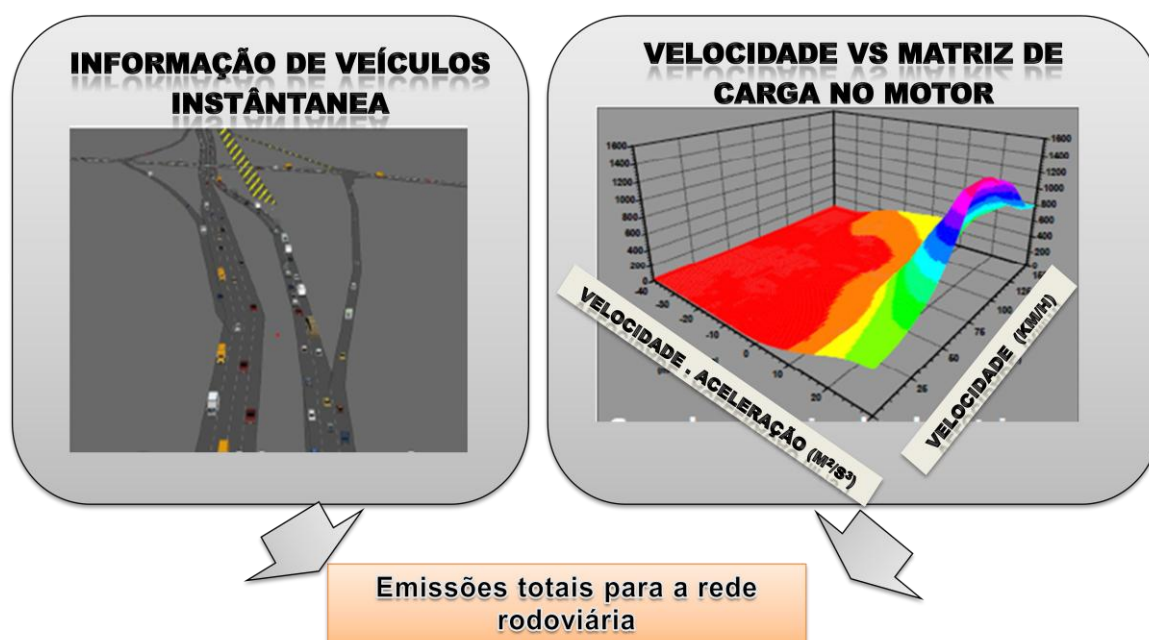
A melhoria do detalhe das emissões é alcançada através de ensaios teste e do uso de atributos que condicionam a emissão de gases de escape, como: tipo de motor (gasóleo/gasolina), veículo com sistema de tratamento de poluentes, idade e quilometragem do veículo, força do motor, fluxo de massa de ar, uso de ar condicionado e transição de mudança.

Os modelos de emissão dinâmicos baseiam-se na simulação de emissões instantâneas, análises e modelações modais, suportadas por variáveis cinemáticas instantâneas dos veículos, como a velocidade e aceleração, ou em variáveis agregadas modais, como tempo

gasto em modo de aceleração, em condições estabilizadas de velocidade ou em modo de ralenti⁵. A estimativa dos poluentes é feita através do emprego de matrizes de poluentes, em função da velocidade e aceleração, ou velocidade e força do motor.

Devido ao vasto número de informações e necessidades computacionais requeridas pelos modelos dinâmicos, o uso destes modelos têm-se cingido à modelação de um único veículo, uma intersecção ou um único arco, ao invés de uma rede complexa constituída por inúmeros arcos, nós e veículos. Os avanços computacionais permitiram que esta realidade tenha sido ultrapassada e já seja possível aplicar estes modelos em redes maiores. Normalmente são usados para a quantificação de poluentes à escala local (Figura 10).

Figura 10 - Modelos microscópicos instantâneos



Fonte: (Syckes, 2008)

Os modelos dinâmicos podem ser classificados em três principais categorias:

I. Mapas de emissão ou modelos baseados na velocidade e aceleração

Os modelos dinâmicos de emissões de veículos baseados em mapas de emissão são um método conveniente de caracterização das emissões de veículos. Estes funcionam com o cálculo de uma matriz velocidade/aceleração. Esta matriz é capaz de fornecer informação sobre emissões instantâneas e consumo de combustível, para diferentes combinações de velocidades instantâneas e acelerações. A emissão ou consumo de combustível são medidos para se estabelecer um valor médio para ambos, a fim de se conseguir a simplificação da sua aplicação.

⁵ Regime inferior do funcionamento de um motor de explosão, que o mantém em funcionamento sem acelerar.

O **MODEM** é um simulador microscópico com recurso a base de dados e foi desenvolvido pela CE através do programa de investigação **DRIVE II**. A base de dados deriva de testes a 150 veículos escolhidos aleatoriamente entre a população automóvel de diferentes países europeus. Os veículos foram testados por meio de 14 ciclos de condução baseados numa grande pesquisa acerca de condições de operação de veículos em áreas urbanas na Europa. As emissões de HC, CO, CO₂, NO são calculadas usando mapas de emissão para diferentes tipos de veículos. Os intervalos de velocidade vão desde 0 a 90 km/h e o produto da aceleração pela velocidade varia entre -15 e +15 (m²/s³).

Estes modelos são muito usados na Europa, sobretudo devido à sua simplicidade, o que por seu lado faz com que o modelo seja limitado no seu uso. Os modelos podem ser esparsos e sensíveis ao ciclo de condução que é usado para a sua implementação, são também pouco flexíveis e por isso não quantificam factores como declive, quilometragem ou uso de cargas nos veículos. Estes factores são quantificados multiplicando a matriz por coeficientes que respeitam aos factores anteriormente descritos. Estes modelos são mais precisos quanto mais detalhe tiver a rede.

Os modelos de emissão baseados nos mapas de potência do motor e velocidade utilizam informação das operações instantâneas, como a rotação do motor e a temperatura do sistema de escape. Estas variáveis são obtidas na estrada como função da velocidade e aceleração. Estes mapas servem para a pesquisa entre as emissões e consumo de combustível e as combinações de velocidade e aceleração.

II. Modelos de regressão

Os modelos de regressão utilizam usualmente regressões lineares de funções de velocidade instantânea e aceleração ou variáveis modais. Estes modelos ultrapassam as limitações dos modelos baseados em mapas de emissão, visto que são menos esparsos. Contudo, com o uso de muitas variáveis modais, o modelo pode ficar desequilibrado e perder a interpretação física da metodologia implementada. Por isso, estes modelos podem resultar em conclusões indesejáveis em situações não cobertas pela calibração do modelo (Pimentel, 2008).

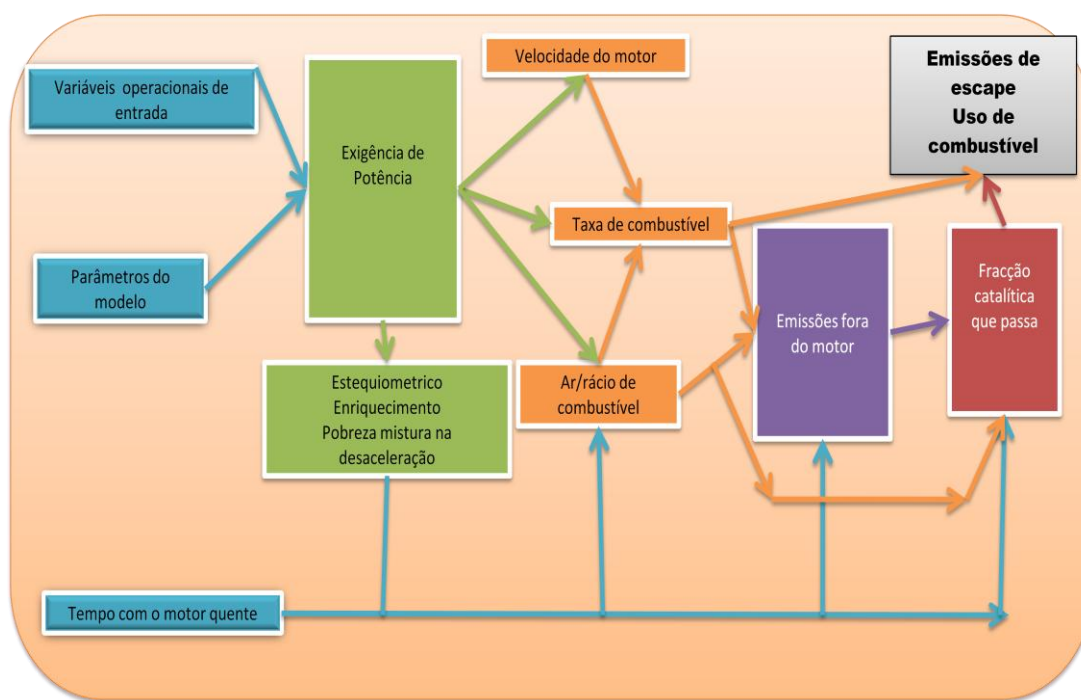
III. Modelos de carga

Os modelos de carga foram desenvolvidos através da aplicação da modelação física modal da procura por potência. Nesta pesquisa, o processo de emissões é estratificado em diferentes componentes que correspondem a fenómenos físicos associados com as operações de veículos e produção de emissões. Cada componente é modelado como uma representação analítica, consistindo em 55 parâmetros que caracterizam todo o processo. As informações resultantes dos testes de dinamómetros de diferentes tipos de veículos são

usadas para calibrar os parâmetros. Este modelo providencia informação sobre as variações nas emissões entre diferentes parâmetros e pode lidar com todos os factores na operação dos veículos. No entanto, estes modelos são muito intensos no uso de informação (Cappiello, 2002).

O *Comprehensive Modal Emissions Model* (CMEM) estima emissões para veículos ligeiros em função do modo de operação do veículo. Este modelo consegue prever em cada instante as emissões de poluentes como: HC, CO, NO_x e CO₂ e consumo de combustível para uma gama de tecnologias de veículos. Este modelo foi desenvolvido na Universidade da Califórnia e é baseado nas gamas de tecnologias dos veículos. A Figura 11 ilustra a estrutura do modelo (Stathopoulos e Noland, s.d.).

Figura 11 - Estrutura do modelo CMEM



Fonte: (Barth, et al., 2000):

2.3 Integração dos modelos de tráfego com os modelos de emissão de gases de escape

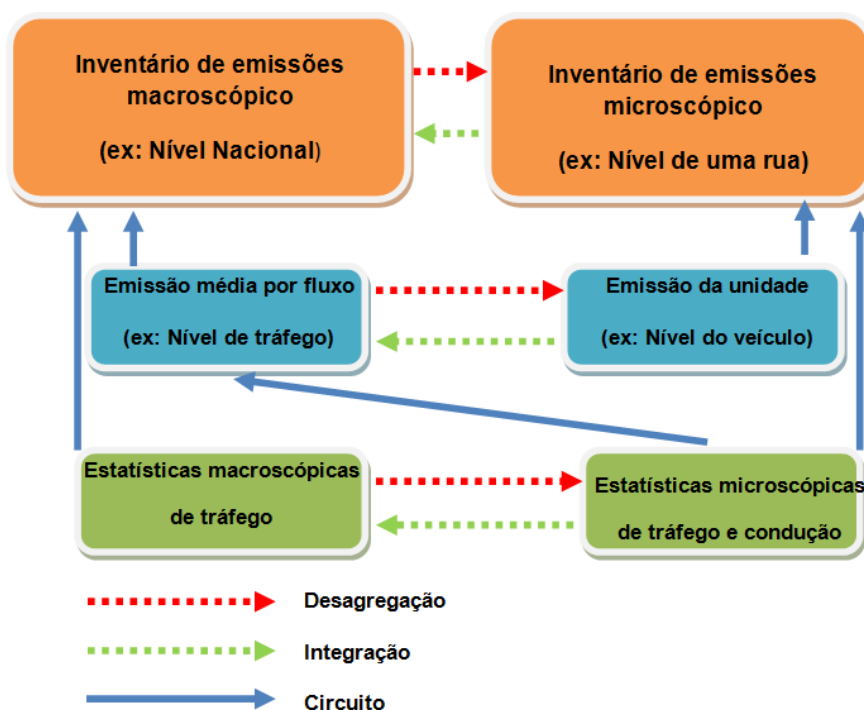
Neste tópico vai ser abordado o tema da integração dos modelos de tráfego com os modelos de emissão de gases de escape. É importante escrutinar o modo como esta agregação de modelos é feita e os modos como os dados de um modelo completam o outro. A investigação neste campo produziu inúmeros estudos com diferentes programas de valor importante e diversas práticas no uso das metodologias de simulação de emissões de veículos através de modelos de afectação de tráfego.

A integração de modelos de emissões e de tráfego pode ser feita a diferentes níveis. A agregação espacial, a escala temporal e a frota automóvel caracterizam esta integração (Cappiello, 2002). A escolha do nível de detalhe depende do objectivo a que estudo se destina (ex. regional ou local). Existem outras limitações, como a informação disponível, a capacidade computacional e o tempo destinado à conclusão do estudo.

As boas práticas indicam que os modelos baseados na velocidade média são usualmente associados a modelos de tráfego estáticos. Esta abordagem representa a metodologia que vai ser incorporada no presente estudo, através do uso do **Visum** e do **COPERT IV**, para identificar as emissões decorrentes do tráfego nas áreas de estudo com perfil interurbano e urbano. Os modelos baseados na velocidade base do tráfego para análise de inventários nacionais não necessitam de modelo de tráfego associado, dado que a distância percorrida pelos veículos (vkm) pode ser determinada através de estudos que avaliam os comportamentos dos condutores, que servem como dado de entrada ao modelo de emissões.

O modelo macroscópico **COPERT IV** foi elaborado com o objectivo de ser uma ferramenta usada nos inventários de emissões a nível nacional. Para este modelo ser aplicado a nível regional é necessário fazer a sua desagregação, originando, com isso, estimações de emissões com menor precisão. A Figura 12 exemplifica a desagregação e integração entre modelos.

Figura 12 - Exemplificação da integração entre modelos de mobilidade e ambientais



Fonte: Adaptado (André, Hammarstrom, e Reynaud, 1999)

As investigações mais frequentes empregam metodologias que integram o uso de modelos em que a aceleração e a velocidade estão dependentes do tempo. Os modelos dinâmicos de tráfego macroscópicos/mesoscópicos podem ser utilizados para gerar velocidades, dependendo do tempo nos arcos pelos quais passam os fluxos de tráfego, i.e., a grande parte dos modelos usa a estimação de matrizes O/D para dependência de tempo num caso estático, que normalmente corresponde ao estado estático da hora de ponta da manhã. Esta abordagem não é completa, pois apenas atribui uma estimação para a pior altura do dia, exceptuando todo o tempo restante. Os modelos dinâmicos ajudam a ultrapassar este hiato de informação e completam numa forma mais precisa a informação de tráfego. Um exemplo poderá ser um itinerário principal (IP), em que se pretende saber as emissões decorrentes do uso desta infra-estrutura pelos condutores. O tráfego apresenta comportamentos diferentes ao longo do dia. Para saber as estimativas das emissões que são produzidas é necessário ter um modelo dinâmico de tráfego que consiga de uma forma precisa quantificar, num intervalo de tempo, o tráfego que passa no IP e fornecer essa informação ao modelo de emissões, que consegue apresentar um resultado mais preciso das emissões ocorridas naquela infra-estrutura.

Outra metodologia que se pode utilizar consiste no uso da distribuição espacial de velocidades e/ou aceleração, através do uso de ciclos de condução na infra-estrutura a estudar. Esta metodologia é complementada com distribuições estatísticas estudadas *in loco* e com estes dados é possível calcular as emissões pretendidas.

A integração de um micro-simulador de tráfego com um modelo de emissões instantâneas pode ser exequível, quando existe informação disponível acerca das características de tráfego, do local de estudo e quando a escala de aplicação não está sujeita ao uso de grandes recursos computacionais. Esta metodologia é caracterizada pelo uso de um modelo de tráfego capaz de simular a velocidade e as acelerações num determinado intervalo de tempo para cada veículo. Estes dados são calculados pelo modelo de tráfego, compilados e usados como dados de entrada para o modelo de emissões.

O modelo adoptado neste estudo está representado na Figura 13 e pretende, através da integração do modelo de tráfego com o modelo de emissões, adoptar uma metodologia que permita o cálculo das emissões nos arcos da rede.

Figura 13 - Modelo Base da metodologia adoptada



2.3.1 Estudos em Portugal

Em Portugal, os estudos que contemplam o uso da modelação conjunta de tráfego e emissões são ainda poucos em comparação com os artigos científicos publicados internacionalmente. O Grupo de Emissões, Modelação e Alterações Climáticas da Universidade de Aveiro (GEMAC) tem apresentado alguns trabalhos e desenvolveu estudos que podem ser considerados como das melhores práticas de modelação de tráfego e emissões em Portugal. A secção seguinte incide em estudos efectuados em Portugal e internacionalmente e na metodologia a estes associados.

Modelação integrada de emissões de tráfego rodoviário: aplicação à gestão da qualidade do ar de Lisboa

Este estudo (Borrego, 2004) contempla o uso de três modelos: VISUM, TREM e VADIS. O modelo VISUM é usado para caracterizar os fluxos de tráfego e a velocidade dos veículos e para quantificar as emissões a quente e a frio, através da contagem do número de veículos que inicia viagem com regime de emissões a frio e a sua velocidade. Estes dados são introduzidos no modelo TREM (Modelo de Emissões dos Transportes para Fontes em Linha) que se baseia, segundo Coelho (2000):

*“Em termos gerais, a estimativa das emissões dos transportes pode ser baseada na equação $E = e * a$, onde E é a quantidade emitida, “ e ” o factor de emissão por unidade de actividade, e “ a ” a quantidade de actividade do transporte. Esta equação tem de ser aplicada a cada categoria de veículos, uma vez que os factores de emissão e a actividade variam consoante a categoria. O factor de emissão, e , é usualmente expresso em $g.km^{-1}$ e primariamente relacionado com as condições de condução e tipo de veículo.*

A actividade, a , é o produto entre o número de veículos de cada categoria e a distância percorrida por veículo numa determinada unidade de tempo, em km.”

O software **Transport Emissions Model for Line Sources (TREM)** considera ainda diferentes tecnologias (tipo de motor, idade do veículo) e a cilindrada para derivar os factores de emissão.

A actividade do transporte é um dos principais *inputs* de dados para estimar as emissões do tráfego rodoviário. A actividade do transporte é definida como: $a = n * l$, onde n é o número de veículos para cada uma das categorias e l a distância média percorrida por veículo da categoria numa determinada unidade de tempo, em km.

Por fim a avaliação da qualidade do ar da área de estudo foi efectuada através do modelo VADIS.

Modelação de transportes para a avaliação de impactes ambientais – estudo de caso da área metropolitana do Porto

O estudo de modelação das emissões na área metropolitana do Porto (Pimentel, 2008) tem por base o uso do *software* de modelação de tráfego **EMME/3**. Este modelo utiliza, como dados de entrada, dados da estrutura da rede, como: rede rodoviária, intersecções semaforizadas, matrizes de procura e redes de transporte públicos e dados de recolha *in situ* como: contagens de tráfego rodoviário e definição de alguns percursos das redes de transporte públicos.

O programa de modelação de emissões **COPERT IV** é o *software* adequado para este estudo devido ao seu grau de relativa certeza para áreas de 1 km² e resolução temporal de uma hora, necessita de um nível de baixo de informações de entrada, considerando a dimensão da rede analisada. Este modelo tem a possibilidade de utilizar os dados de saída do modelo de transportes e calcular as emissões produzidas na zona de estudo.

O cálculo das emissões é feito através de volumes de tráfego, a metodologia sugere a estratificação do tráfego nas diferentes classes legislativas do parque automóvel analisado ilustradas na Tabela 73 (ver Anexo IV – pág. A.99). A metodologia **COPERT IV** usa a informação relativa à distribuição da frota para o ano em estudo e, considerando esta informação, a procura de transporte individual é, então, dividida nas 34 classes legislativas, para determinar as emissões de poluentes. Segundo Pimentel (2002), “A implementação desta metodologia é codificada numa linguagem de macros do **EMME/3**. Esta macro é executada num conjunto especial de passos e iterações para obter todos os valores de emissão esperados de CO₂, CO, NO_x e COV...”.

O estudo aproxima-se da metodologia usada no presente trabalho.

Comparação das emissões do tráfego rodoviário por análise dos factores de emissão

Este estudo (Barros, 2003) foi elaborado a fim de comparar as emissões atmosféricas dos veículos que fazem parte do parque automóvel português, com o intuito de explorar duas metodologias de cálculo de emissões diferentes: a **EMEP/CORINAIR** e a **National Atmospheric Emissions Inventory** (NAEI), que consideram a velocidade média de circulação em três tipos de ambientes de estrada.

A execução da avaliação das emissões atmosféricas tem por base o uso de factores de emissão e parâmetros relacionados com a actividade de transportes, sendo que a sua representação assenta na equação: $E=e.a$, em que, como já foi referido, “e” representa os factores de emissão e “a” representa a actividade transportadora (velocidade média nos arcos).

Metodologia EMEP/CORINAIR

Esta metodologia assenta no cálculo dos factores de emissão para os poluentes CO, NO_x, COV e PM. Estes gases representam o primeiro grupo da metodologia **EMEP/CORINAIR** que, segundo Barros (2001), “se baseiam numa metodologia detalhada e em factores específicos da emissão para diferentes situações de tráfego e em diferentes condições de motor”. Apenas foi tido em conta o cálculo de emissões a quente pois considera-se que o tráfego é composto por veículos em condições térmicas estabilizadas do motor e escape. Foi feita uma selecção dos factores de emissão (FE) para cada categoria de veículo, tendo em conta diversos factores, como: idade, tipo de combustível, cilindrada, tara e velocidade dos veículos. A partir destes dados foram calculados os FE correspondentes a cada poluente específico em estudo. Os FE calculados para cada gás obtiveram-se calculando a média ponderada dos diferentes FE em função do tipo de combustível, das classes de idade, das classes de cilindrada e das classes de tara.

Metodologia NAEI

Esta metodologia, oriunda de Inglaterra, permite o cálculo dos FE em g.km⁻¹, em função da idade dos veículos, do tipo de combustível usado pelo veículo, da cilindrada, da tara e da velocidade média de circulação, para diferentes categorias de veículos e gases poluentes. O cálculo dos poluentes é muito semelhante à metodologia usada pelo *software* Copert IV, por isso, os FE têm como variável a velocidade média que simula a actividade dos transportes. As duas metodologias são comparadas tendo em conta este aspecto, sendo que foram usadas diferentes velocidades para os diferentes tipos de ambientes de estradas.

2.3.2 Estudos internacionais

Estimação das emissões diárias do tráfego rodoviário nos aglomerados urbanos de países do sul da Europa durante um dia útil. Avaliação de cenários “e se”.

O presente estudo (Kassomenos, 2006) refere-se à estimação das emissões resultantes das emissões de tráfego na cidade de Atenas. A metodologia aposta na informação detalhada recolhida nas sete maiores estradas da cidade de Atenas. Os veículos são divididos em sete categorias e a velocidade é registada. Baseando-se nesta informação, o estudo estima a produção de cinco grandes poluentes: CO, Benzeno, NOx, PM₁₀, e COV. Por meio do Programa **COPERT IV** e com base nestes dados foi desenvolvida a Rede Neural Artificial. Foram criados cenários com base na distribuição da frota de veículos.

A informação de tráfego rodoviário foi recolhida, num dia da semana, nas estradas em estudo. A campanha de estudo usou câmaras para a medição da velocidade e volume de tráfego durante dez horas. Esta pesquisa permitiu quantificar as tecnologias dos veículos, assim como o volume de tráfego nos arcos e a velocidade média.

A informação de tráfego foi usada pelo **COPERT** com intuito de calcular as emissões dos poluentes em estudo, sendo que a escolha dos poluentes teve a ver com o grau dos efeitos para a saúde humana que cada poluente causa nas populações atingidas. A velocidade de circulação varia nas estradas estudadas, afectando directamente os níveis de emissão dos poluentes. Os altos níveis de emissões são observados quando temos velocidade médias baixas (congestionamento).

Este estudo contempla o desenvolvimento de uma rede neural artificial que consiste segundo *Kassomenos (2006)*, num modelo de arquitectura paralela apta a desenvolver os cálculos numéricos baseados num processo distribuído, i. e., é uma arquitectura que providencia uma forma rápida e fácil de calcular emissões dos veículos, através de velocidades e das categorias dos veículos, de forma a estimar as emissões dos poluentes em estudo.

Este estudo elaborou cenários que indicam que o uso massificado de catalisadores modernos nos veículos conduz a uma redução enorme dos poluentes.

Estimação de emissões de transportes rodoviários em Espanha entre 1988 a 1999 usando o programa COPERT III

Este estudo (Burón, 2003) representa a estimativa de emissões produzidas pelo transporte rodoviário em Espanha entre 1988 e 1999. O estudo tem duas fases fundamentais: recolha

de uma compilação de dados do país e execução de uma abordagem metodológica para obter as emissões de poluentes. O estudo baseia-se em diferentes fases como:

1. Informação de combustíveis;
2. Estudo da distribuição da temperatura em Espanha;
3. Estudo da introdução dos regulamentos de emissão em veículos em Espanha;
4. Estudo dos veículos em Espanha em número e categorias;
5. Estimação da distribuição das estradas, velocidades médias e consumo de combustível;
6. Introdução de informação e execução do **COPERTIII**.

Este estudo, realizado em Espanha, fornece metodologias que se enquadram nos objectivos a que esta dissertação se propõe. O cálculo das temperaturas representa, neste estudo, uma prática de possível aplicação. Segundo *Burón* (2003), com base no conhecimento de que a temperatura mínima mensal e temperaturas máximas mensais são necessárias para estimar as emissões a frio, os valores de cada região têm de ser avaliados. A representação é feita com base na maior contribuição de regiões com maior número de veículos em relação a regiões com menor número de veículos. Os dados de tráfego são obtidos através de estações que fazem a monitorização da rede rodoviária que estão dispersas pelo país. Como nem toda a rede está coberta por estas estações, foi aplicado um factor de correcção para as distâncias percorridas anualmente pelos veículos, sendo os factores de 1,11 para ligeiros de passageiros e 1,05 para o resto da frota.

Este estudo concluiu que houve um grande aumento das emissões, devido ao aumento da mobilidade em Espanha. A introdução de novas tecnologias de controlo de emissões pode contribuir para a diminuição das emissões de poluentes locais.

Corinair (CORE INventory of AIR emissions)

Os inventários de emissões atmosféricas são instrumentos que permitem analisar a quantidade, natureza e localização das emissões que ocorrem numa determinada área, durante um período de tempo. A UE criou um programa de inventários de emissões (**CORINAIR**) em 1985 para assistir no desenvolvimento da consistência, comparabilidade e transparência dos inventários nacionais para poluentes convencionais (SO_x, NO_x, e COV):

O objectivo do programa CORINAIR90 é o de providenciar um inventário de emissões completo, consistente e transparente de poluentes na Europa (IPCC, 1996). A aplicação mais comum de um inventário de emissões atmosféricas é a sua utilização como *input* na modelação atmosférica, juntamente com os dados meteorológicos. Esta modelação permite antever as concentrações de poluentes prejudiciais à saúde humana e possibilita a

antecipação da tomada de medidas para mitigar os problemas decorrentes da excessiva concentração de poluentes. Os inventários são um importante instrumento para a avaliação e gestão da qualidade do ar na Europa (CCDRLVT, 2006).

De acordo com a metodologia **EMEP/CORINAIR** os poluentes são distinguidos em quatro grupos:

- ✓ Poluentes para os quais existe metodologia, baseada em factores de emissão específicos e contemplando situações de tráfego diferentes e condições em que o motor opera (Grupo 1 - Tabela 65 - Anexo IV, pág. A.93);
- ✓ Emissões dependentes do consumo de combustível (Grupo 2 – Tabela 66 - Anexo IV, pág. A.93);
- ✓ Poluentes em que metodologia simples é aplicada derivada à ausência de dados detalhados (Grupo 3 - ver Tabela 67 – Anexo IV, pág. A.94);
- ✓ Perfis de NMVOC que são derivados de uma fracção do total das emissões de NMVOC (Grupo 4 - ver Tabela 68 – Anexo IV, pág. A.94).

Os inventários nacionais de emissões atmosféricas são uma prática de referência que mudou os comportamentos dos países em relação aos impactes ambientais decorrentes das emissões atmosféricas. A partir do momento em que passaram a ser obrigatórios, permitiram às nações avaliar quais os sectores que mais contribuem para a poluição atmosférica e GEE, permitindo criar tectos de emissões para os vários poluentes e medidas que inibam a emissão de poluentes atmosféricos. O Plano Nacional de Alterações Climáticas (PNAC) através da **Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006** (ver Anexo III - pág. A.88) prevê medidas e acções que permitam baixar as emissões de poluentes no país.

Capítulo III – Abordagem metodológica

3.1 Introdução

A abordagem metodológica foi desenvolvida com base nas evidências obtidas através do estado da arte, nomeadamente no estado da arte da modelação de emissões. A metodologia baseia-se na estimação de emissões através de dados da mobilidade dos veículos, numa dada zona, durante um período de tempo. A equação “ $E=e.a$ ”, representativa do cálculo de emissões, é a mesma usada em estudos relevantes, efectuados em Portugal e internacionalmente, com resultados bastantes satisfatórios. A equação é composta pela grandeza “ E ” que corresponde ao total de emissões, a grandeza “ e ”, representativa do factor de emissão adoptado, e “ a ”, correspondente ao total da actividade de transporte verificada na área de estudo. Esta equação tem um âmbito de aplicabilidade muito generalista, desde a quantificação de emissões de um veículo até uma frota inteira. A pouca variabilidade inerente à equação resulta na necessidade de aplicação de uma metodologia menos agregada, de modo a preservar a inconstância da informação necessária para efectuar a simulação.

Este capítulo aborda os princípios de cálculo de emissões, os dados de tráfego que serão usados na simulação da área de estudo e a metodologia usada para estimar as emissões no estudo dos dois casos apresentados.

Dado que a metodologia usa a integração de um modelo de tráfego com um modelo de emissões, é importante clarificar o modelo de emissões a usar, quais os factores que influenciam as emissões e os *outputs* dos modelos de tráfego para o cálculo de emissões. Dado que o modelo de tráfego vai simular uma área com um nível de detalhe significativo (urbano), foi considerado que, para este caso, o **COPERT IV** é um modelo que pode trabalhar com esta resolução espacial com precisão aceitável, dado que foi concebido para inventários a nível regional ou áreas com $1 \times 1 \text{ km}^2$ e durante o período anual e horário (Ntziachristos e Samaras, 2000).

O modelo de tráfego macroscópico a ser usado é o **Visum**, desenvolvido pela empresa **PTV** que tem um reconhecido prestígio na simulação de tráfego em zonas urbanas e inter-

urbanas. Os dados de saída foram facultados pela empresa **TIS.pt**, com base no estudo de tráfego no Concelho de Oeiras, e os relatórios de tráfego no sublanço Alverca - Vila Franca de Xira.

3.2 Modelação de tráfego

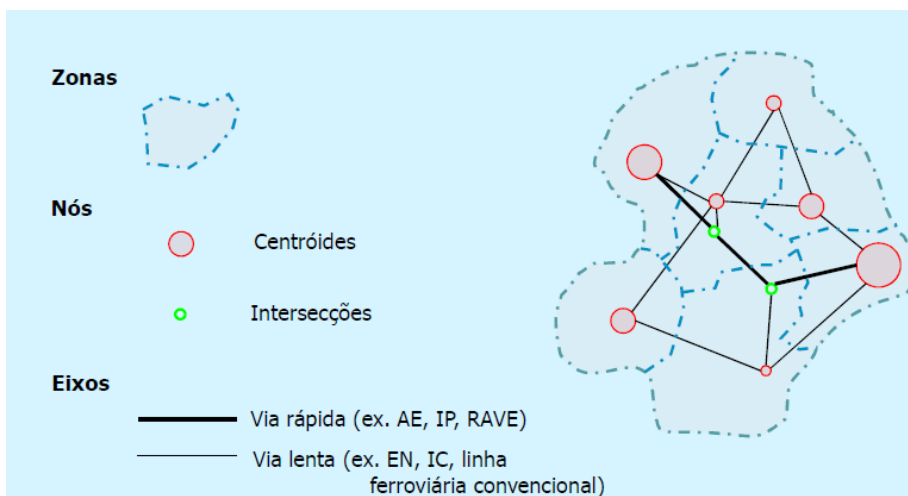
A modelação de tráfego tem como objectivo reproduzir um modelo⁶ que consiga simular a realidade das condições de tráfego de uma certa área, num dado período de tempo, para uma dada procura de utilizadores e oferta das infra-estruturas de transporte. Os modelos envolvem uma série de procedimentos matemáticos que simulam os comportamentos dos utilizadores do sistema na realidade. Estes procedimentos são geralmente sequenciais, envolvendo uma série de passos que respondem a uma série de questões sobre as decisões dos utilizadores da rede. É necessário definir *à priori* os pressupostos sobre decisões tomadas pelos viajantes, os factores considerados no estudo e como reagir em situações alternativas à escolha que se fez.

Os modelos são actualmente uma ferramenta muito importante no planeamento urbano, são mesmo elementos de decisão acerca de novos projecto a implementar, ou da resposta actual do sistema de transporte à procura instalada e conseguem clarificar se a solução adoptada terá resultado satisfatórios ou não.

Os modelos de transportes implicam que a área de estudo seja desagregada numa série de áreas mais pequenas onde as viagens são geradas e atraídas – **Zonamento**. Estas áreas geográficas com características homogéneas são denominadas **zonas de análise de tráfego** (ZAT). As ZAT contêm um centro de actividade que estabelece o ponto onde as viagens “se iniciam” e “findam” – o **centróide**.

⁶ Aproximação, representação ou idealização dos elementos seleccionados da estrutura, do comportamento e da operação, ou outras características, de um, processo conceito ou sistema real (Dictionary.com, 2010).

Figura 14 - Modelo de rede de transportes



Fonte: (Antunes, s.d.)

No que diz respeito à dimensão das zonas, estas são maiores nas áreas rurais e menores nas áreas urbanas, devido à importância do uso de solos, actividades e equipamentos que são em maior número e mais concentrados no caso das áreas urbanas. É importante salientar que as viagens intrazonais (viagens na mesma zona) não são contempladas, apenas se representam as viagens interzonais (viagens entre zonas diferentes). Existe ainda a definição de dois tipos de zonas:

- ✓ Zonas internas – zonas afectas à área de estudo
- ✓ Zonas Externas – zonas afectas a áreas fora da área de estudo

O sistema de transportes vai ser representado através de uma rede constituída por **nós** e **arcos**. Estes nós e arcos têm informação técnica muito importante referente às características físicas das estradas que representam (ex: número de vias, capacidade). Nos EUA desenvolveu-se um modelo que consiste em quatro fases – Modelo dos 4 passos - e ainda hoje é usado por muitos especialistas. Grande parte dos *softwares* de modelação de tráfego adopta este método para as suas estimativas.

Os **arcos** são representações gráficas do modelo de ruas, avenidas, auto-estradas, vias-férreas, ligações marítimas e aéreas entre dois nós consecutivos.

Os **nós** são representações gráficas de uma ou mais ligações da rede ou discontinuidades desta e podem representar sinais luminosos, estações, rotundas ou simplesmente uma ponte de ligação entre arcos.

As informações técnicas características dos nós e arcos podem ser obtidas através de mapas ou cartas militares, no caso dos comprimentos, no caso de velocidades e

capacidades, estas grandezas requerem estudos mais aprofundados e medições reais no campo, através de contagens ou aparelhos de monitorização da rede.

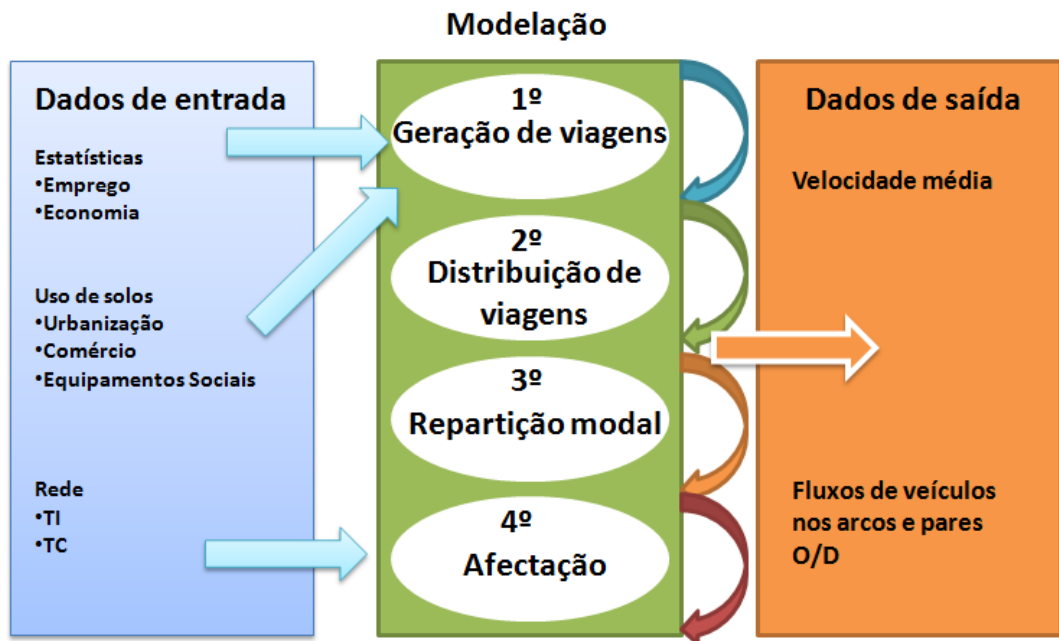
Terminada a etapa do zonamento da área de estudo, é necessário atribuir um ponto dentro das zonas que seja característico de cada uma destas, estes pontos têm a particularidade de corresponder ao “centro de gravidade” da mobilidade da zona. Concentrando-se nestes a procura e a oferta das zonas em estudo. Os **centróides** devem localizar-se perto do pólo gerador/atracção de viagens. Um exemplo possível é o caso de uma zona com características diferentes uma parte da sua área é constituída por áreas verdes e outra é tipicamente urbana. O centróide deve localizar-se dentro da área urbana, no local que concentra o maior número de viagens. Os centróides são ligados através de um conector ou mais a um nó ou a mais nós da rede de transportes. Os conectores representam os pontos de entrada ou saída do sistema de transportes.

Os modelos usam os **centróides** para representar os centros de produção ou atracção de viagens das respectivas zonas, que usam a rede para satisfazerem as suas necessidades de transporte.

O processo de modelação, na metodologia clássica do **Modelo de 4 passos**, divide-se em quatro etapas (Figura 15) distintas interligadas, que são:

- ✓ **1º Geração:** utilização de modelos de geração/atracção de viagens para a determinação do número total de viagens em cada origem e cada destino, respectivamente, para cada uma das zonas modeladas;
- ✓ **2º Distribuição:** utilização de modelos para a estimação do número de viagens entre cada par O/D.
- ✓ **3º Repartição modal:** utilização de modelos para a repartição das viagens entre cada par de zonas pelos modos alternativos de transporte;
- ✓ **4º Afectação:** utilização de modelos para a atribuição das viagens à rede, entre cada par de zonas a um ou mais percursos, utilizando o modo de transporte respectivo da rede.

Figura 15 - Modelos dos 4 passos



3.2.1 Construção da rede rodoviária na área de estudo

Trata-se da criação de um modelo representativo da rede básica do sistema viário e de transportes colectivos em estudo, estabelecido de modo a permitir a análise do comportamento do tráfego na área em estudo.

Costumam adoptar-se os seguintes tipos de rede:

Áreas rurais: Para as áreas rurais, normalmente, são utilizados dois tipos de rede.

- ✓ Rede de TC: Constituída pelas carreiras rodoviárias, ferrovias, linhas de transporte fluvial e marítimo e linhas de transporte aéreo.
- ✓ Rede de TI: constituída pelo sistema de vias que compõem a malha rodoviária de interesse ao estudo (auto-estradas, IP's, IC's, circulares, estradas regionais e municipais, arruamentos).

Áreas urbanas: Nas áreas urbanas são utilizados dois tipos de rede, devido às grandes diferenças nas características de operação dos veículos que têm grande escolha de rotas e dos transportes colectivos, que operam em rotas fixas.

- ✓ Rede viária urbana: é constituída pelo sistema de vias oferecidas aos utilizadores que utilizam automóveis particulares, táxis e camiões e pelas vias pedestres. Esta rede caracteriza-se pelas rotas variáveis, onde a escolha do percurso obedece a diferentes factores como: distância, tempo e custo.

- ✓ Rede de transportes colectivos: é constituída pelas linhas de metro, linhas ferroviárias, linhas de autocarro, linhas de transporte fluvial e marítimo, e linhas de transporte aéreo, que operam em rotas fixas (Ministério dos transportes do Brasil, 2006).

3.2.2 Estabelecimento de zonas de análise de tráfego

As **zonas** de tráfego são áreas muito importantes, pois contêm muitas informações acerca das características de procura e oferta de viagens. O facto de uma vasta área comportar diferentes localizações de população, equipamentos geradores de procura e oferta de viagens e diferentes sistemas de transporte torna necessário criar zonas que facilitem a obtenção de informações a respeito do tráfego. O **zonamento** pode ser feito com base em limites administrativos, políticos ou censitários, para facilitar a obtenção de informação para estudos de tráfego e um alto grau de correlação entre as regiões e a geração de tráfego.

3.2.3 Construção da rede viária no modelo

Para efeito de simulação do tráfego são necessárias informações que forneçam uma completa descrição das vias que irão compor a referida rede. Para cada arco, são definidas características de desempenho, tais como: distância; velocidade média; custos operacionais; custos de tempo de viagem; são ainda, necessários dados como:

- ✓ Local: situação na área de estudo, ressaltando a sua importância, categoria e principais intersecções.
- ✓ Dimensões Físicas: caracterização de cada via (comprimento, largura, número de faixas de tráfego, tipo de via, controlos de acesso, etc).
- ✓ Características do Tráfego: velocidade média de viagem nas horas de ponta e fora desta, volumes de tráfego existentes, composição do tráfego, etc.
- ✓ Regulamentação do Tráfego: sinalização das vias, mudanças de direcção, possibilidades de estacionamento, sentidos proibidos, etc.

Estes elementos fornecem informação importante para processar o modelo no *software*. Assim, é possível determinar velocidades, tempos de viagem e capacidades e testar a consistência da rede, para verificar se os sistemas viários e de transportes colectivos existentes estão correctamente representados.

3.2.4 Introdução de dados de procura na área de estudo

Os procedimentos normalmente utilizados para levantamentos de dados de campo são os inquéritos, que podem ser feitos mediante **entrevistas** ou por **observação directa** ou **contagens**.

As **Entrevistas** consistem num processo que visa obter a informação, formulando perguntas orais ou escritas ao utilizador, classificando as suas respostas de acordo com certos padrões estabelecidos. Na observação directa, trata-se de registar as observações de tráfego tal como são, sem as perturbar.

Os **inquéritos de Origem e Destino** têm como objectivo básico identificar as origens e destinos das viagens realizadas pelos diferentes tipos de utilizadores, num determinado sistema de transportes. Possibilitam, ainda, conforme a amplitude do estudo, a obtenção de informações de diversas outras características dessas viagens, tais como: tipo, valor e peso da carga transportada, números de passageiros, motivos das viagens, horários, frequência, quilometragens percorridas por ano, etc.

Essas informações são utilizadas no estudo do comportamento actual e futuro do tráfego, e permitem:

- ✓ Identificar desvios de tráfego provenientes de alterações do sistema viário;
- ✓ Determinar as cargas dos veículos transportadas nas rodovias;
- ✓ Estimar taxas de crescimento;
- ✓ Determinar custos operacionais, custos de manutenção e outras variáveis relativas à viabilidade de eventuais obras no sistema viário.

O objectivo principal da compilação deste tipo de dados consiste em obter a **Matriz O/D**. Esta matriz mostra a quantidade de veículos ou de pessoas que vão de uma origem para um determinado destino e vice-versa. Pode considerar-se, para fins práticos, que os Volumes do Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) de viagens entre duas zonas sejam iguais. Cada valor da matriz representa, por zona, o total de viagens, entre a zona específica e as demais. Sob essa forma, a soma dos valores por zona representa o número total de viagens iniciadas e terminadas na respectiva zona.

Essa matriz é fundamental, pois servirá de base, através da sua projecção, para o prognóstico do tráfego futuro, ano a ano (e eventualmente por tipo de veículo).

3.2.5 Modelação de tráfego com o uso do software VISUM

A modelação de tráfego com o uso de *software* requer o fornecimento dos dados das três primeiras etapas do modelo de quatro passos (geração, distribuição e repartição modal) e faz uso dos dados destas fases para proceder à afectação de tráfego, com o intuito de reproduzir os padrões de viagem existentes na área de estudo.

A etapa de **afectação** é feita tendo em conta os caminhos de viagem alternativos, entre **centróides**. A escolha do percurso obedece a um critério definido pelo utilizador do programa, que pode ser uma impedância ou o custo generalizado, ou ainda, o caminho mais curto entre centróides. No caso da impedância, que representa a resistência que um utilizador do sistema de transportes enfrenta para chegar ao seu destino, esta representa-se em função do tempo, distância, custo ou combinações destes.

O percurso de um **centróide** para os demais na rede modelada denomina-se *árvore*. Foram desenvolvidos uma série de algoritmos para conseguir identificar o caminho mínimo entre centróides. O mais conhecido é o algoritmo de *Bellman-Ford-Moore*, que consiste em partir de um centróide e quantificar a impedância dos nós, seguindo as ramificações entre o centróide e os nós, escolhendo logicamente o nó que contém menor impedância. De seguida, procede-se do mesmo modo para os nós seguintes, através das ramificações entre o nó anterior e os demais, até estar concluído o processo no centróide de destino. Quando um **nó** é atingido por dois percursos diferentes, adopta-se o de menor impedância, eliminando-se o outro, bem como todos aqueles efectuados a partir deste (Ministério dos transportes do Brasil, 2006).

A afectação será realizada através do *software VISUM*. Este programa carrega as matrizes O/D na rede rodoviária, através de um algoritmo, calcula quais os caminhos usados pelas viagens realizadas entre um dado par de zonas, tendo em conta, os níveis de congestionamento decorrentes das escolhas dos outros viajantes. Assim consegue-se a afectação de tráfego nos arcos.

É importante relatar que a **afectação** dos valores das **matrizes O/D** não caracteriza o tráfego local (com origem e destino numa mesma zona de tráfego), este terá que ser calibrado e validado com base nos levantamentos feitos *in situ*.

3.2.5.1 Velocidade

A metodologia que visa a obtenção de emissões totais necessita de modelar a actividade dos transportes, de modo a saber caracterizá-la em determinados aspectos, como:

- ✓ **Velocidade média dos arcos;**
- ✓ **Número total de veículos por arco;**

Estes dados que serão usados *a posteriori* pelo modelo de emissões são muito importantes para a precisão das emissões totais produzidas por veículos.

Existem duas formas possíveis de obter dados de actividade do transporte:

- ✓ **Medições directas do fluxo de tráfego;**
- ✓ **Modelação do transporte.**

Cada um destes métodos tem as suas vantagens e desvantagens. As medições directas representam a realidade do sistema de tráfego a analisar, numa determinada área e período de tempo, minimizando erros possíveis quando comparada com a modelação do sistema de tráfego. No entanto, o uso desta alternativa nem sempre é possível, pois, para uma área vasta de estudo, por vezes é impossível conseguir todos os resultados pretendidos.

Os modelos de transporte intervêm nesta dificuldade existente de conseguir um grupo vasto de dados em áreas extensas. Através de um modelo que simula a realidade, consegue-se obter informação detalhada acerca do tráfego, como categorias de veículos existentes num dado troço e velocidades associadas ao fluxo de veículos. Contudo esta informação tem de ser rigorosamente calibrada e validada, pois os modelos têm erros associados e, muitas vezes, é necessário fazer modelações directas do fluxo para verificar os dados do modelo.

Estas incertezas podem ser ou não significativas, dependendo dos objectivos para que os modelos foram concebidos, mas, para uma correcta aplicação da metodologia de emissões de poluentes, os dados oriundos da modelação de tráfego têm de ter um grau de certeza associado elevado, nomeadamente na velocidade média e no fluxo de veículos no troço.

Os modelos são elaborados para simular o tráfego, tendo em consideração uma estrutura de rede de transporte definida e uma matriz O/D estimada. O objectivo principal é simular o tráfego numa rede geográfica por unidade de tempo.

Após a etapa de afectação do tráfego, o programa **VISUM** fornece dados de saída (*outputs*). Estes *outputs* são muito importantes para a modelação de emissões, etapa seguinte da metodologia proposta. Com as velocidades médias, fluxos de veículos e distância média percorrida consegue preencher-se a base de dados do programa **COPERT IV**.

O modelo de emissão necessita de um conjunto de dados para usar nos cálculos. Esses dados são principalmente relacionados com as características do tráfego e condições de condução, mas alguns parâmetros adicionais, tais como temperatura e propriedades dos combustíveis são também requeridos. São necessários os seguintes dados para cada troço de estrada:

- ✓ Volume de tráfego,
- ✓ Velocidade do veículo,
- ✓ Distribuição dos veículos e categorias,
- ✓ Distribuição dos veículos por classes,

- ✓ Comprimento do troço da estrada.

A **velocidade** é um dado importante, visto que é sabido que através desta se consegue calcular a quantidade de emissões que determinada frota produz numa dada área e intervalo de tempo. Este dado é referido em velocidade média, que corresponde à distância percorrida por um objecto sobre o tempo que esse mesmo objecto demorou durante o percurso avaliado. Esta velocidade não abrange todas as acelerações e desacelerações que um veículo efectua numa determinada rota e, conseqüentemente, não quantifica todas as emissões que daí resultam, esta evidência, traduz-se numa limitação do modelo, pois a influência do estilo de condução no consumo de energia e nas emissões de CO₂ é muito importante, chegando a ter variações de 15% nas emissões de CO₂. Como se pode verificar no Figura 18, as emissões aumentam nas acelerações (0 e 20 km/h) e nas velocidades altas (100 aos 130 km/h), sendo a velocidade óptima de 80 km/h pelo COPERT IV. Os valores são dados em média, pois seria impossível quantificar o comportamento dos utilizadores em todos os instantes da sua viagem para a dimensão da área de estudo avaliada.

Segundo *André et al.* (1999), a estimação da velocidade média através de um modelo de afectação permite o cálculo de variáveis, como as descritas anteriormente, que permitem reflectir o comportamento dos condutores na estrada. Estas variáveis podem ser usadas para o cálculo de emissões e são constituídas por: velocidades nos arcos, velocidade nas intersecções, duração do tempo de paragem nos sinais luminosos e verticais, distribuição das distâncias de viagem na rede e número de arranques a frio.

3.3 Modelação de emissões

O modelo de emissões *Computer Programme to estimate Emissions from Road Traffic versão IV (COPERT IV)* é um *software* disponibilizado pela Agência Europeia do Ambiente (AEA) e usado por diversos países europeus na compilação dos inventários de emissões nacionais (**CORINAIR**). A metodologia aplicada no **COPERT IV** pode ser aplicada no cálculo de emissões produzidas pelo tráfego. As estimativas efectuadas pelo programa são muito agregadas, tanto no espaço como no tempo.

O **COPERT IV** é um modelo matemático baseado numa vasta base de dados, incluindo informação da frota automóvel nacional e diversos parâmetros relacionados com a dependência funcional entre velocidade e emissões, consumo de combustível, velocidade média e quilometragem total dos veículos (Saija e Romano, 2002).

O *software* de cálculo de emissões **COPERT IV** tem como base ensaios feitos em laboratório de quantificação de gases de escape para cada veículo num dinamómetro⁷, usando vários ciclos de condução. Os testes com dinamómetros são essenciais para estabelecer uma uniformidade nas emissões produzidas pelos veículos com motor de combustão, para fins de regulação e para testes de novas tecnologias, no entanto não reflectem as condições reais de condução de veículos na estrada e o nível de manutenção da frota automóvel nacional. Ainda assim, são necessárias estimativas de emissões de poluentes produzidas pela frota automóvel nacional, daí a criação deste *software* que compila a informação necessária a fim de estimar, com uma precisão elevada, a contribuição do sector rodoviário dos transportes para os inventários nacionais de emissões (Zachariadis e Samaras, 2000).

O modelo usa o volume de tráfego estimado pelo modelo de transporte, e outras informações para calcular a taxa de emissão dos poluentes gerados pelos veículos.

O projecto **EMEP/CORINAIR** iniciou-se em 1986 com o objectivo de compilar um inventário coordenado de emissões atmosféricas. As estimativas foram feitas a partir dos inventários que identificam as fontes de emissão, factores de emissão, medidas de emissão e os sectores que mais contribuem para as emissões. Os inventários podem conter dados em três tipos de fonte: pontual, área e linha. As fontes pontuais indicam instalações industriais que, pela sua dimensão e contributo para as emissões totais ou, ainda, pelo tipo de poluente emitido, justificam um tratamento individual; as fontes em área são emissões difusas com uma distribuição mais ou menos homogénea, podendo incluir fontes de pequena dimensão ou dificilmente identificáveis (por exemplo a agricultura); as fontes em linha, de um modo geral, são associadas às fontes móveis, como o tráfego rodoviário, ferroviário e de aviação.

Os tipos de fontes abordadas neste estudo são em linha, dado serem representativas das emissões dos veículos de transporte terrestre nas estradas e nas vias em geral.

As emissões de poluentes produzidas pelos veículos correspondem a diversas situações decorrentes do uso do automóvel, e podem ter três origens:

- ✓ **Emissões a quente**
- ✓ **Emissões a frio**
- ✓ **Emissões evaporativas**

⁷ Dinamómetro é o equipamento capaz de medir a potência, trabalho executado na unidade de tempo, de um motor nas suas diversas condições de funcionamento.

Para além destas emissões, é ainda possível contabilizar emissões resultantes do desgaste de pneus, travões, embraiagem, suspensão de partículas presentes no solo e, por fim, a emissão de gases provenientes da combustão e que passam pelo cárter do motor.

3.3.1 Emissões a quente

As emissões a quente são, convencionalmente, chamadas de emissões que têm lugar em condições termodinâmicas estabilizadas do motor e condições de temperatura ideal de controlo de emissões pelo catalisador e escape. Estas emissões dependem de uma grande variedade de factores, como: distância percorrida pelo veículo, velocidade, idade do veículo, potência do motor, peso do veículo, tipo de motor e comportamento do condutor na estrada.

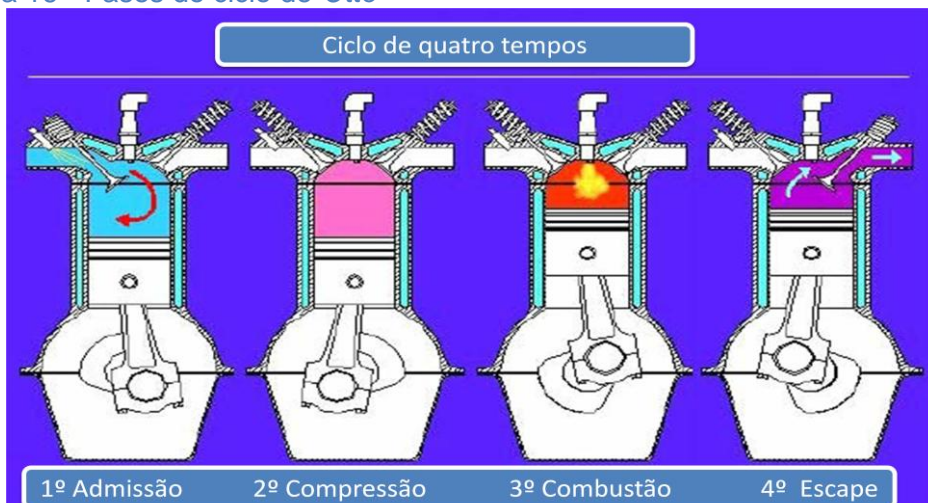
Estas emissões são originadas através da combustão entre o combustível e o ar na câmara de combustão do motor dos veículos e representam cerca de 80% das emissões totais (Cruz P.,2005). O tipo de motor de combustão interna tem uma influência muito grande na formação de emissões com o motor quente. Existem duas categorias de motores térmicos: com ignição diesel (ignição devida a altas temperaturas na compressão) e ignição por explosão (a vela de ignição inicia propagação de chama).

3.3.1.1 Motores ignição por explosão

Nos motores de explosão a quatro tempos, também conhecidos como motores de ciclo *Otto*, a combustão da mistura ar/combustível, após ser sujeita a uma compressão nos cilindros, inicia-se por uma faísca provocada pela vela de ignição. Estes motores são caracterizados por um ciclo composto por quatro fases (Figura 16):

- ✓ Admissão – mistura de ar e combustível
- ✓ Compressão – compressão em cada cilindro e a ignição é provocada por uma faísca externa, na câmara de combustão.
- ✓ Combustão – combustível queima-se e o pistão é empurrado para baixo
- ✓ Escape – gases de escape são dirigidos para fora

Figura 16 - Fases do ciclo de Otto



Fonte: (Instituto Superior Técnico, 2006):

Os combustíveis usados neste tipo de motor são hidrocarbonetos leves com alto poder calorífico como a gasolina, gás natural, álcoois, etc.

3.3.1.2 Motores ignição diesel

Os motores a diesel ou motores de ciclo diesel são idênticos aos motores de ciclo Otto, apenas diferem na combustão, dado que esta acontece por auto-ignição do combustível. A auto-ignição acontece quando o combustível é injectado e mistura-se com o ar aquecido pela compressão no interior dos cilindros. O ciclo Otto e o ciclo Diesel são muito parecidos. A diferença está no processo 2-3 de adição de calor que no ciclo Otto é isocórico (volume constante) e no ciclo Diesel é isobárico (pressão constante). O ciclo *diesel* é constituído pelas seguintes fases:

- ✓ No primeiro estágio do ciclo de combustão, o ar é aspirado para o interior do cilindro, penetrando nele através da válvula de entrada;
- ✓ Durante o segundo estágio, o pistão sobe e comprime o ar dentro do cilindro;
- ✓ O terceiro estágio caracteriza-se pela injeção, a alta pressão, do combustível no ar comprimido a alta temperatura, entrando em combustão espontânea e forçando o movimento do pistão para baixo;
- ✓ No último estágio, os gases que se formaram na fase anterior são expelidos do interior do cilindro pelo movimento ascendente do pistão (Fontinha, 2007).

Os combustíveis usados neste tipo de motor são, em geral, hidrocarbonetos mais pesados e menos voláteis, como o gasóleo.

Os motores do tipo *diesel* são mais robustos e menos rotativos que os motores de ciclo Otto e são utilizados, na sua grande maioria, por veículos pesados de passageiros e de mercadorias que precisam de um valor alto de potência. Estes motores apresentam um

rendimento termodinâmico superior aos de ciclo *Otto*, por trabalharem com maiores temperaturas e pressão. Estes motores conseguem também ter um desempenho melhor que os de ciclo *Otto*, pois conseguem trabalhar com maior quantidade de ar, que satisfaz uma combustão mais completa do combustível (Cruz P.,2005).

Os problemas mais prementes, relativamente às emissões de poluentes, têm sido o controlo dos óxidos (NOx) e a redução das partículas microscópicas (PM).

3.3.1.3 Relação ar/combustível

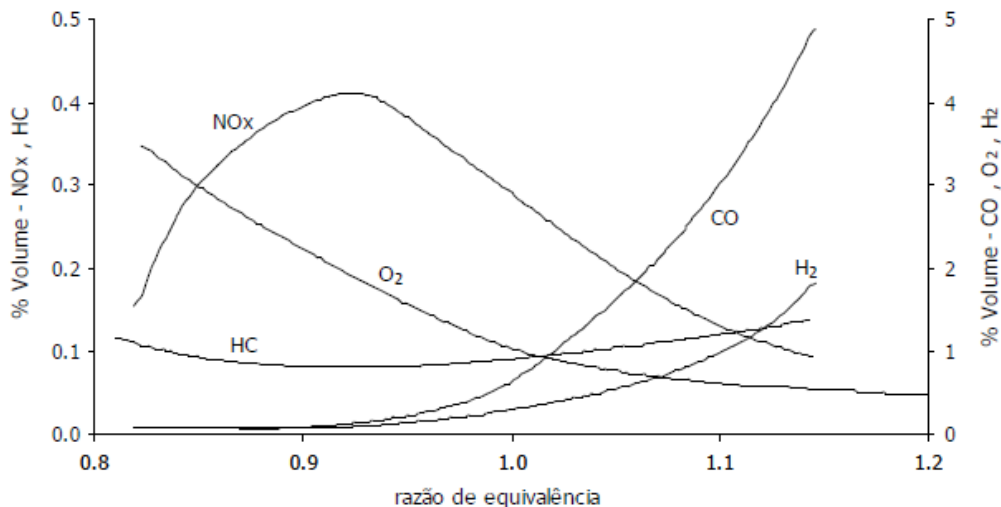
As emissões de escape estão directamente ligadas à relação ar/combustível (Figura 17). Esta relação é muito importante para as emissões de poluentes em veículos, isto porque uma relação rica (mais combustível que o ar consegue oxidar) ou uma relação pobre (excesso de ar na mistura) provoca diferentes comportamentos na emissão de gases de escape. Esta situação está também relacionada com o comportamento de condução do veículo.

Numa situação perfeita o resultado da combustão ideal de um hidrocarboneto seria vapor de água e CO₂, considerando-se a reacção completa da gasolina (C₇H₁₅) com o ar. No caso da gasolina a sua reacção completa com o ar (C₇H₁₅) considera-se que apenas reagem o carbono, hidrogénio e oxigénio do combustível e azoto e oxigénio do oxidante. Os produtos de combustão mais importantes são: CO₂, CO, H₂O, H₂ e N₂.

A reacção combustível com o oxidante não acontece numa só etapa, dadas as irreversibilidades⁸ inerentes às reacções, surgem assim outros compostos intermediários entre os produtos. As reacções com menor irreversibilidade geram menor desordem no sistema, o que faz com que o processo atinja um melhor resultado. Cada um destes compostos intermediários está associado a um tipo de irreversibilidade do processo. A relação da formação dos compostos intermediários em função da razão de equivalência da mistura ar-combustível está representada na Figura 17.

⁸ Processo irreversível consiste em um sistema em que todas as partes da vizinhança não podem voltar exactamente ao estado inicial, depois de o processo ter ocorrido.

Figura 17 - Curvas de formação de poluentes em função da razão de equivalência



Fonte: (Cruz P. d., 2005)

A expressão dos níveis de formação destes compostos é feita em partes por milhão (ppm), em percentual de volume ou ainda numa razão entre uma destas e a potência do motor. Esta última alternativa indica o conteúdo de poluente por unidade de potência produzida.

A formação de monóxido de carbono é mais intensa em mistura rica, derivada da maior combustão de combustível. A formação de dióxidos de azoto deve-se às altas temperaturas atingidas na câmara de combustão, normalmente com maior incidência em misturas pobres. A formação de COV ocorre durante a acumulação de combustível na câmara de combustão e a interrupção da reação nas paredes frias do cilindro (Cruz P. d., 2005).

A potência do motor, a sua eficiência e os níveis de emissões dependem da combustão da mistura ar/combustível⁹ no interior do cilindro.

3.3.1.4 Metodologia EMEP/CORINAIR para a determinação das emissões a quente

A metodologia usada no programa **COPERT IV** para a determinação dos factores de emissão a quente de poluentes é representada através da fórmula base para cálculo das emissões com o motor quente a partir de dados experimentais:

$$\text{Emissões (g)} = \text{FE (g/km)} \times \text{N.º veíc} \times \text{Quilometragem de veíc por período de tempo (km/veíc.)}$$

[Eq. 1]

A frota automóvel tem características específicas, como vários factores de emissão, número de veículos e quilometragens de veículos que precisam de ser introduzidos para cada

⁹ Corresponde à razão de equivalência na relação ar-combustível real entre a relação considerada ideal ou estequiométrica para uma mistura

categoria e classe de veículos. A metodologia usada simula as emissões com o motor quente, correspondendo à operação de veículos em condições de motor quente, numa dada velocidade média e período de estudo.

A equação usada é a seguinte:

$$E_{\text{Quente}; i, j, k} = N_j \times M_{j,k} \times e_{\text{Quente}; i, j, k} \quad [\text{Eq.2}]$$

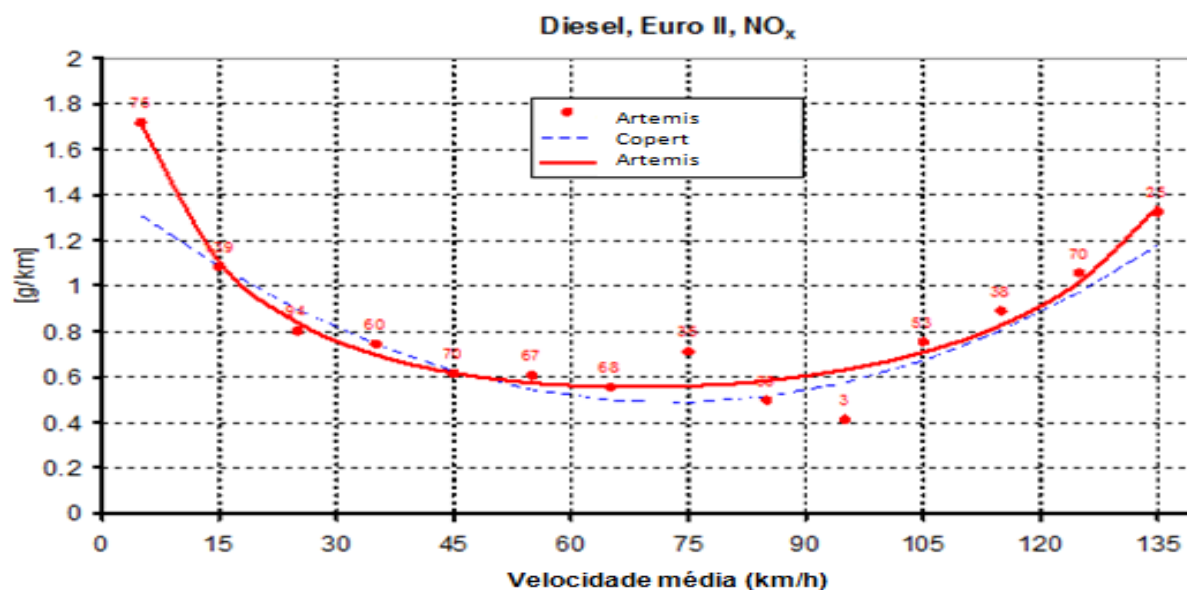
Onde:

- ✓ **E**_{Quente; i, j, k}: emissões do poluente i em [g], produzidas no ano de referência por veículos da classe j conduzidos em estradas do tipo k em condições térmicas estabilizadas do motor e escape.
- ✓ **N**_j: número de veículos [veíc] da classe j em circulação no ano de referência.
- ✓ **M**_{j,k}: Quilometragem do veículo [km/veíc] conduzido em estradas do tipo k por veículos da classe j.
- ✓ **e**_{Quente; i, j, k}: factor de emissão médio de frota em [g/km] para o poluente i, relevante para veículos da classe j conduzidos em estradas do tipo k, em condições térmicas estabilizadas de motor e escape.
- ✓ **i** (poluentes): 1-33 para poluentes do grupo 1 e 3
- ✓ **j** (Classe do veíc): 1-99 para as classes de veículo definidas
- ✓ **k** (Classe de estrada): 1-3 para condução em ambiente urbano, rural e AE (Ntziachristos e Samaras, 2000).

3.3.1.5 Influência da velocidade nas emissões

A velocidade é introduzida no cálculo através dos três tipos de ambiente de condução, que têm um importante papel nas emissões a quente dos veículos. A forma de estabelecer esta relação é através da escolha de uma velocidade média representativa dos três tipos de ambiente de condução e, a partir do valor das velocidades médias, obter os factores de emissão através das Figura 18 e Figura 113 (ver Anexo IV - pág. A.83) ou equações (Tabela 3).

Figura 18 - Relação velocidade e emissões de poluentes



Fonte: (EEA, 2007)

Tabela 3 - Factores de emissão para o poluente CO para veículos a gasolina

Classe veículos	Capacidade Motor	Intervalo de velocidade	Factor de emissão CO (g/km)	R ²
Pre-ECE	TC	10-100	$281V^{-0,630}$	0,924
		100-130	$0,112V+4,32$	-
ECE 15-00/01	TC	10-50	$313V^{-0,797}$	0,898
		50-130	$27,22-0,406V+0,0032V^2$	0,158
ECE 15-02	TC	10-60	$300V^{-0,797}$	0,747
		60-130	$26,26-0,44V+0,0026V^2$	0,102
ECE 15-03	TC	10-19,3	$161,36-45,62 \cdot \ln(V)$	0,790
		19,3-130	$37,92-0,68V+0,00377V^2$	0,247
ECE 15-04	TC	10-60	$260,788V^{-0,910}$	0,825
		60-130	$14,653-0,22V+0,00116386V^2$	0,613
Convencional melhorado	CC < 1,4 L	10-130	$14,577-0,294V+0,002478V^2$	0,781
	1,4 L < CC < 2,0 L	10-130	$8,273-0,1511V+0,000957V^2$	0,767
Open Loop	CC < 1,4 L	10-130	$17,882-0,377V+0,002825V^2$	0,656
	1,4 L < CC < 2,0 L	10-130	$9,446-0,23012V+0,002029V^2$	0,719
Euro 1	CC < 1,4 L	5-130	$9,846-0,2867V+0,0022V^2$	0,133
	CC < 1,4 L	5-130	$9,617-0,245V+0,0017285V^2$	0,145
	1,4 L < CC < 2,0 L	5-130	$12,826-0,2955V+0,00177V^2$	0,159

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.3.2 Emissões a frio

A partida a frio refere-se ao período inicial do funcionamento do veículo, onde o motor e/ou os equipamentos de controlo de emissões de poluentes ainda não atingiram a temperatura óptima de funcionamento. No período de partida a frio, a quantidade de poluentes emitidos é bastante superior à das partidas em que o veículo mantém as condições térmicas estabilizadas de operação do veículo.

A temperatura óptima de funcionamento do motor determina o tempo de partida a frio e o excesso de poluentes emitidos pelos veículos sem catalisador.

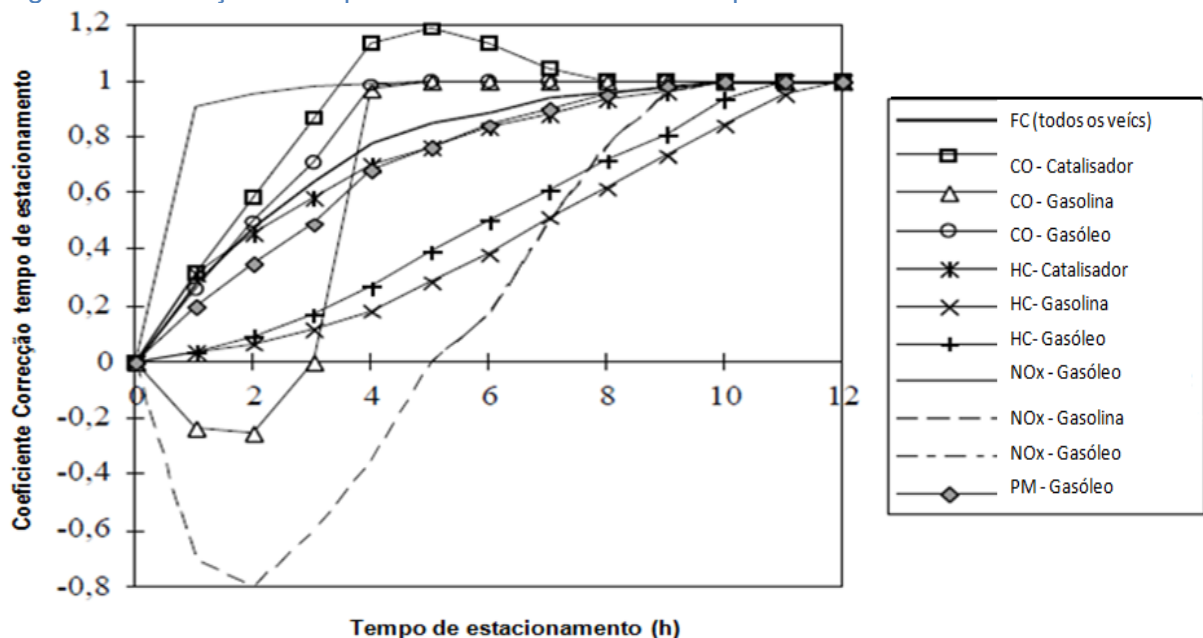
A temperatura do catalisador é importante nos veículos equipados com este equipamento de redução de emissões de gases de escape, esta influencia o total de emissões de poluentes emitidas e no tempo de partida a frio. Enquanto um veículo não chega as condições térmicas óptimas de funcionamento, as emissões de poluentes atmosféricos (CO, HC, NO_x, PM) são aumentadas. No caso dos veículos equipados com catalisador de três vias a temperatura do catalisador determina as condições de funcionamento e portanto as emissões. Os veículos que não dispõem de sistemas de controlo de evaporação (catalisador de três vias), sucede que, o excesso de emissões ocorre derivado às condições térmicas de funcionamento do motor não terem sido atingidas (André e Joumard, 2005). Por esse motivo as condições térmicas de funcionamento do motor são o principal parâmetro a ter em conta neste tipo de veículo. A temperatura do motor e do catalisador é influenciada por diversos factores:

- ✓ Temperatura ambiente;
- ✓ Modo de condução do veículo;
- ✓ Velocidade média;
- ✓ Duração do período de estacionamento;
- ✓ Distância viajada;
- ✓ Características do veículo (cilindrada do motor, tecnologia de controlo de emissões);
- ✓ Combustível;
- ✓ Tempo de estacionamento (André e Joumard, 2005).

O veículo necessita de permanecer desligado durante um período de tempo para se considerar a viagem como partida a frio. Este período de tempo é denominado de *período de estacionamento*. Para se classificar se uma partida é efectuada com o motor a frio ou a quente, é necessário saber o tempo que o veículo esteve em repouso. Segundo um estudo feito pela **INRETS** (André e Joumard, 2005), foram testados vários tipos de veículos com catalisadores e sem catalisadores, com motor a gasolina e gasóleo. O estudo concluiu que,

para os períodos de tempo testados entre 0,5 horas e 16 horas, a uma temperatura ambiental de 20°C, o período de estacionamento para a partida ser considerada a frio estende-se entre 4 e 12 horas, como se pode verificar na Figura 19. Nesta figura, o coeficiente de correcção é calculado através da razão entre as horas de estacionamento testadas e as 16 horas base de estacionamento de um veículo. O resultado do coeficiente de correcção mais próximo de 1 indica que, para aquela hora de estudo (entre 0,5 hora e as 12 horas), já se atingiram as condições de partida a frio, situação que acontece entre as 4 e 12 horas. O tempo de estacionamento varia em função do poluente analisado e do tipo de veículo. Consideradas as partidas feitas antes deste tempo, são classificadas como partidas a quente.

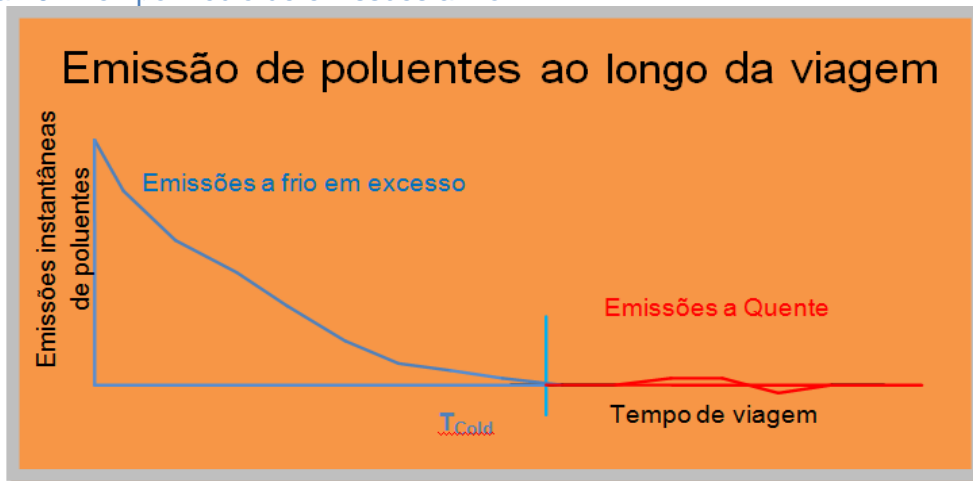
Figura 19 - Relação entre período de estacionamento e partida a frio



Fonte: (André e Joumard, 2005)

A evolução das emissões nas partidas a frio ao longo de um período de tempo, para um dado poluente, velocidade e temperatura inicial do motor, pode ser repartida em duas fases. Numa primeira fase, ocorre o decrescer das emissões, devido ao progressivo aumento da temperatura do motor e/ou catalisador. Numa segunda fase em que a temperatura óptima do motor é atingida, dá-se a estabilização de emissões. A primeira fase (Figura 20) corresponde ao tempo em que o carro funciona em regime frio.

Figura 20 - Tempo médio de emissões a frio



Fonte: Adaptado (André e Joumard, 2005)

Esta fase caracteriza-se pelo excesso de emissões, resultantes do arranque a frio do veículo. As emissões a frio foram definidas através da comparação de um veículo, num período de tempo, perante duas situações: a primeira consiste no excesso de poluição gerado durante o período de tempo devido ao motor e/ou catalisador não terem atingido a temperatura óptima de funcionamento. A segunda situação baseia-se no tempo de viagem em que o veículo circula em condições térmicas óptimas do motor e/ou catalisador e com isso ocorre a estabilização das emissões. Este conceito pode ser transformado em distância, através da relação com a velocidade média (Joumard e Série, 1999).

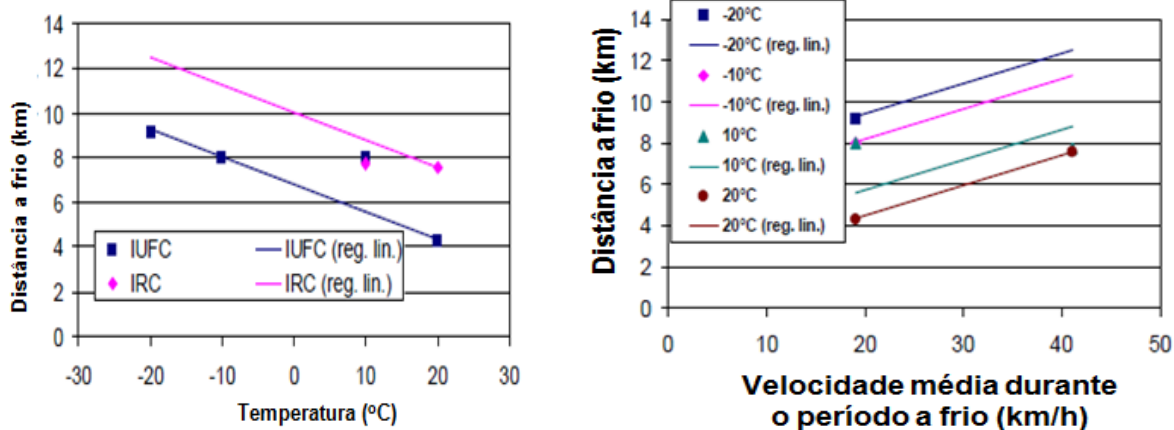
Os motores que circulam num ambiente urbano operam com uma eficiência reduzida (alto consumo e combustão muito incompleta), devido a não atingirem na maior parte das situações as temperaturas óptimas de trabalho. No caso dos catalisadores, este perdem 90% da sua eficiência enquanto não chegam aos 300°C. A distância média de viagem na Europa ronda entre os 5 e 15 km. No caso do Reino Unido, uma viagem de 10 km comporta em média 3,4 km, em regime frio, e 6,4 km, em regime quente. As viagens podem ser divididas em 80% de viagens com distância abaixo de 8 km e 33% abaixo de 2 km e foi estimado que a quase totalidade de monóxido de carbono emitido é efectuado no primeiro quilómetro num total de 10 km de viagem (Colls, 2002).

A distância percorrida está muito relacionada com a velocidade do veículo nos primeiros quilómetros de operação. Estima-se que um veículo que circule a velocidade baixa consegue atingir as condições térmicas óptimas de funcionamento entre 5-10 km, enquanto um veículo que circule numa auto-estrada demore 30 km para aquecer (Colls, 2002).

A Figura 21 ilustra os efeitos da velocidade e da temperatura ambiente nas distâncias percorridas pelos veículos, neste pode observar-se um comportamento decrescente da

distância a frio, à medida que a temperatura sobe, e um comportamento crescente da distância percorrida a frio com o aumento da velocidade (André e Joumard, 2005).

Figura 21 - Relação temperatura e distância a frio e Relação velocidade e distância a frio

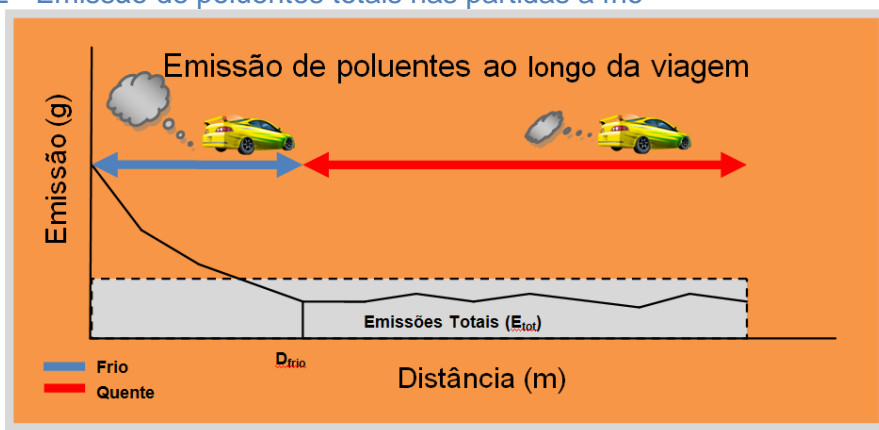


Fonte: (André e Joumard, 2005)

3.3.2.1 Emissões totais de poluentes nas partidas a frio

As emissões são normalmente apresentadas de forma agregada, sem diferenciação entre emissões de partidas a frio ou emissões em condições estabilizadas de temperatura do motor e/ou catalisador. A metodologia emprega o uso de um factor de emissão único ou factor de emissão total. Deste modo, as emissões de partida a frio são distribuídas ao longo da viagem (Figura 22).

Figura 22 - Emissão de poluentes totais nas partidas a frio



Fonte: Adaptado (André e Joumard, 2005)

A representação das emissões com arranque a frio, através de um factor de emissão total, faz com que aconteça uma subestimação das emissões durante a distância a frio e a sobre-estimação no restante da viagem. Esta foi a forma encontrada no desenvolvimento do modelo **COPERT IV** para contabilizar o efeito das partidas a frio e distribuí-las nas emissões totais ao longo das viagens.

3.3.2.2 Metodologia EMEP/CORINAIR para quantificar emissões das partidas com arranque a frio

As partidas com arranque a frio têm lugar em todos os ambientes de condução dos veículos (urbano, rural, AE), no entanto, têm prevalência no ambiente urbano. Estas ocorrem em todas as categorias de veículos. São calculadas para factores de emissão de veículos a gasolina, gasóleo e gás natural. A metodologia usada não prevê que as emissões piorem com a idade do veículo.

O rácio de emissões entre o regime a frio e emissões a quente é usado para a fracção de quilómetros percorridos em condições não estabilizadas de temperatura do motor e/ou catalisador. Existem vários factores que variam de país para país, como o comportamento do condutor e o clima (faz variar o tempo de aquecimento do motor e catalisador). Dado que estas informações são difíceis de obter, optou-se por fazer estimativas (Ntziachristos e Samaras, 2000).

$$E_{\text{Frio};i,j} = \beta_{i,j} \times N_j \times M_j \times e_{\text{Quente};i,j} \times \left(\frac{e_{\text{Frio}}}{e_{\text{Quente};i,j}} - 1 \right) \quad [\text{Eq.3}]$$

- $E_{\text{Frio};i,j}$ = emissões de arranque a frio do poluente i causados pelo veículo de classe j;
- N_j = número de veículos da classe j em circulação;
- M_j = total de distância percorrida num ano pelo veículo da classe j;
- $e^{\text{Frio}}/e^{\text{Quente}}$ = rácio de emissões de motor/catalisador frio para motor/catalisador quente para emissões do poluentes i de veículos da classe j (Tabela 4).
- $\beta_{i,j}$ = fracção de percurso conduzido com motor frio ou catalisador operando abaixo da temperatura estabilizada (Tabela 5)

Tabela 4 – Rácio de sobre-emissões nas partidas a frio para veículos ligeiros a diesel

Veículos Passageiros a Gasóleo e Veículos comerciais ligeiros	Temperatura [°C]	$e^{\text{COLD}}/e^{\text{Hot}}$
CO	-10:30	1,9-0,03. t_a
NO _x	-10:30	1,3-0,013. t_a
VOC	-10:30	3,1-0,09. $t_a^{(1)}$
PM	-10:30	3,1-0,1. $t_a^{(2)}$
Consumo combustível	-10:30	1,34-0,008. t_a
⁽¹⁾ VOC: se $t_a > 29^\circ\text{C}$ então $e^{\text{Frio}}/e^{\text{Quente}} > 0,5$		
⁽²⁾ PM: se $t_a > 26^\circ\text{C}$ então $e^{\text{Frio}}/e^{\text{Quente}} > 0,5$		
t_a - temperatura ambiente		

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

Tabela 5 – Fração de percurso conduzido com motor frio ou catalisador operando abaixo da temperatura estabilizada

Cálculos baseados em:	β – parâmetro
I_{trip} estimado (Comprimento médio da viagem)	$0,6474 - 0,02575 \cdot I_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \cdot I_{trip}) \cdot t_a$ t_a - temperatura ambiente

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.3.3 Emissões evaporativas

As emissões evaporativas são originadas a partir da evaporação do combustível, a sua formação tem origem na variação da temperatura ambiente e no uso dos veículos. Estas emissões são basicamente compostas por hidrocarbonetos e são classificadas nos seguintes tipos (Ntziachristos e Samaras, 2000):

- ✓ Emissões por arrefecimento do motor, resultantes do combustível que ainda se encontra no carburador ou no sistema de injeção electrónica após o carro ser desligado, ou seja, emissões causadas quando um motor quente é desligado. O calor do motor e do tubo de escape aumentam a temperatura do combustível no sistema que já não está em circulação, originando a evaporação deste;
- ✓ Emissões por não estanquidade do tanque, excepto em veículos com sistema de controlo de emissões evaporativas ou ainda pela variação da temperatura ambiental ao longo do dia;
- ✓ Emissões no reabastecimento do veículo;
- ✓ Emissões durante o funcionamento do veículo, ou seja, emissões resultantes do vapor gerado no tanque de gasolina durante o funcionamento do veículo.

Os fabricantes de veículos têm desenvolvido melhorias técnicas nos veículos com vista à redução das emissões de poluentes. Recentemente, têm-se desenvolvido tecnologias que conseguem uma melhoria na estanquidade dos veículos e melhoram o seu desempenho na emissão de poluentes derivados das emissões evaporativas. Estas emissões ocorrem quando um combustível líquido se evapora e moléculas de combustível escapam para a atmosfera. Uma quantidade considerável de poluição de hidrocarbonetos resulta das emissões evaporativas que ocorrem quando a gasolina verte ou é derramada ou quando a gasolina aquece e evapora de um tanque de combustível ou motor. (Fonte: USEPA)

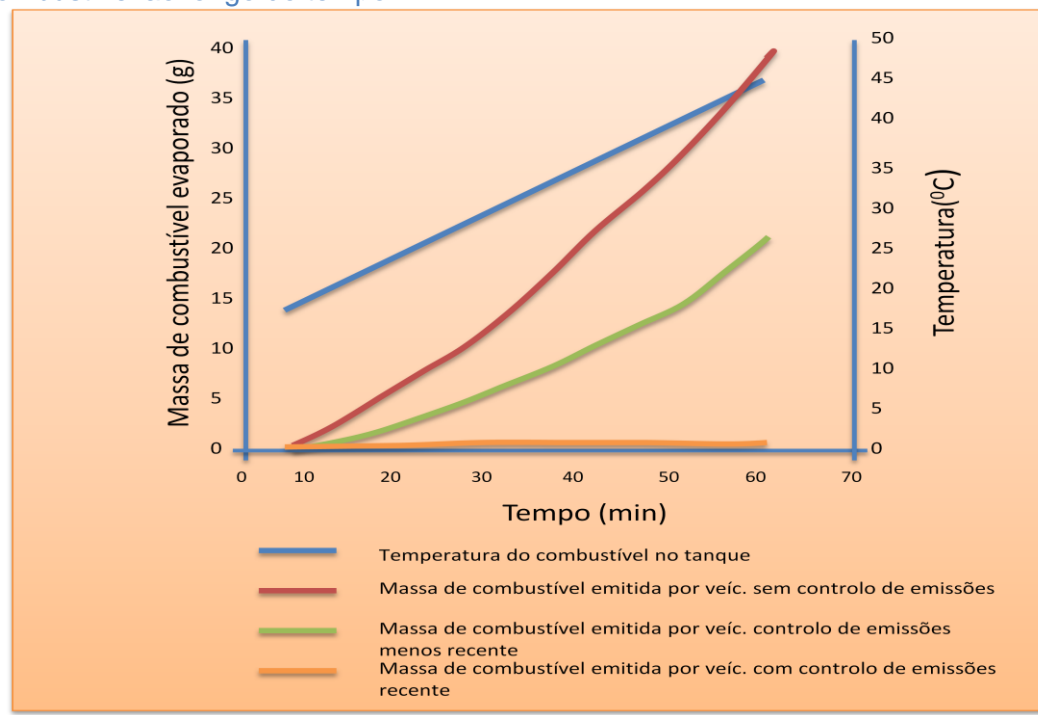
3.3.3.1 Tipos emissões evaporativas abrangidos pelo Software COPERT IV

A metodologia usada pelo programa **COPERT IV** considera três tipos principais para definir as emissões evaporativas:

- ✓ Emissões diurnas
- ✓ Emissões durante a circulação do veículo
- ✓ Emissões em repouso com o motor ainda quente

Devido à falta de informação, as emissões evaporativas dos veículos são consideradas unicamente no caso dos veículos com motor a gasolina. A metodologia é totalmente aplicada aos veículos de passageiros a gasolina e simplificada para as restantes (Ntziachristos e Samaras, 2000). As emissões evaporativas são muito sensíveis à temperatura (Figura 23), por isso são feitas estimativas mensais, que consigam reflectir a variabilidade da temperatura ao longo do ano.

Figura 23 - Variação da massa de combustível evaporado e temperatura do combustível ao longo do tempo.



Fonte: (Hausberger et al., 2005)

3.3.3.2 Emissões diurnas

As emissões evaporativas derivadas da variação da temperatura ambiental são resultado da expansão do vapor dentro do tanque de gasolina, que ocorre durante a subida de temperatura ao longo do dia. Um veículo que não tenha um sistema de controlo de evaporação permite que algum do vapor, resultante da expansão dentro do tanque de combustível, consiga ser conduzido para a atmosfera. Quando a temperatura ambiental desce, com a chegada da noite, ocorre a entrada de ar dentro do tanque de gasolina, devido à contracção do vapor resultante da descida da temperatura. Consequentemente, esta situação provoca a diminuição da concentração de hidrocarbonetos na fase gasosa, acima

da fase líquida do combustível no tanque, o que leva a uma evaporação adicional para a atmosfera (Ntziachristos e Samaras, 2000).

3.3.3.3 Emissões em repouso com o motor ainda quente

As emissões consequentes da paragem do veículo, com este ainda quente, são causadas quando o motor é desligado. O calor do motor e do escape aumentam a temperatura do combustível que já não circula no sistema. As emissões deste tipo diminuem ao longo do tempo, devido ao arrefecimento do sistema: estas são, por definição, emissões evaporativas de hidrocarbonetos (HC) que escapam dos veículos durante a primeira hora a seguir ao veículo parar. A análise às informações de estudo sugerem que as emissões não são distribuídas igualmente durante a primeira hora de paragem, mas reduzem-se quanto mais tempo passou após a paragem do veículo. Esta situação deve-se ao arrefecimento do veículo e do sistema de protecção de emissões de evaporativas (EPA, 2001). As emissões evaporativas em repouso, com motor ainda quente, devem-se, nos motores a carburador, à vaporização dos gases dos resíduos de combustível na admissão que conseguem escapar ao sistema de controlo de emissões. Para veículos com injeção directa, os resíduos do combustível podem escorrer dos injectores. Factores exteriores como a temperatura ambiental e a volatilidade do combustível (pressão de vapor de Reid) afectam a emissão destes poluentes (CEPA, 2002).

3.3.3.4 Emissões evaporativas com motor em funcionamento

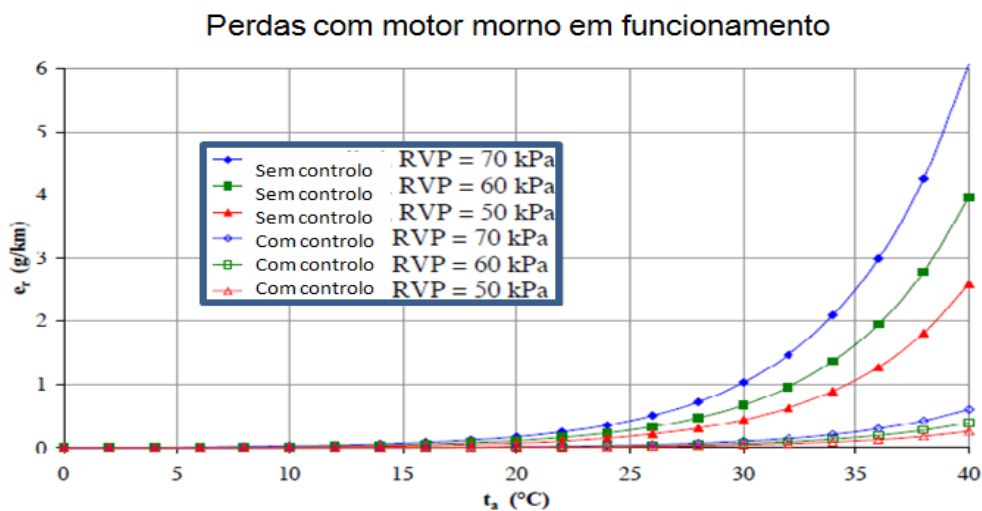
As emissões evaporativas com o veículo em funcionamento são resultado do vapor gerado no tanque de combustível. Estas emissões são mais significativas durante períodos com altas temperaturas ambientais. O efeito combinado de altas temperaturas, do aquecimento do tubo de escape e de alguma quantidade de combustível quente, que retorna ao tanque de combustível vinda do motor, pode gerar uma quantidade significativa de vapor no tanque de combustível (Ntziachristos e Samaras, 2000).

As emissões com o motor em funcionamento têm factores que agravam a sua emissão, como o efeito da volatilidade, das temperaturas ambientais e do tipo de condução. Os efeitos da volatilidade e das temperaturas ambientais, em condições térmicas não estabilizadas do motor e escape, com o carro em circulação, estão representados no Figura 24 e as emissões em condições estabilizadas (motor quente), no Figura 25, através dos quais se podem retirar as seguintes conclusões (Artemis, 2005):

- ✓ Uma redução da pressão no combustível resulta numa redução de emissões evaporativas. Por exemplo uma redução de 10 kPa no RVP resulta em 34,7% de

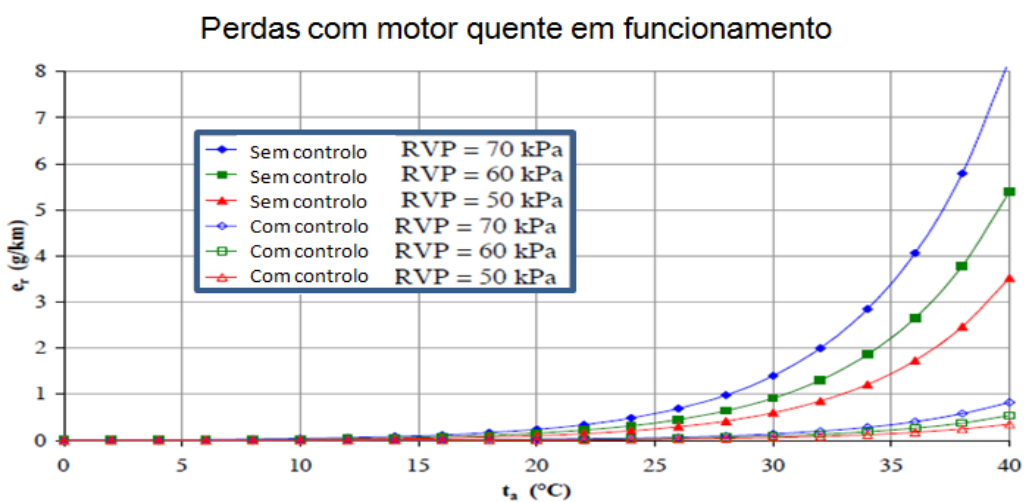
- reduções nas emissões evaporativas com o motor em trabalho independentemente da temperatura ambiental;
- ✓ Ambas as condições térmicas do motor e escape proporcionam o aumento exponencial com o aumento da temperatura ambiente, por exemplo, um aumento de 1 °C resulta num aumento de 19,4% de emissões evaporativas com o motor em trabalho independentemente da volatilidade do combustível;
 - ✓ Os sistemas de controlo de emissões proporcionam uma redução de 90% de emissões evaporativas com o carro em funcionamento, independentemente da temperatura e da volatilidade do combustível (RVP).
 - ✓ As condições não estabilizadas de temperaturas de motor e escape são responsáveis por mais 36% de emissões evaporativas.

Figura 24 - Emissões a quente



Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

Figura 25 - Emissões a frio



Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.3.3.5 Tecnologias de controlo de emissões

Os fabricantes de veículos automotores têm feito um esforço para mitigar as emissões evaporativas. Estas melhorias foram introduzidas assim que os limites de emissões foram impostos pela UE. Os COV são hidrocarbonetos presentes na gasolina, que vaporizam do motor e do tanque de combustível e escapam para a atmosfera. Os fabricantes abraçaram este desafio e implementaram sistemas de evaporação de emissões nos veículos (EVAP). Com estas melhorias as emissões baixaram cerca de 90%.

3.3.3.6 Metodologia EMEP/CORINAIR para determinação de emissões evaporativas

A metodologia usada para a determinação de emissões evaporativas de COV depende da tecnologia usada, das propriedades do combustível e das temperaturas ambientais. Os factores de emissão que são necessários para aplicar a metodologia estão representados na Tabela 6, para veículos com sistema de controlo de emissões e sem sistema de controlo de emissões.

$$E_{\text{evap,voc},j} = 365 \times a_j \times (e^d \times S^c \times S^{fi}) + R \quad [\text{Eq.4}]$$

- ✓ $E_{\text{evap, voc},j}$ = emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) derivados de perdas por evaporação causadas pelos veículos da categoria j ;
- ✓ a_j = número de veículos a gasolina da categoria j ;
- ✓ e^d = factor de emissão médio para perdas diurnas de gasolina em veículos equipados com tanques de metal (depende na temperatura ambiente média mensal, variação de temperatura e volatilidade do combustível (RVP));
- ✓ S^c = média de emissões a quente em tempo de repouso do veículo equipado com carburador;
- ✓ S^{fi} = média de emissões a quente em tempo de repouso do veículo equipado com injeção directa;
- ✓ R = perdas a quente durante o funcionamento do veículo.

Tabela 6 – Factores de emissão para emissões evaporativas de veículos a gasolina

Factor de emissão	Veículo sem controlo de emissões	Pequeno colector de vapores num veículo com controlo de emissões
Diurno (g/dia)	$9,1 \cdot \exp(0,0158 \cdot (\text{RVP} - 61,2) + 0,0574 \cdot (t_{a,\text{min}} - 22,5) + 0,0614 \cdot (t_{a,\text{subida}} - 11,7)) = [A]$	0,2.(A)
Motor em repouso morno (g/procedimento)	$\text{Exp} (-1,644 + 0,01993 \cdot \text{RVP} + 0,07521 \cdot t_a)$	$0,2 \cdot \exp(-2,41 + 0,02302 \cdot \text{RVP} + 0,09408 \cdot t_a)$

Motor em repouso quente (g/procedimento)	$3,0042 \cdot \exp(0,02 \cdot RVP)$	$0,3 \cdot \exp(-2,41 + 0,02302 \cdot RVP + 0,09408 \cdot t_a)$
Factor de emissão	Veículo sem controlo de emissões	Pequeno colector de vapores num veículo com controlo de emissões
Motor em repouso a quente e morno (g/procedimento)	0,7	Inexistente
Perdas com motor em funcionamento quente (g/km)	$0,1 \cdot \exp(-5,967 + 0,04259 \cdot RVP + 0,1773 \cdot t_a) = [B]$	0,1. (B)
Perdas com motor em funcionamento morno (g/km)	$0,136 \cdot \exp(-5,967 + 0,04259 \cdot RVP + 0,1772 \cdot t_a) = [C]$	0,1. (C)
Notas: $T_a = (t_{a,min} + t_{a,max})/2$ t_a – temperatura ambiente	$T_{a,subida} = t_{a,max} - t_{a,min}$ $T_{a,subida}$ = Incremento de temperatura ambiente máxima	$t_{a,Max}$ – Temperatura ambiente máxima diária $t_{a,min}$ – Temperatura ambiente mínima diária

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.3.4 Abordagem metodológica de cálculo de emissões

As estimativas de emissões são calculadas com a combinação de informação técnica precisa e dados de actividade fornecidos pelos utilizadores. Para criar uma estimativa mais próxima da realidade é necessário ter em atenção as variáveis e a correcta implementação da metodologia proposta.

As emissões são calculadas pela soma de três tipos de emissões: emissões a quente, emissões com partida a frio e emissões evaporativas.

As emissões são calculadas da seguinte forma (Ntziachristos e Samaras, 2000):

$$E_{Total} = \left[\sum_{j=1}^{N \text{ veíc.}} E_{\text{evap,cov},j} \right] + \left[\sum_{i=1}^{\text{Tipo Poluente}} \sum_{j=1}^{\text{Classe Veíc.}} \sum_{k=1}^{\text{Tipo estrada}} E_{\text{Quente},i,j,k} \right] + \left[\sum_{i=1}^{\text{Tipo Poluente}} \sum_{j=1}^{\text{Classe veíc.}} E_{\text{Frio},i,j} \right] = E_{\text{Quente}} + E_{\text{Frio}} + E_{\text{EVAP}}$$

[Eq.5]

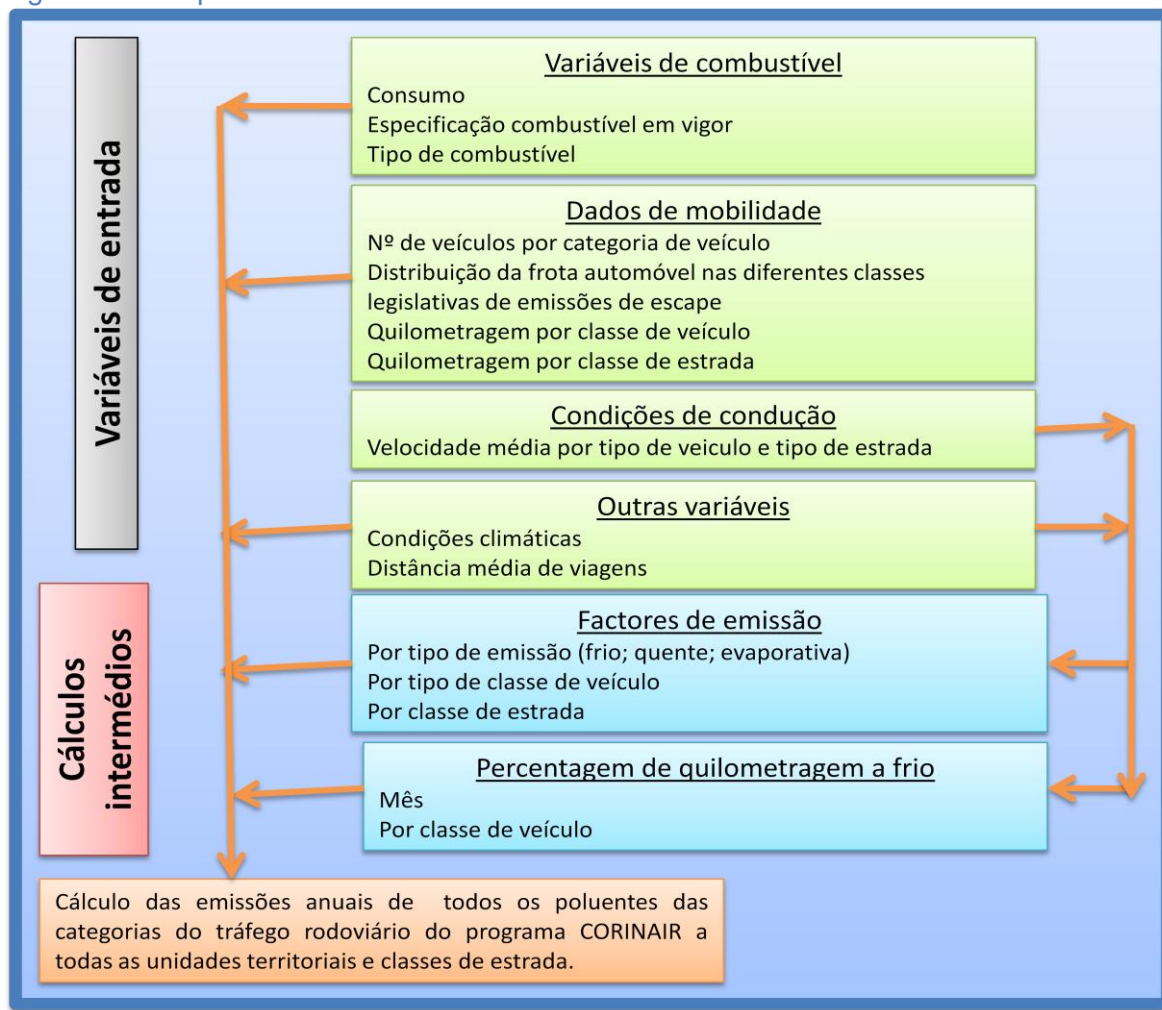
Onde:

- ✓ E_{TOTAL} : emissões totais (g) de qualquer poluente para a aplicação espacial e temporal
- ✓ E_{Quente} : emissões (g) durante a operação do motor em condições estabilizadas de temperatura;

- ✓ E_{Frio} : emissões (g) durante a fase de operação do veículo em condições não estabilizadas de temperatura do motor e/ou catalisador;
- ✓ E_{EVAP} : emissões (g) da evaporação do combustível as emissões evaporativas só são relevantes para as espécies de NMVOC em veículo a gasolina.

A metodologia segue o esquema apresentado para estimar as emissões totais de poluentes emitidos pelos veículos numa dada área e período temporal (Figura 26).

Figura 26 - Esquema de cálculo de emissões totais no COPERT IV



Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.4 Dados de entrada do programa COPERT IV

O objectivo principal dos modelos de emissões consiste em quantificar as emissões dos transportes a nível local, regional ou nacional. Estes modelos são utilizados para a previsão dos efeitos nas emissões de uma dada área a partir de modificações na rede viária ou no modo de operação dos sistemas de transportes e conseguir avaliar estratégias que combatam o incremento das emissões atmosféricas. A obtenção dos dados de entrada para o programa **COPERT IV** requer o conhecimento de diversos parâmetros.

A caracterização destes parâmetros reflecte-se na avaliação das emissões do modelo de emissões devido à sensibilidade do mesmo aos dados de entrada. A disponibilidade dos dados de entrada, assim como, o modo de obtenção deste e os cálculos efectuados para os estimar influenciam significativamente os resultados do modelo.

3.4.1 Idade da frota automóvel

A tecnologia automóvel evolui ao longo do tempo, sendo que, no mesmo país, podem coexistir veículos com diferentes tecnologias e que obedecem a regulamentações que foram evoluindo ao longo do tempo. É comum a observação de veículos de várias idades no parque automóvel de um país. Devido a esta situação foram criadas categorias que contêm as características das tecnologias automóveis tal como as representadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Tecnologias de controlo de emissões e datas de implementação das mesmas pelos fabricantes

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Ligeiros de Passageiros a Gasolina	Pre ECE	ECE 15-00 & 01					ECE 15-02			ECE 15-03				ECE 15-04							
Ligeiros de Pass. a Gasóleo e GPL	Conventional																				
Ligeiros de Mercadorias	Conventional																				
Pesados de Merc. e de Pass.	Conventional																				
Motociclos	Conventional																				

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ligeiros de Passageiros a Gasolina	ECE 15-04	EURO 1			EURO 2			EURO 3				EURO 4									
Ligeiros de Pass. a Gasóleo e GPL	Conv.	EURO 1			EURO 2			EURO 3				EURO 4									
Ligeiros de Mercadorias	Conventional			EURO 1			EURO 2		*	EURO 3				*	EURO 4						
Pesados de Merc. e de Pass.	Conv.	EURO 1			EURO 2			EURO 3				EURO 4		EURO 5							
Motociclos	Conventional							Stage 1				Stage 2									

Fonte: (Silva R. , 2009)

A **Directiva 70/220/CEE**, de 1970, foi a primeira a estabelecer limites europeus para a emissão de poluentes pelos veículos ligeiros. Desde então, os limites de emissões tornaram-se cada vez mais severos. O processo de regulamentação de emissões na Europa acelerou-se, a par com a construção da UE. Em 1989 a UE impôs padrões a serem implementados em 1992 (Euro 1 – **Directiva 91/441/CEE**), que generalizaram a utilização de sistemas de controlo de emissões avançados, baseados na utilização de catalisadores de três vias. Em 1996 foi implantada a **Directiva 94/12/CE**, também conhecida como Euro 2. Os padrões de emissão Euro 3 e Euro 4 foram definidos na **Directiva 98/69/CE**.

Actualmente, a UE regulamenta os limites de emissão de poluentes locais aplicáveis aos veículos rodoviários, "com o objectivo de limitar tanto quanto possível o impacte ambiental negativo dos veículos rodoviários no ambiente e na saúde, o regulamento abrange uma vasta gama de emissões de poluentes: monóxido de carbono, NMVOC, óxidos de azoto e partículas microscópicas" (U.E., 2007). O **Regulamento (CE) nº 715/2007 do Parlamento Europeu** (ver Anexo III – pág. A.88), datado de 20 de Junho de 2007, estabelece as regras de homologação dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais, no que diz respeito às emissões de poluentes, através das normas Euro 5 e Euro 6. Este regulamento é importante para a indústria automóvel, visto que fixa as obrigações da indústria para com a UE para promoção do menor impacte no ambiente e na saúde.

Além de legislação que regulamenta os limites de emissões veiculares de poluentes locais, a UE implementou regulamentações voltadas para a redução de emissões de CO₂. A Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis (ACEA) propôs um acordo voluntário que visa a redução de emissão de CO₂ de veículos ligeiros de passageiros, em função do consumo de combustível. Esse acordo objectiva uma emissão colectiva de 120 g.CO₂/ km dos veículos novos comercializados em países da UE até 2012, através da **Directiva 93/116/CE**.

O programa **Copert IV** analisa as seguintes tecnologias de emissão de veículos:

- ✓ Pré-ECE: até 1971
- ✓ ECE 15 00 & 01: 1972 – 1977
- ✓ ECE 15 02: 1978 – 1980
- ✓ ECE 15 03: 1981 – 1985
- ✓ ECE 15 04: 1985 – 1991
- ✓ Euro 1: 1992-1995
- ✓ Euro 2: 1997 – 1999
- ✓ Euro 3: 2000 – 2004
- ✓ Euro 4: 2005 – 2007
- ✓ Euro 5: 2008 - 2014
- ✓ Euro 6: 2014

3.4.2 Distância percorrida

A distância média em quilómetros percorrida por viagem em Portugal é de 12,4 km (Itrip) (Ntziachristos e Samaras, 2000), no entanto, segundo análises relevantes feitas no decorrer dos inventários nacionais europeus, o valor anual deve estar situado no intervalo de 8 a 15 km. Este valor é resultado de uma simplificação introduzida, dado que é difícil quantificar a

distância média percorrida por viagem em todas as classes de veículos (Ntziachristos e Samaras, 2000).

Este dado é relevante para quantificar o parâmetro β (percentagem de quilometragem de emissões com motor frio).

3.4.3 Tempo de viagem e velocidades de circulação

O tempo médio de duração da viagem e a velocidade média de circulação são grandezas representativas do comportamento de condução adoptado pelos condutores de veículos e são importantes na quantificação de emissões de escape.

- ✓ Tempo médio de duração de viagem em Portugal.
- ✓ Velocidade média de circulação.

A metodologia do software **Copert IV** estipula intervalos de velocidade nos ambientes em que o veículo pode circular, como específica a Tabela 8. A metodologia atribui a Portugal, para a classe de veículos inferior a 2,5 toneladas, as seguintes velocidades (Ntziachristos e Samaras, 2000):

Tabela 8 – Exemplo da velocidade de veículos (km/h) consideradas como representativas para caracterizar o comportamento de condução de veículos a gasolina <2,5t em diferentes tipos de estrada

Motorização	Urbano (km/h)	Rural (km/h)	A.E. (km/h)
< 1,4 L	30	70	120
1,4 – 2,0 L	30	70	120
> 2,0 L	30	70	120

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

É necessário atribuir, para as outras classes de veículos e motorizações, os valores de velocidade que mais se aproximam das características de cada grupo.

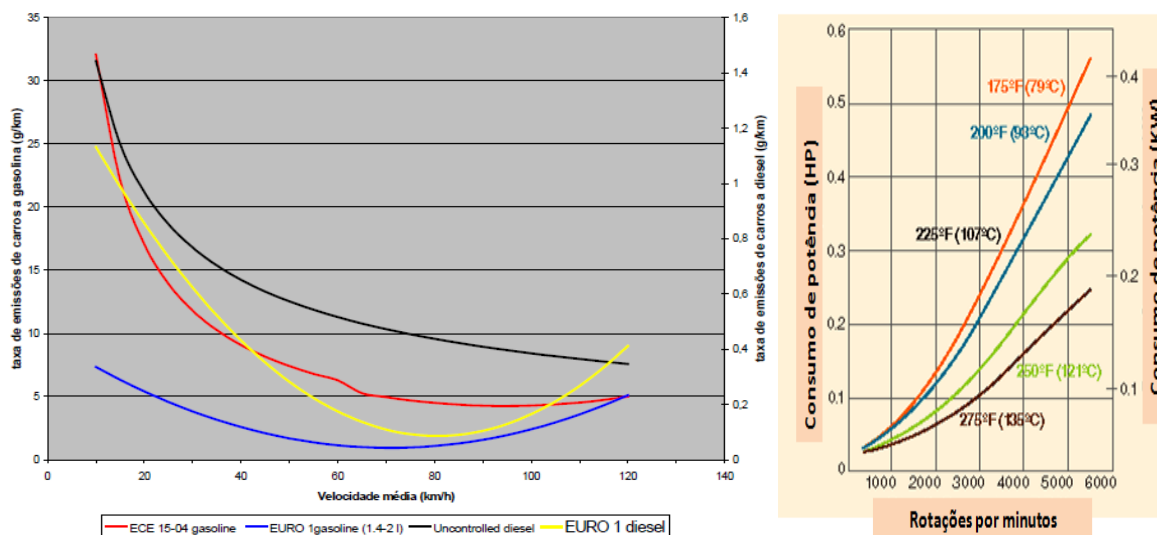
3.4.4 Classes de veículos

A metodologia **COPERT IV** considera a divisão em 99 classes, em função das tecnologias de emissão (EURO 1/EURO 2) e a legislação ambiental (ECE/EURO) aplicada aos veículos. As classes de veículos do programa **COPERT IV** completas são apresentadas na Tabela 73 (ver Anexo IV – pág. A.99).

3.4.5 Driving Share¹⁰ (quotas em função do ambiente de condução)

O cálculo de emissões de poluentes contabiliza o tipo de ambiente de condução em que os veículos circulam. Um automóvel tem diferentes comportamentos a nível de consumos e de emissão de poluentes, consoante o ambiente em que circula. Os fabricantes publicam os consumos com base no regime cidade/estrada/misto¹¹ por cada 100 km. As diferenças entre consumos devem-se ao congestionamento característico das vias urbanas que, devido a sinais, passadeiras, cruzamentos, provocam emissões de poluentes e consumos de combustível superiores aos de um veículo que circule a uma velocidade óptima de 80 km/h. Por sua vez, o comportamento em AE exige mais do motor, pois atinge altas velocidades, como se pode observar no Figura 27 (quanto maiores as rotações por minuto, maior o consumo e a emissão de poluentes). A mesma figura ilustra a grande quantidade de poluentes emitidos a baixas velocidades. É de referir o aumento que se verifica na quantidade de poluentes emitidos a partir de velocidades acima dos 80 km/h nos veículos de tecnologias de emissão mais recente. Com base nestes comportamentos de consumo e na emissão de poluentes característicos dos automóveis com propulsão a motor de explosão, é necessário indicar as percentagens de percurso percorrido pelos veículos para simular a quantidade de emissões da frota automóvel em Portugal.

Figura 27 - Relações emissões velocidade e relação RPM/consumo



Fonte: (Maintenaceresources, s.d.)

A metodologia Copert IV adopta os valores da Tabela 9 para os veículos a gasolina com peso inferior a 2,5 toneladas.

¹⁰ Tipos de ambiente de estrada pelo qual o veículo passa durante uma viagem sejam por exemplo: rural, urbano ou auto-estrada.

¹¹ Por exemplo o veículo *Peugeot 407 SW 1.6 HDI* consome 6,8/4,4/5,3 L/100km de gasóleo (cidade/estrada/misto).

Tabela 9 – Percentagem de repartição das viagens por ambiente de condução por motorização

Motorização	Urbano (%)	Rural (%)	Auto-estrada (%)
< 1,4 L	24	68,80	7,20
1,4 – 2,0 L	24	68,80	7,20
>2,0 L	24	68,80	7,20

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

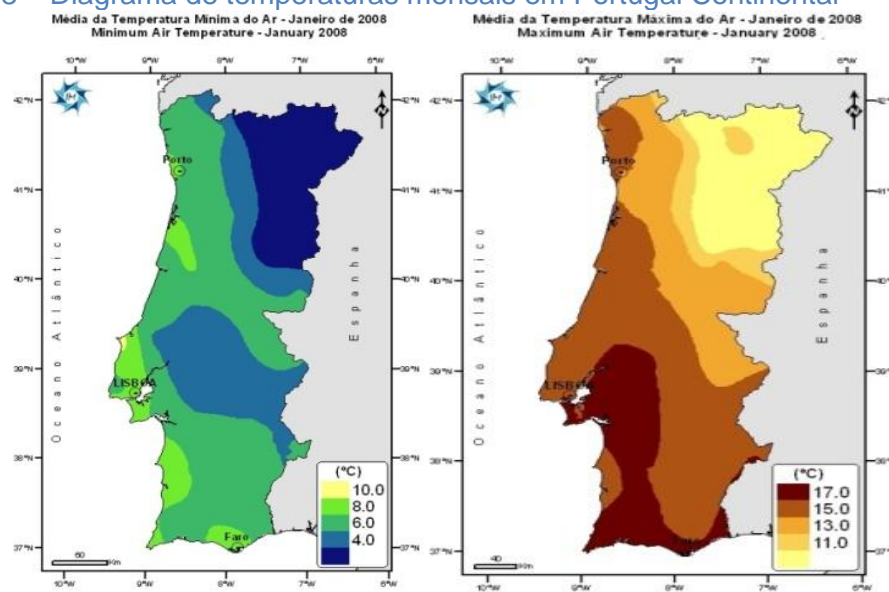
3.5 Dados específicos relativos a Portugal

3.5.1 Temperatura

A temperatura média mensal é um dado importante para a quantificação das emissões de veículos. Esta representa uma variável muito importante nos três tipos de emissões evaporativas, nas sobre-emissões de emissões a frio¹² que caracterizam os veículos de tecnologia convencional que são dependentes da temperatura ambiental e no cálculo da percentagem de quilometragem feita com motor a frio (Ntziachristos e Samaras, 2000).

Em Portugal os dados foram recolhidos através dos diagramas mensais de temperaturas para a zona de estudo como se observa na Figura 28 (Instituto de Meteorologia, IP, 2008).

Figura 28 – Diagrama de temperaturas mensais em Portugal Continental



Fonte: (Instituto de Meteorologia, IP, 2008)

¹² Os motores são definidos como “quentes” ou “frios” se a temperatura da água está abaixo dos 70°C.

3.5.2 Pressão de vapor de REID (RVP)

A pressão de vapor corresponde à pressão de um vapor confinado em equilíbrio com o seu líquido a uma dada temperatura. É, portanto, uma medida da volatilidade do líquido. A pressão de vapor de uma gasolina, e de outros produtos voláteis do petróleo, é vulgarmente referenciada como Pressão de Vapor de Reid (RVP). A RVP é muito útil na previsão das prestações sazonais da gasolina (no Inverno são necessárias altas volatilidades, e no Verão baixas volatilidades), assim como na sua tendência para perdas evaporativas em tanques de veículos. (Laboratórios de Engenharia Química, 2008). As emissões diurnas estão associadas à variação diurna da temperatura ambiente, resultante da expansão do vapor no tanque de gasolina, que evapora para a atmosfera. À noite ocorre a contracção do vapor e o ar fresco entra no tanque, o que diminui a concentração de hidrocarbonetos e conduz a uma evaporação adicional. Os valores de RVP são especificados no **Decreto-Lei n.º 254/2001 de 22 de Setembro** (ver Anexo III – pág. A.88).

A pressão de vapor de Reid é expressa em kPa, e intervém no:

- ✓ Factor de emissões evaporativas para perdas diurnas de gasolina em veículos equipados com tanques de metal;
- ✓ Factor de emissões evaporativas com o veículo em circulação com o motor a quente;
- ✓ Factor de emissões em repouso do veículo com motor quente/frio.

3.5.3 Melhoria dos combustíveis

O efeito do uso de combustíveis melhorados nas tecnologias actuais e do futuro tem um impacto considerável nas emissões poluentes dos veículos. Desde a década de 90, a UE congregou esforços para a redução deste tipo de poluição, a partir de 2000 conseguiu impor normas restritivas para limitar os perigos dos combustíveis e incentivar o desenvolvimento de veículos menos poluentes. O programa **Auto-Oil** foi desenvolvido com o objectivo de tornar obrigatórias as normas de qualidade dos combustíveis e os valores limite das emissões poluentes (Parlamento Europeu, 2004).

Foram introduzidas regulações nas especificações de combustíveis como:

- ✓ O nível de benzeno foi reduzido de 5% para 1% e os aromáticos da indústria de 48% para 42%.
- ✓ Proibição da venda de combustíveis com chumbo na sua composição.
- ✓ O máximo nível de enxofre nas gasolinas e gasóleos foi limitado a 50mg/kg em 2005.
- ✓ A especificação indica que a partir do dia 1 de Janeiro de 2009 as gasolinas e gasóleos têm de ser livres de enxofre (Dieselnet, 2009).

Esta mudança nas especificações dos combustíveis resultou numa redução das emissões dos veículos, como seria esperado. Por essa razão, a Directiva Euro III conseguiu ser cumprida pela indústria automóvel. A metodologia do **Copert IV** usa as especificações das Tabelas 10 e 11. A **Directiva 2009/30/EC** (ver Anexo III – pág. A.89) define as especificações dos combustíveis.

O efeito da melhoria das especificações dos combustíveis em veículos com tecnologias anteriores ao ano 2000 é simulado através factores de correcção.

Tabela 10 – Especificações da gasolina

Propriedade	Combustível 1996	Combustível 2000	Combustível 2005
Enxofre [ppm]	165	130	40
RVP [Kpa]	68 (Verão) 81 (Inverno)	60 (Verão) 70 (Inverno)	60 (Verão) 70 (Inverno)
Aromáticos [vol,%]	39	37	33
Benzeno [vol, %]	2,1	0,8	0,8
Oxigénio [wt %]	0,4	1,0	1,5
Olefinas [vol, %]	10	10	10
E100 [%]	52	52	52
E100 [%]	86	86	86
Chumbo [g/l]	0,005	0,003	0,003

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

Tabela 11 – Especificações do gasóleo (COPERT IV)

Propriedade	Combustível 1996	Combustível 2000	Combustível 2005
Número de Cetano ¹³ [-]	51	53	53
Densidade 15 °C [kg/m ³]	840	840	835
T ₉₅ [°C]	350	330	320
PAH [%]	9	7	5
Enxofre [ppm]	400	300	40
Total Aromáticos [%]	28	26	24

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.5.4 Inspeção

A inspeção é um acto de verificação do estado do veículo, que se efectua de modo a garantir a segurança rodoviária de todos os utilizadores na estrada. É regulamentada através do **Decreto-Lei n. 550/99** (ver Anexo III – pág. A.89), de 15 de Dezembro (IMTT, 2008). A inspeção tem um papel preponderante na manutenção da durabilidade dos equipamentos de controlo de emissões dos veículos, para isso usa controlos de emissão de

¹³ O número de cetano mede a qualidade de ignição de um combustível para a máquina a gasóleo e tem influência directa na partida do motor e no seu funcionamento em carga

poluentes, como o analisador de gases de escape para veículos a gasolina e opacímetro¹⁴ para veículos a gasóleo. O controlo de emissões deve ser feito ao longo da vida útil dos veículos e os fabricantes devem produzir veículos similares ao veículo que faz o teste de aprovação e que garante o controlo de emissões durante a vida útil do veículo.

A **Directiva 92/55/CEE** (ver Anexo III – pág. A.89) especifica os testes de emissão de poluentes em duas condições, de baixa rotação e alta rotação. No futuro, caso seja introduzida uma melhoria nos sistemas de controlo de emissões, como um teste que possa medir o dióxido de carbono produzido pelo veículo, o COPERT IV tem uma aplicação que permite simular os níveis de emissão nos veículos de tecnologias mais antigas, nos veículos sujeitos a melhorias dos seus sistemas de controlo de emissões. Este efeito foi simulado com a correcção dos factores de degradação propostos, sendo utilizado para projecções no futuro e não no ano base (2009) de estudo (Ntziachristos e Samaras, 2000).

3.5.5 Degradação derivado ao aumento da quilometragem da frota

O aumento da quilometragem aumenta o desgaste e deterioração do veículo e, com isso, as emissões que este produz, sendo que esta situação é bastante mais significativa nos veículos com idades mais elevadas. Através da observação da Tabela 12 pode comprovar-se esta afirmação, pelo aumento dos níveis de HC, CO e NOx.

Tabela 12 – Aumento da emissão de poluentes por aumento da quilometragem dos veículos

Quilometragem (milhas)	Leituras de emissões (g/milha)	
0 – 5.000 (1990)	HC	0,4
	CO	3,0
	NOx	1,0
48.957	HC	0,21
	CO	4,6
	NOx	0,9
68.465 (12/1996)	HC	0,27
	CO	6,7
	NOx	1,3
82.573 (1/1999)	HC	0,80
	CO	13,0
	NOx	1,7

Fonte: (AirCareColorado, 1999)

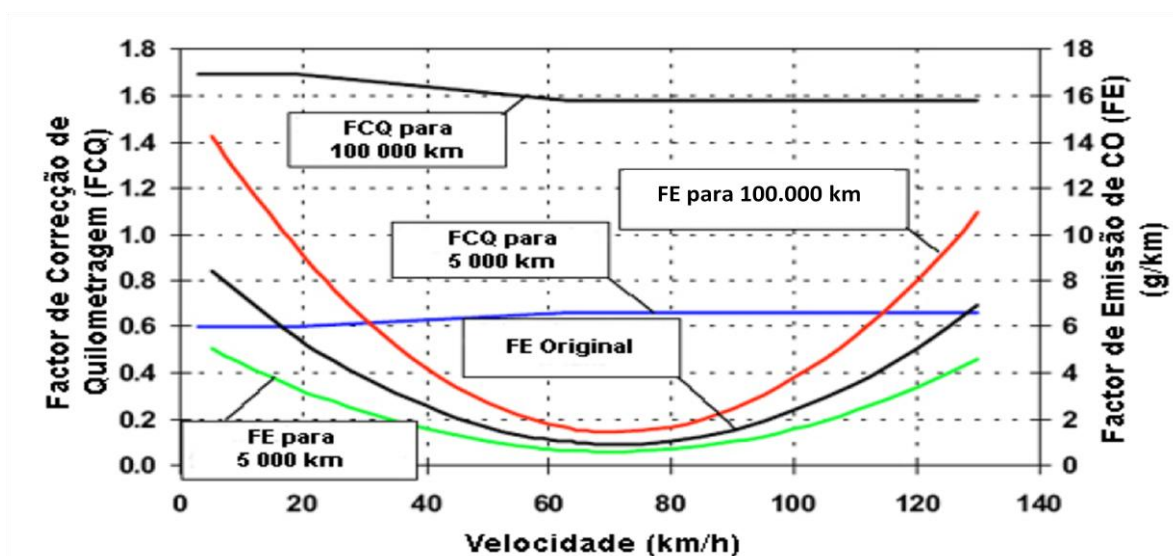
¹⁴ O opacímetro é um instrumento concebido para medir a opacidade das partículas de fumo através do princípio da extinção da luz. As partículas de fumo são negras, absorvendo toda a luz que sobre elas incide (Despacho n.º 22667/2007).

Os factores base propostos pela metodologia **Copert IV** correspondem a uma frota com quilometragem média entre 30.000/60.000 km e um factor de degradação por quilómetro associado. A partir de uma determinada quilometragem a taxa de incremento das emissões tende a estabilizar. A metodologia empregue sugere que a partir dos 120.000 km a taxa de incremento de emissões estabiliza.

A degradação do nível de emissões produzidas pelos veículos, derivada do aumento da quilometragem da frota automóvel, é modelada por factores de correcção de degradação. No entanto, por uma questão de consistência entre estados membros é proposto não introduzir correcções quando se faz um inventário de emissões em anos superiores ao ano 2000, devido à idade recente da frota automóvel. Na eventualidade de fazer projecções para o futuro com dados consistentes e validados da frota, deve ser usada esta opção para ter resultados coerentes com a realidade (Ntziachristos e Samaras, 2000).

O efeito da velocidade na degradação de emissões é tomado em conta por combinação das linhas de degradação observadas em dois ciclos. O ciclo extra-urbano (EUDC = $V > 63$ km/h) e urbano (UDC = $V < 19$ km/h). As emissões resultantes da degradação proposta para a velocidade diferente dos ciclos (intervalo [19 – 63] km/h) são independentes da velocidade. A interpolação entre as velocidades registadas no ciclo urbano e extra-urbano permite calcular a emissão na zona intermédia. O Figura 29 ilustra um exemplo do efeito combinado entre a quilometragem e a velocidade nas emissões de CO para veículos de passageiros a gasolina com cilindrada inferior a 1,4 cc. Esta informação decorre dos resultados dos ciclos de testes de veículos em meio urbano (UDC) e meio extra-urbano (EUDC).

Figura 29 - Factor de correcção da quilometragem e factor de emissão de CO em função da velocidade



Fonte: (MEET, 1998)

3.5.6 Declive

O declive é um factor muito importante para os veículos pesados. Dependendo do declive da estrada, os veículos têm comportamentos contrários. No caso de um declive positivo, a resistência à tracção do veículo aumenta, com um declive negativo, acontece precisamente o contrário. Nesta situação, a potência a ser empregue pelo veículo para vencer o declive é preponderante para a definição das emissões do veículo (Ntziachristos e Samaras, 2000).

As emissões de poluentes e o consumo de combustíveis dos veículos ligeiros e pesados são afectadas pelo declive da estrada. No entanto, quando comparados veículos ligeiros e pesados, os ligeiros têm mais facilidade em vencer o declive do que os pesados. Devido à sua massa, o efeito do declive tem uma influência muito significativa no caso dos veículos pesados e uma preponderância pequena no caso dos veículos ligeiros. Por esse motivo, e tendo em conta as incertezas relacionadas com os FE, o efeito do declive é apenas contabilizado na metodologia **COPERT IV** para os pesados.

Foram introduzidos factores de declive especiais para cada categoria de veículo pesado, consoante o seu peso. Estas correcções são função de características como:

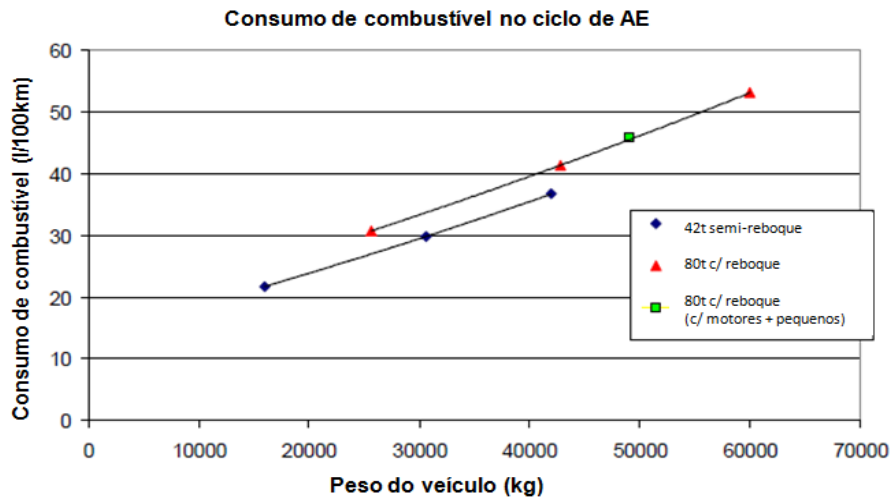
- ✓ Massa do veículo;
- ✓ Declive;
- ✓ O poluente ou consumo;
- ✓ Velocidade média do veículo.

Os veículos pesados têm um comportamento diferente numa subida ou descida consoante o peso que têm, devido à potência do motor, como evidencia a Figura 30, em que se verifica que o aumento do peso implica maior consumo de combustível. Para cada classe de peso de veículos pesados existem equações específicas para calcular o efeito do declive na emissão de poluentes. Como se pode observar na Figura 31 é perceptível a correlação entre as emissões de poluentes e o declive em relação a um veículo pesado. A Figura 32 indica a influência do declive na potência que o veículo tem de despender para vencer esse mesmo declive.

Para representar as condições actuais foram criadas quatro classes de declive de estrada (ver Tabela 13). O declive influencia a emissão dos principais poluentes (CO, COV, NOx, PM), assim como o consumo de combustíveis. O factor *declive* só deve ser usado nos países onde os dados estatísticos permitam uma distinção da quilometragem percorrida em declives positivos¹⁵ e negativos.

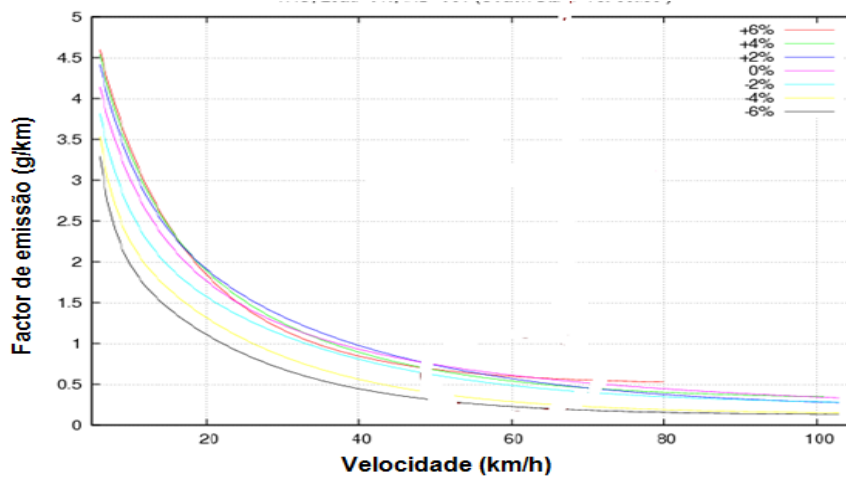
¹⁵ O declive positivo indica um declive de subida e o negativo o contrário.

Figura 30 - influência da massa dos veículos nas emissões produzidas (INRETS)



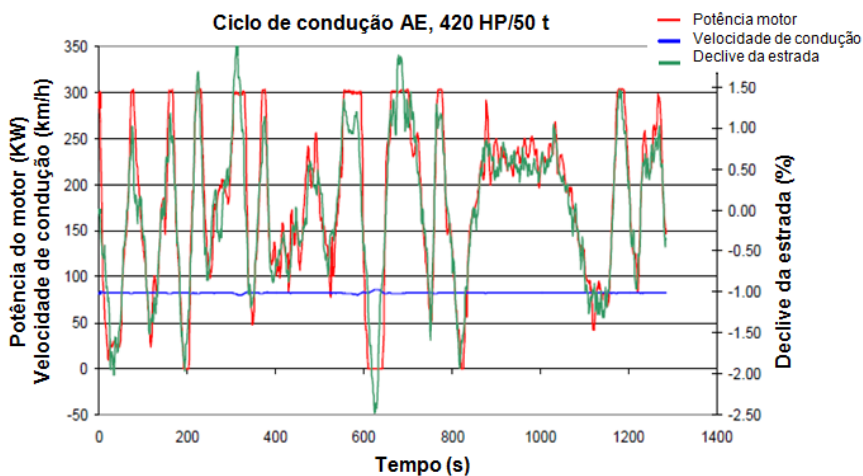
Fonte: (Joumard e Sérié, 1999)

Figura 31 - Relação entre emissões, declive e velocidade



Fonte: (Joumard e Sérié, 1999)

Figura 32 - Relação entre potência do motor e o declive da estrada



Fonte: (Joumard e Sérié, 1999)

Tabela 13 – Influência do declive

Condições de Condução	Declive da Estrada
Subida	0...4%
Subida íngreme	4...6%
Descida	-4...0%
Descida íngreme	-6...-4%

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.5.7 Carga

Os factores de emissão e consumo usados para veículos pesados são representativos somente para veículos parcialmente carregados, isto é, um factor de carga de 50% é tomado em conta.

Para o mesmo percurso percorrido, o motor precisa de mais ou menos potência consoante a carga que transporta. Como exemplifica o Figura 114 (ver Anexo II – pág. A.83), quanto menor a carga a transportar, menor a potência que o motor tem de fornecer e menor o consumo de combustível.

A metodologia é apenas aplicada a veículos pesados, como é evidente, nesta categoria de veículos o transporte de carga é muito espectável, pois estes veículos têm a função de transporte de mercadorias. Para os veículos ligeiros este efeito não é quantificado. O factor de emissão de poluentes é calculado para uma carga de 50%, ou seja, um acréscimo de 50% na capacidade total de carga do veículo. Dado que nem todos os veículos pesados de mercadorias transportam uma carga de 50%, existe uma correcção que é feita pela metodologia **Copert IV**, exemplificada na Tabela 72 (ver Anexo IV – pág. A.99).

3.6 Síntese Global da abordagem metodológica

A abordagem metodológica adoptada está representada de forma resumida na Tabela 14.

Tabela 14 – Resumo da metodologia a adoptar no estudo

Urbana	Tarefa	Inputs	Output
Passo 1	Criar a rede no Software ArcGis	Cartas 1:25.000 Imagens Google Earth	Geometria da rede Definição de zonas

Urbana	Tarefa	Inputs	Output
Passo 2	<p>Modelo de afectação no Visum para a rede modelada</p> <p>"$a = n \times l$"</p>	<p>Matriz O/D</p> <p>Geometria da Rede</p> <p>Zonas/centróide/conectores</p> <p>Dados estatísticos de tráfego</p>	<p>Volume de tráfego</p> <p>Velocidade média dos veículos</p> <p>Distribuição dos veículos por classes</p> <p>Comprimento do troço da estrada</p> <p>Distância média percorrida pelos veículos "n"</p> <p>Distribuição dos veículos por categorias "l"</p>
Passo 3	<p>Uso dos inputs do Visum no Software de emissões Copert IV</p> <p>"$E = a \times e$"</p>	<p>Factores que influenciam os F.E. "e"</p> <p>Distância média percorrida</p> <p>Distribuição dos veículos por categorias</p> <p>Distribuição dos veículos por classes</p> <p>Distribuição dos veículos por idade</p> <p>Tempo médio de viagem</p> <p>Velocidade média do veículo por tipo de ambiente de estrada</p> <p>RVP</p> <p>Temperatura</p> <p>Manutenção</p> <p>Quantidade e características do combustível</p> <p>Quilometragem anual</p> <p>Distribuição da quilometragem por ambiente de condução</p> <p>Declive</p> <p>Carga</p> <p>Degradação do veículo devido ao aumento da quilometragem</p>	<p>Emissões por poluente</p> <p>Emissões a quente</p> <p>Emissões a frio</p> <p>Emissões evaporativas</p> <p>Emissões totais</p> <p>"E"</p>

Fonte: Autor com base em (Ntziachristos e Samaras, 2000)

3.7 Validação e calibração

A calibração e validação de um modelo são sempre o passo final de qualquer trabalho na área de modelação. Segundo *Trotter* (2006), a calibração é o processo de ajuste do modelo para assegurar que os fluxos de tráfego, rotas e padrão de mobilidade correspondem ao comportamento observado. Segundo o mesmo autor, a validação consiste na verificação dos dados de saída do modelo contra informação recolhida de forma independente para assegurar que o modelo calibrado é robusto. A calibração de modelos de mobilidade e ambiental pode ser feita de forma conjunta mas a validação terá de ser feita de forma

separada, esta situação deve-se ao facto de o modelo ambiental trabalhar com outputs do modelo de tráfego e os dados terem de ser validados de forma independente.

O modelo ambiental utiliza os *outputs* do modelo de tráfego, isto faz, com que, a calibração de sub-modelos como o gravitacional ou logit¹⁶ envolva a estimação de coeficientes e constantes da estrutura do modelo de transportes. A estimação de coeficientes e constantes é, normalmente, feita através da resolução de equações dos sub-modelos para calcular os parâmetros relevantes. Estes resultados são comparados com observações *in loco* dos valores das variáveis dependentes e independentes estudadas, que são obtidos, por exemplo, através de inquéritos à população acerca dos seus comportamentos de viagem. Basicamente, pretende-se comparar os resultados do modelo de transportes e os resultados da pesquisa de campo (inquéritos à população), e avaliar se a modelação feita é representativa da realidade.

O processo de calibração dos coeficientes consiste num processo de experimentação e erro, que procura os valores dos parâmetros que têm maior probabilidade de ser precisos na tolerância aceitável de erro. A calibração pode ser feita através de outros estudos feitos em áreas idênticas à analisada. Depois da calibração dos parâmetros ser feita com valores satisfatórios, é necessário fazer a validação destes, para assegurar que precisam a estimação dos volumes de tráfego adequados. A verificação do modelo calibrado, através da validação, estabelece a credibilidade do mesmo, demonstrando a sua habilidade para replicar os comportamentos de tráfego estudados ou, no caso do modelo de emissões, conseguir comparar os resultados com a informação disponível de consumo de combustíveis e inventários de emissões nacionais. A validação requer a comparação entre o tráfego estimado e o tráfego observado (Institute of transportation Engineers, 1992).

A validação de emissões de poluentes poderá ser muito complexa, pois acarreta um número de variáveis enorme desde aceleração, desaceleração, declive, cargas, temperatura, que têm de ser simplificadas para conseguir obter uma estimação próxima da realidade. A validação nestes modelos é possível e são adoptados diferentes métodos, desde estudos em túneis, a estudos com sensores que registam emissões. No entanto, a sua aplicabilidade é muito específica e não pode ser generalizada, sendo utilizada num tipo de estrada e tráfego específico.

¹⁶ Modelos de escolha discreta, usados na modelação da repartição modal dos transportes, estes modelos superam as limitações de modelos de probabilidade linear.

Capítulo IV – Estudo de Casos

No Capítulo IV apresenta-se a síntese do estudo de dois casos que têm como objectivos aplicar e validar a abordagem metodológica desenvolvida em duas áreas com características de mobilidade diferentes. No Anexo I encontra-se a descrição detalhada dos dois casos, bem como os resultados globais. Ambos os estudos requerem uma análise exaustiva às múltiplas variáveis que definem a metodologia adoptada.

4.1 Estudo de caso interurbano

A integração dos modelos de emissões com processos de afectação de tráfego é uma ferramenta que as autoridades devem empregar, nas decisões de foro ambiental e de saúde pública. A principal função dos modelos de emissões consiste em calcular indicadores que permitam às autoridades desenvolver políticas e testar os efeitos dessas políticas, tendo em vista o alcance de um planeamento que consiga assegurar a sustentabilidade ambiental, equidade e eficiência do uso dos meios de transporte. A integração entre modelos de tráfego e ambientais consiste num sistema de suporte básico das autoridades que constantemente procuram novas formas de melhoria da eficiência dos transportes, da energia e do ambiente.

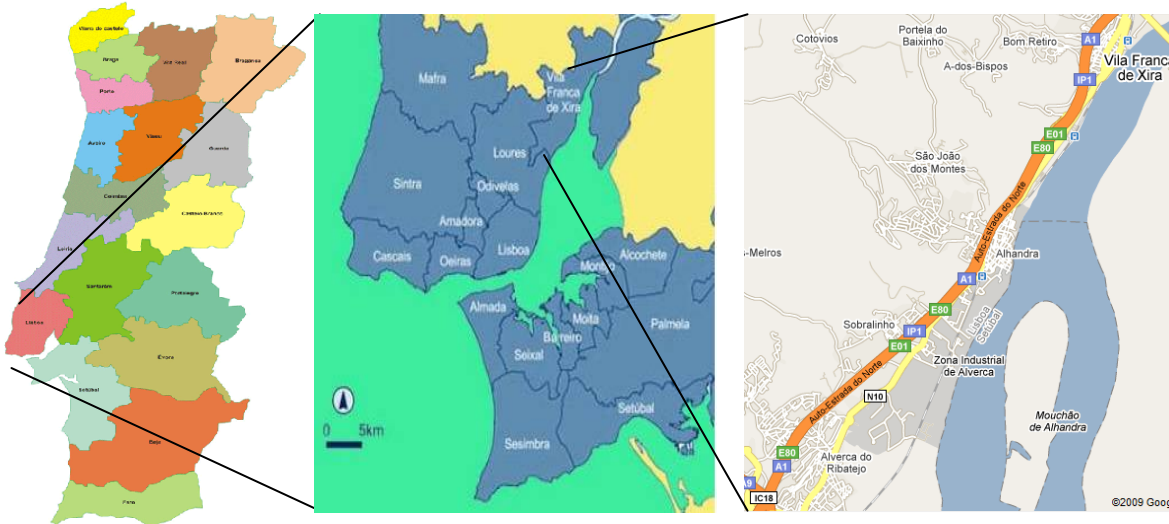
Esta secção tem por objectivo apresentar a síntese de uma aplicação prática da abordagem metodológica proposta. Pretende-se analisar uma área interurbana de modo a qualificar e quantificar os impactes decorrentes da actividade dos transportes rodoviários nesta área. A abordagem metodológica apresentada nos capítulos anteriores será suportada pelos estudos de caso apresentados. Pretende-se realizar uma análise, tirar conclusões e conseguir encontrar diversas soluções que possibilitem a melhoria dos impactes decorrentes do uso dos transportes.

4.1.1 Área de estudo

A área de estudo desenvolve-se dentro do concelho de Vila Franca de Xira, no distrito de Lisboa, está integrada na região de Lisboa (NUT II), na Grande Lisboa (NUT III). Esta estende-se numa área entre as coordenadas geográficas 38°53'15.34" e 38°58'11.27" de latitude Norte e os 9° 3'17.57" e 8°58'47.88 de longitude Oeste. A infra-estrutura em estudo pertence ao sublanço da auto-estrada do Norte, A1, e desenvolve-se entre as portagens de Alverca e as portagens de Vila Franca de Xira, numa extensão total de 12 quilómetros. A AE Norte, A1, consiste numa infra-estrutura com três vias em ambos os sentidos, que é utilizada

diariamente por milhares de condutores e considerada uma ligação fundamental no país por ligar o Norte ao Sul por via rodoviária. A Figura 33 ilustra a localização da área de estudo.

Figura 33 - Área de estudo interurbano



Fonte: (Cuco Autogas, 2007)

4.1.2 Procedimento de cálculo

O modelo de emissões necessita de um conjunto de dados de entrada (*inputs*) que requerem um grau de certeza elevado com a finalidade de alcançar resultados de qualidade. Estes dados não são fáceis de obter e, muitas vezes, são necessários cálculos intermédios para estimar valores que têm um grau de incerteza envolvido.

O esquema do procedimento de cálculo proposto para o estudo da área inter-urbana está enunciado na Figura 34.

Figura 34 - Esquema do procedimento de cálculo usado no estudo na área interurbano



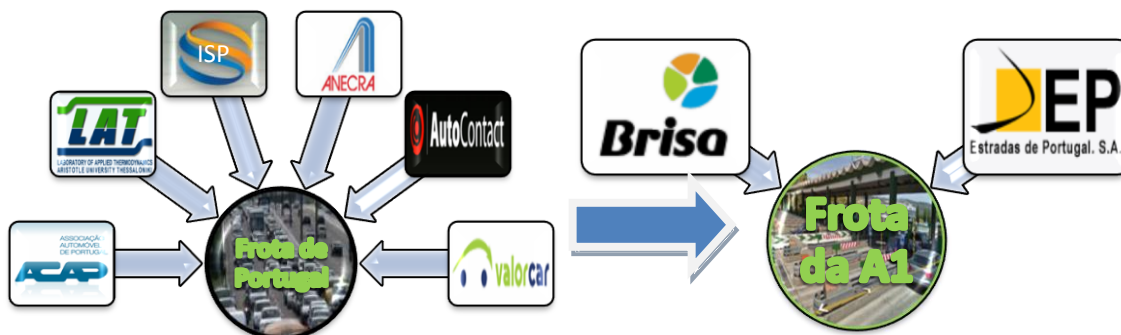
Fonte: Autor com base (Ntziachristos e Samaras, 2000)

4.1.3 Dados de Frota

Os dados de frota são de grande importância e são determinantes para a qualidade das estimativas de emissões que se pretendem modelar. Estes dados requerem estudos aprofundados, com recurso a meios telemáticos de monitorização do tráfego, a dados dos centros de inspeção ou a inquéritos à população, com o intuito de se conseguir uma população representativa de veículos o mais próximo da realidade possível. Esta análise pretende “construir” um modelo de frota automóvel, que se baseie em dados estatísticos e de contagens de tráfego disponibilizados por autoridades idóneas e independentes.

O esquema de criação da frota modelo que utiliza a AE do Norte (A1), segue o processo descrito na Tabela 15 e permite caracterizar a frota de veículos da AE, seguindo uma estrutura semelhante à do modelo da frota automóvel nacional.

Tabela 15 – Esquema da criação da frota da A1



Fonte: Autor com base (LAT, 2008)

4.1.3.1 Dados de tráfego da A1 - Norte

Os dados de tráfego pretendidos para o estudo da zona interurbana, foram obtidos a partir do *site* da EP (EP, 2009). O troço da AE escolhido foi o sublanço entre Alverca e Vila Franca de Xira. Este troço dispõe de aparelhos de contagem de tráfego (VPR no ponto quilométrico (pk) 17,87) que quantificam as contagens das portagens de Alverca e Vila Franca de Xira em ambos os sentidos. Estas contagens são feitas, tendo por base, a classe do veículo. As contagens analisadas são apresentadas na Tabela 31 e 32 (ver Anexo I – pág. A14).

4.1.3.2 Frota de veículos da A1 - Norte

Assume-se que a frota no modelo obedece ao critério da proporcionalidade directa com a frota nacional (ver Tabela 33 - Anexo I, pág. A.15).

4.1.4 Dados de Mobilidade

Os dados de mobilidade correspondem ao input no modelo da produção de transportes efectuada pela frota analisada, sendo representativa da grandeza “a” da equação base de cálculo de emissões ($E=e.a$).

4.1.4.1 Distância média percorrida

A distância média percorrida corresponde à distância entre portagens (Alverca-VFX), ou seja, 12 km.

4.1.4.2 Quilometragem efectuada anualmente

Dado que o estudo apenas se resume à via inter-regional, a quilometragem anual neste caso corresponde à distância média percorrida por ano pelos veículos na via de estudo, ou seja, 4.380 km/ano.

4.1.4.3 Velocidade média

As velocidades médias adoptadas são as dispostas na Tabela 16, estão dispostas por classe de veículo, e baseiam-se nos registos telemáticos de velocidade de tráfego da EP.

Tabela 16 Velocidades médias utilizadas no estudo interurbano

Tipo de veículo	Velocidade (Km/h)
Veículos ligeiros	110
Motociclos	110
Veículos Pesados	90

Fonte (EP, 2009):

4.1.4.4 Quotas de quilometragem em função do ambiente de condução

O caso de estudo desenvolve-se totalmente em ambiente de AE, por esse motivo as quotas de quilometragem em função do ambiente de condução é totalmente destinada só para este tipo de vias.

4.1.5 Parâmetros específicos do país

Os parâmetros associados às características singulares de cada país dizem respeito às condições climáticas e legais de cada país.

4.1.5.1 Dados de temperatura

Os dados de temperatura (Tabela 40 – Anexo 1, pág. A.30) foram obtidos para a zona de estudo, através do *site* do IM. As temperaturas analisadas contabilizam todas temperaturas mínimas e máximas registadas na zona de estudo para todos os meses de 2008.

4.1.5.2 Pressão de vapor de Reid (RVP)

Os valores de pressão de Reid são expressões segundo o Decreto-Lei nº 104/2000 e estão dispostos na Tabela 41 (ver Anexo I – pág. A.30).

4.1.5.3 Declive

O declive médio da zona interurbana foi estimado através dos pontos altimétricos das portagens analisadas. Os declives adoptados por sentido de tráfego são os expostos na Tabela 17.

Tabela 17 Declive da zona de estudo por sentido de tráfego

Sentido de tráfego	Declive
Norte/Sul	+2%
Sul/Norte	-2%

Fonte: Autor com base (Google, 2010)

4.1.5.4 Carga

A carga usada por veículo foi admitida como metade do peso que o veículo transporta, este factor influencia simplesmente para os veículos pesados de mercadorias.

4.1.5.5 Factores de degradação derivado ao aumento da quilometragem

Nesta dissertação os factores de degradação devido ao aumento da quilometragem dos veículos são um factor a ter em conta para as estimativas de emissões.

4.1.5.6 Efeito do combustível

O efeito do combustível vai ter por base as especificações dos combustíveis para o ano de 2005. Este ano foi o de referência, pois foi o último, em que ocorreram modificações na composição dos combustíveis no mercado de combustíveis para o sector rodoviário com o estabelecimento de limites para a gasolina (benzeno, teor de enxofre, teor de chumbo), gasóleo (índice de cetano, PAHs e teor de enxofre) e da introdução de uma percentagem de biocombustíveis nos combustíveis. É de salientar que a dissertação compromete-se em avaliar as emissões de poluentes e GEE, até ao fim do ano de 2008. As estimativas a partir de 2009 terão que obedecer ao Dec. Lei 89/2008 que regula o teor de enxofre para gasolina e gasóleo para 10 ppm e que entrou em vigor a 1 de Janeiro de 2009. O programa **COPERT IV** regista as especificações para os combustíveis desde 1996 até 2009.

4.1.6 Resultados

O modelo **COPERT IV** permite estimar para cada poluente, por tipo de veículos e tipo de via as quantidades de poluentes resultantes da actividade rodoviária. Os resultados das quantificações dos poluentes são apresentados na forma de gráfico/figura e para os indicadores ambientais na forma de tabela.

A Tabela 18 ilustra os factores de emissão na área de estudo para os diferentes poluentes calculados e dispõe os factores de emissão de poluentes para a cidade de Lisboa e AML (Tchepele O. , 2005).

Tabela 18 – Factores de emissão do estudo de caso interurbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999

Estudo de Caso	VKT [veíc.km]	FE _{CO2} [g/VKT]	FE _{CO} [g/VKT]	FE _{NOx} [g/VKT]	FE _{PM10} [g/VKT]	FE _{COV} [g/VKT]
Interurbano	294.677.640	210	2,09	1,32	0,011	0,186
AML		250	7,11	1,24	0,044	1,11
Lisboa		287	9,7	1,15	0,045	1,46

Fonte: Autor e (Tchepele O. , 2005)

A Figura 35 ilustra as quantidades de poluentes atmosféricos calculados para a zona de estudo e o Figura 36 ilustra as emissões do consumo de combustível e energia.

Figura 35 - Resultado das emissões de poluentes atmosféricos

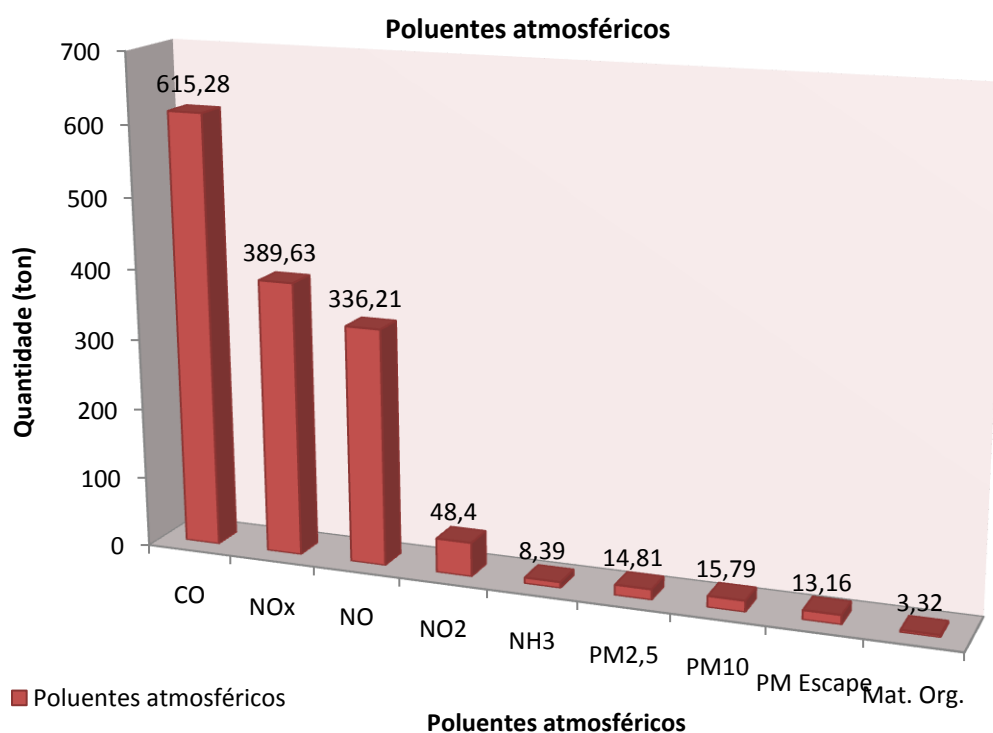
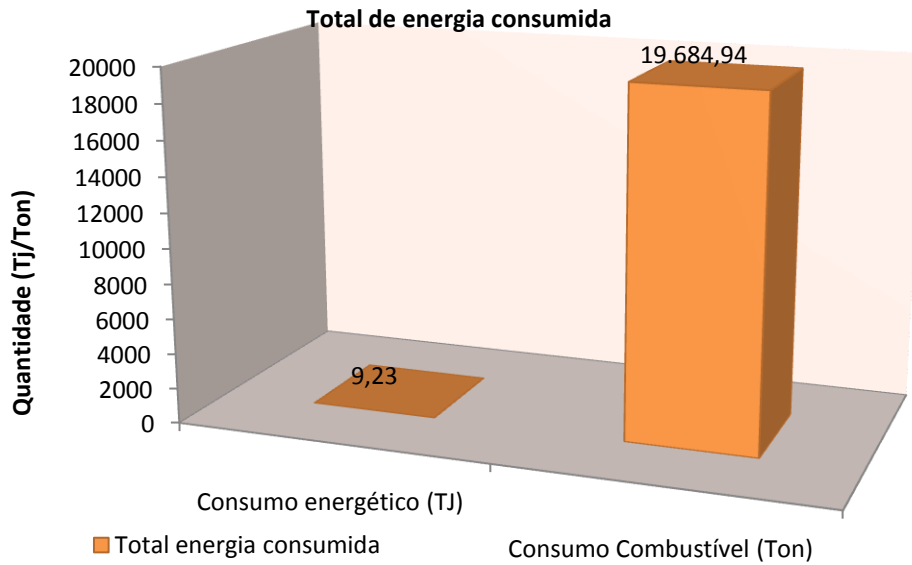
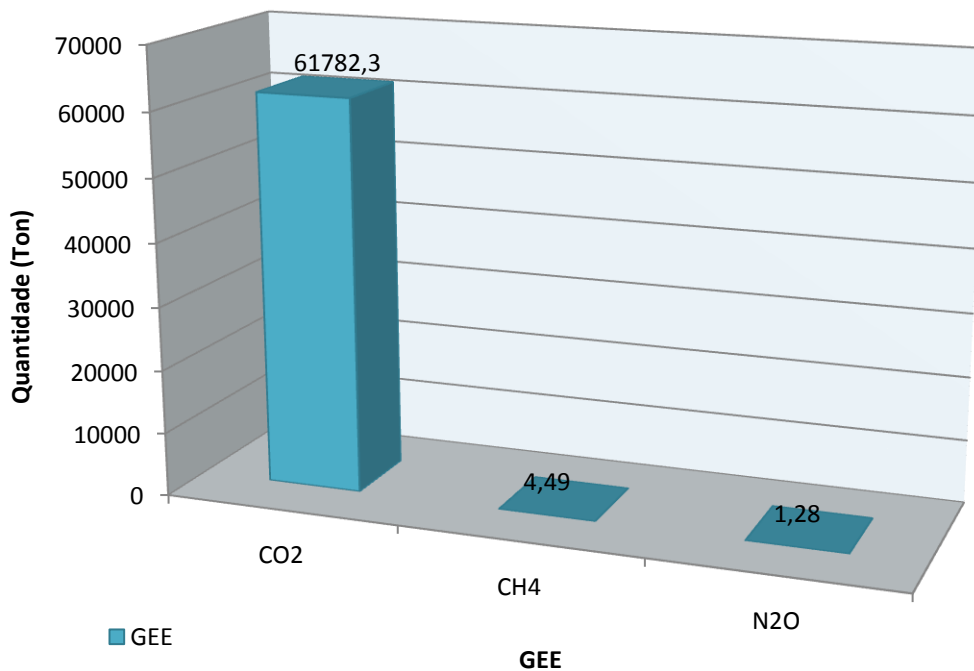


Figura 36 - Resultado das emissões consumo de combustível/energético



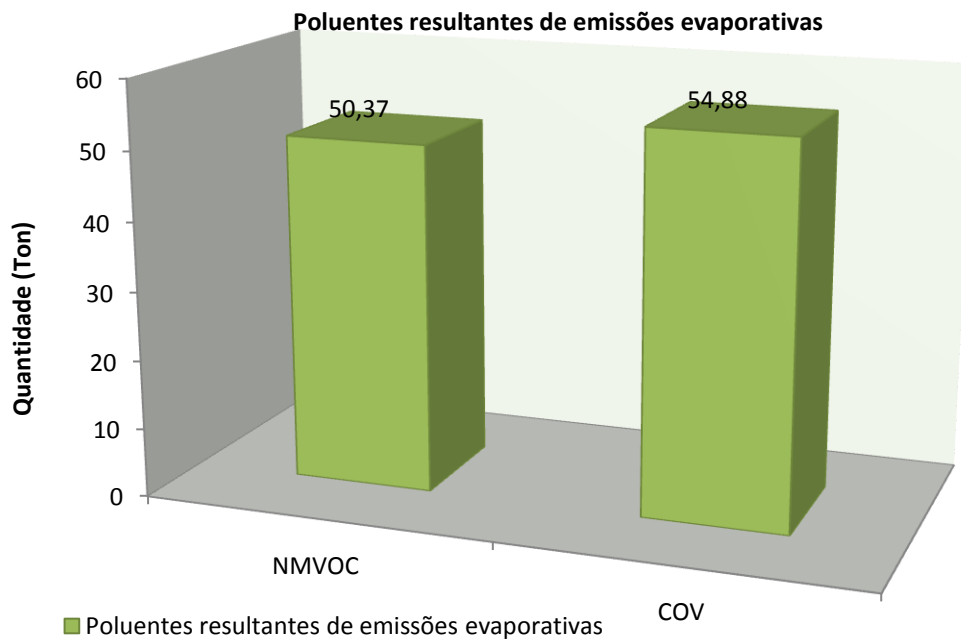
O Figura 37 ilustra as quantidades de GEE determinados para a zona de estudo.

Figura 37 - Resultados das emissões de GEE



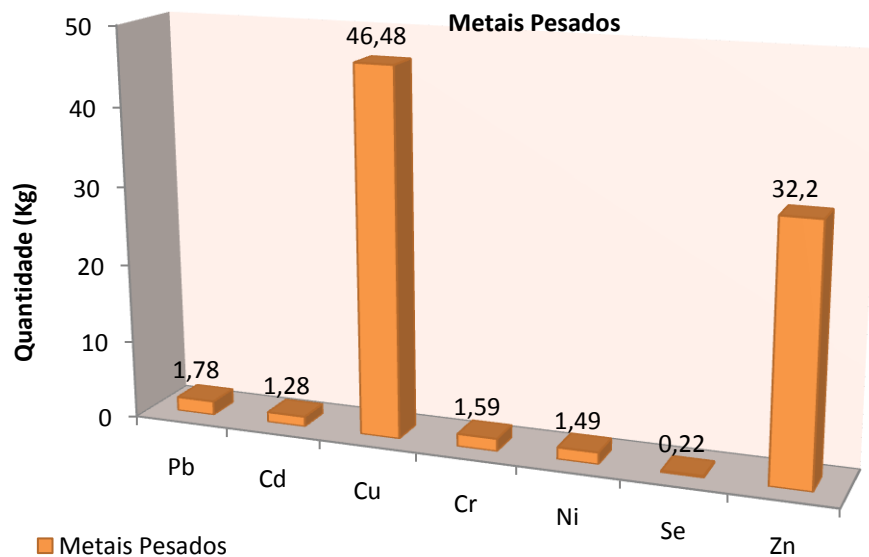
O Figura 38 ilustra as quantidades de poluentes resultantes de emissões evaporativas modelados para a zona de estudo.

Figura 38 - Resultados das emissões evaporativas



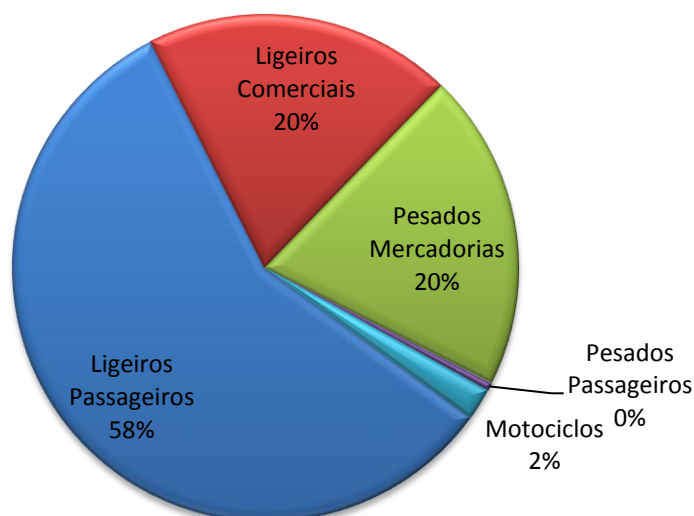
O Figura 39 ilustra as quantidades de poluentes resultantes de metais pesados modelados para a zona de estudo.

Figura 39 - Resultado das emissões de Metais Pesados



O Figura 40 ilustra a contribuição de emissões consoante a categoria do veículo na HPM para o poluente CO₂ obtidos para a zona de estudo.

Figura 40 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel



4.1.6.1 Indicadores ambientais

A Tabela 19 ilustra os indicadores ambientais calculados para a zona de estudo.

Tabela 19 – Indicadores ambientais

Indicadores ambientais	
Total de CO ₂ eq (ton) (1 ton de CO ₂ eq = 1 crédito carbono)	62.273
Nº Árvores a plantar (1 árvore absorve 1,1 ton/CO ₂ eq/ano)	56.612
Preço (1 crédito de carbono ¹⁷ = 13€ ¹⁸)	809.554 €
Área árvores (1 ha =1200 árvores)	47,2
% das emissões da área em relação ao universo de emissões de CO ₂ eq no país (Emissões CO ₂ eq totais dos transportes terrestres em Portugal = 1,88.10 ⁷ ton CO ₂ eq (APA, 2008))	0,33%

¹⁷ 1 Crédito carbono corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente

¹⁸ Valor segundo pointcarbon.com na seguinte data 24/02/2010

4.2 Estudo de caso urbano

O estudo de caso urbano consiste na aplicação da metodologia de cálculo de emissões para os transportes rodoviários que circulam numa zona urbana do município de Oeiras, usando a integração entre o modelo de transportes e o modelo de emissões. As estimativas efectuadas neste capítulo podem servir de base a um processo de avaliação das emissões na área de estudo. É feita uma análise à quantidade de poluentes emitidos, tendo em conta a distribuição espacial e temporal estudada.

4.2.1 Área de estudo

O domínio de estudo escolhido para esta dissertação foi o município de Oeiras. A opção por esta área prende-se com o facto de ter sido elaborado um estudo de mobilidade e acessibilidades no Concelho de Oeiras. O estudo foi executado, durante o ano de 2007, pela empresa **TIS.PT**, que amavelmente disponibilizou ao autor alguns dados base do mesmo.

O estudo desenvolve-se na zona a Sudoeste do concelho de Oeiras e abrange as freguesias de Algés, Linda-a-Velha, Carnaxide, Cruz Quebrada e Dafundo. A zona de estudo encontra-se no distrito de Lisboa, localizando-se na região de Lisboa (NUT II), na Grande Lisboa Norte (NUT III) e na margem direita do Tejo. Esta área é limitada pelas freguesias de Caxias a Oeste, Queijas, Carnaxide a Norte, Santa Maria de Belém e S. Francisco Xavier a Este. Esta estende-se por uma área com coordenadas geográficas entre os 38°43'31.71" e os 8°41'56.26" de latitude Norte e os 9°12'51.13" e 9°15'49.48" de longitude Oeste. A Figura 41 representa a área de estudo analisada.

Figura 41 - Área de estudo interurbano



Fonte: (Cuco Autogas, 2007)

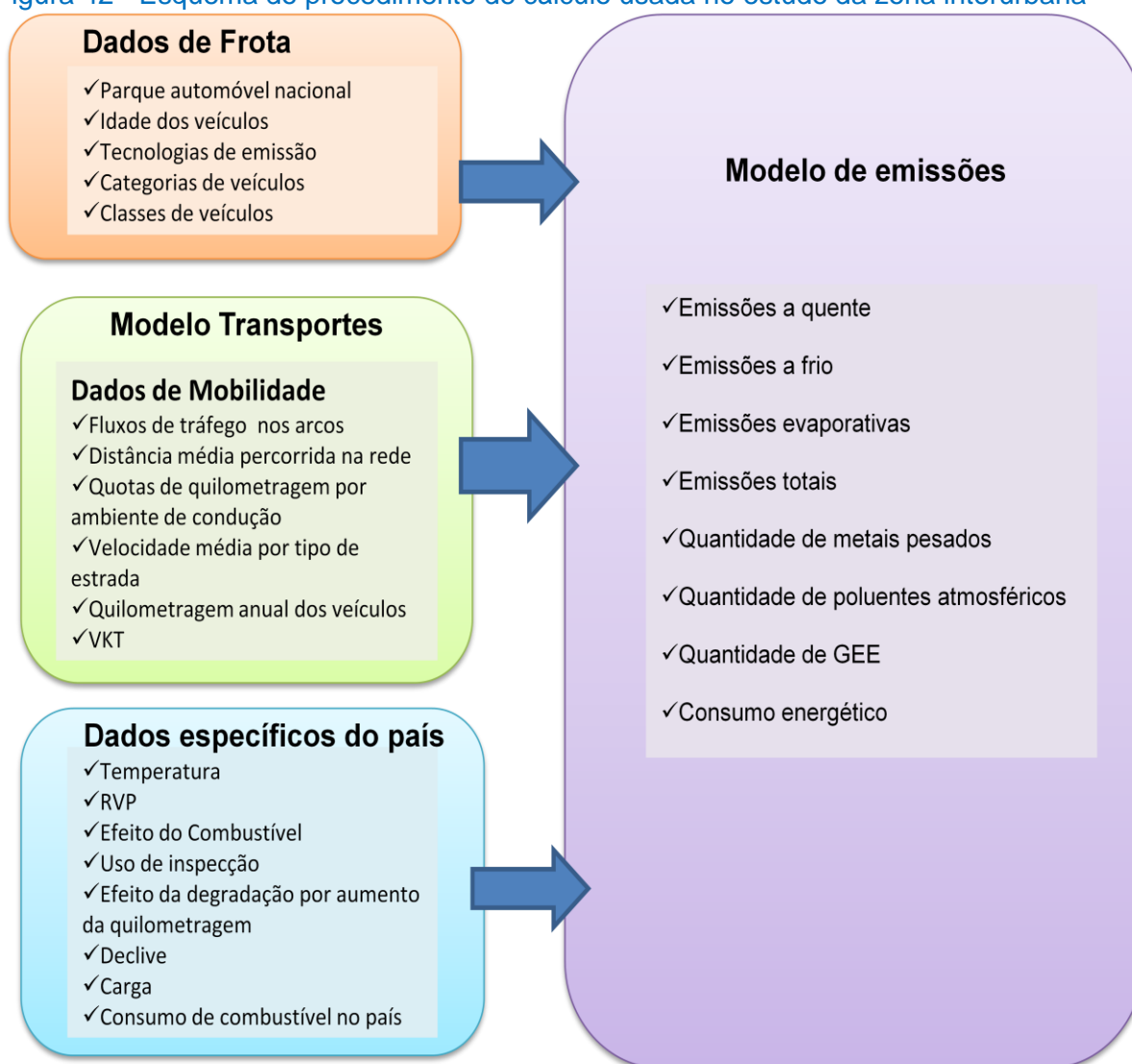
A zona urbana de estudo situa-se a 9 km de Lisboa, a 22 km de Cascais e 9 km da Amadora. A proximidade de Oeiras a Lisboa, os centros empresariais que se instalaram no concelho, e os estabelecimentos de ensino fazem desta zona, uma área de grande geração/atração de viagens. O concelho de Oeiras é um importante eixo rodoviário e está

servido por diversas vias estruturantes como: a A9 CREL, a A5, o IC17 CRIL e a EN 6. Na zona Sul do Concelho existe uma importante via ferroviária (linha de Cascais), sendo a estação ferroviária de Oeiras um interface muito importante nas viagens em TC.

4.2.2 Procedimento de cálculo

O esquema da metodologia adoptada está disposto na Figura 42

Figura 42 - Esquema do procedimento de cálculo usada no estudo da zona interurbana

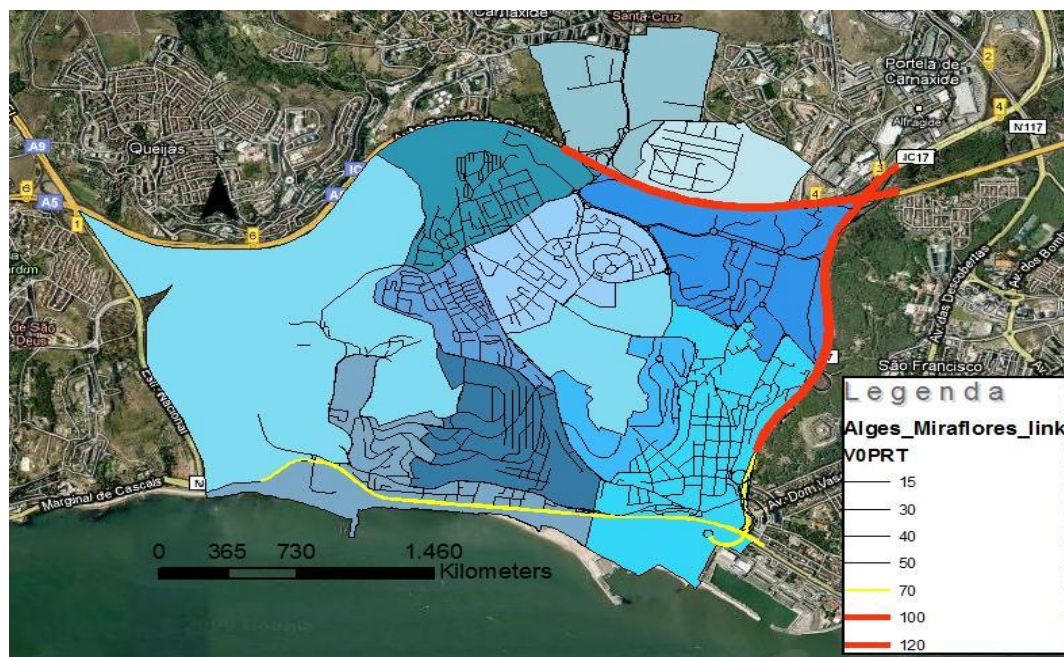


Fonte: Autor com base em (Ntziachristos e Samaras, 2000)

4.2.3 Zonas e rede viária da área de estudo

A área adoptada no estudo da mobilidade através da utilização do modelo de transportes (*Visum*) é ilustrada na Figura 43. Esta é constituída por 11 zonas internas, que abrangem toda a área de estudo.

Figura 43 - Zonas e rede viária da zona de estudo



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

4.2.4 Dados de Frota

A frota de veículos da HPM está descrita na Tabela 47 (ver Anexo I – pág. A.46) e foi obtida com base na matriz O/D elaborada para o Estudo de Mobilidade e Acessibilidades no Concelho de Oeiras.

4.2.4.1 Variação diária do tráfego

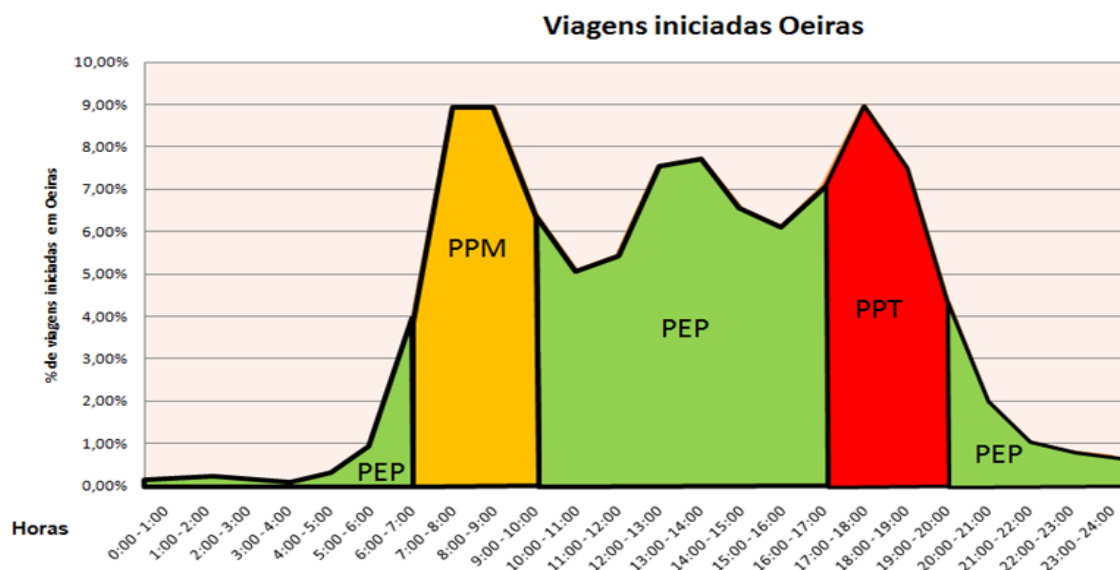
A variação diária do tráfego na área de estudo é de suma importância, pois pretende-se perspectivar a quantificação de emissões ao longo de um dia.

As emissões variam conforme a tipologia das viagens dos utilizadores, estas são determinantes na avaliação das emissões a quente e a frio dos veículos, que são um factor importante para a estimativa de emissões.

A variação do tráfego diário está relacionada principalmente com os motivos de regresso a casa e idas para o trabalho e escola.

Para se conseguir uma melhoria nas estimativas de emissões, a variação diária do tráfego foi separada em três períodos: o período ponta da manhã (PPM); período de ponta da tarde (PPT) e período entre pontas (PEP). Foram escolhidos estes períodos pois têm características diferentes entre si no que respeita os motivos de viagem que influenciam os tipos de arranque efectuados na zona urbana. O Figura 44 ilustra os períodos de distribuição das viagens na zona urbana ao longo de um dia.

Figura 44 - Viagens iniciadas em Oeiras durante o dia

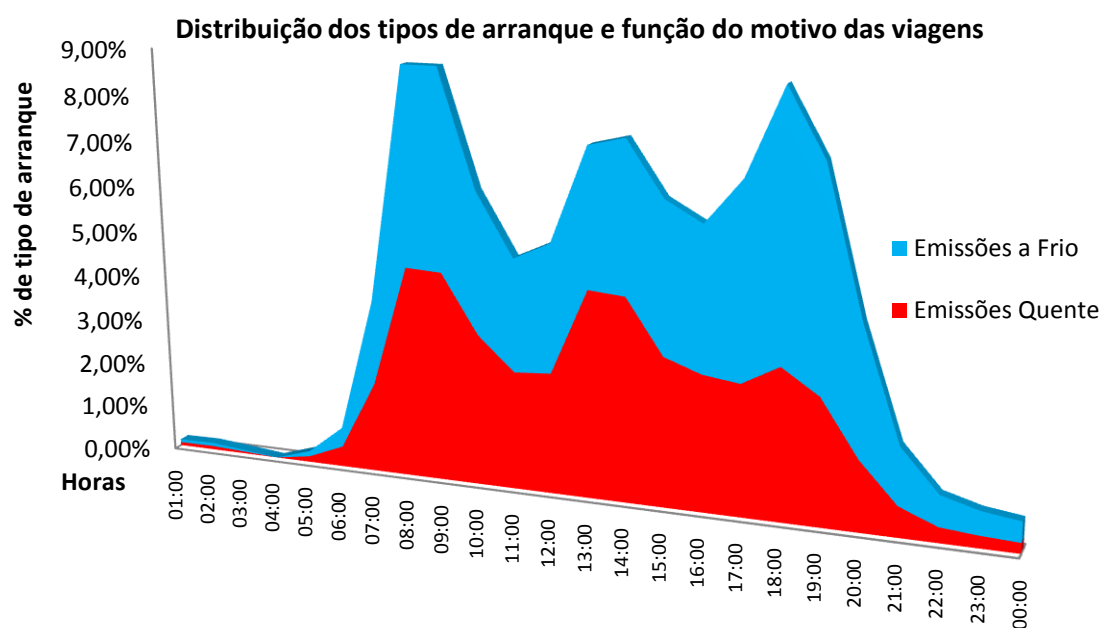


Fonte: (TIS.PT, 2008)

4.2.4.2 Arranques a frio e a quente

Os arranques a frio e a quente são um importante dado da metodologia, a sua estimação consegue melhorar consideravelmente as incertezas relacionadas com a quantificação das emissões, isto consegue-se através da definição dos motivos de viagem e a relação dos motivos com a variação horária do tráfego na zona de estudo. O Figura 45 ilustra a distribuição dos tipos de arranque na área de estudo.

Figura 45 - Distribuição dos tipos de arranque em função do motivo das viagens



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

4.2.5 Dados de Mobilidade

4.2.5.1 Velocidades médias adoptadas nos diferentes períodos analisados

As velocidades médias adoptadas no estudo estão dispostas na Tabela 20 e tiveram por base a modelação feita pelo modelo de transportes à área de estudo e um estudo feito *in loco* que registou as velocidades em tempo real no Concelho de Oeiras (Gois, et al., 2006).

Tabela 20 - Velocidades segundo tipo de via e períodos de estudo analisados

Tipos de vias	Velocidades adoptadas em períodos de ponta (km/h)	Velocidades adoptadas em períodos entre pontas (km/h)
Rural	33	50
A.E.	39	100
Urbano	25	28

Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008) e (Gois, et al., s.d)

4.2.5.2 Distância média percorrida

A distância média percorrida adoptada para a zona urbana foi de 3,8 quilómetros teve por base a análise dos fluxos entre pares O/D e a distância entre estes.

4.2.5.3 Quilometragem anual percorrida

A quilometragem anual percorrida adoptada foi de 1380 km/ano.

4.2.5.4 Distribuição da quotas de quilometragem em função do ambiente de condução

A distribuição das quotas de quilometragem em função do tipo de ambiente de condução desenvolve-se pelos três tipos de vias analisados: rural, AE e urbano. Os fluxos de tráfego da zona urbana desenvolvem-se nestes três ambientes de condução. Tratando-se de uma zona urbana existe um maior fluxo de tráfego nestas vias. A Tabela 21 representa as quotas de quilometragem em função dos tipos de vias.

Tabela 21 - Distribuição das viagens por ambiente de condução em períodos de ponta por tipo de ambiente de condução

Tipo de ambiente de condução	Distribuição das viagens por ambiente de condução nos períodos de pontas (%) (A)	Distribuição estatística (B)
Rural	17%	Normal [0;50]
AE	38%	Normal [15;50]
Urbano	45%	Normal [35;75]

Fonte: (A) (TIS.PT, 2008) / (B)(Kioutsoukis e Tarantola, s.d.)

4.2.6 Dados específicos da zona de estudo

4.2.6.1 Temperatura

As temperaturas seguem o método do estudo interurbano, diferenciando-se em relação à zona de estudo que se localiza em Oeiras. Os valores estão representados na Tabela 57 (ver Anexo I - pág. A.64).

4.2.6.2 RVP

Valores de RVP são os mesmos calculados para o estudo interurbano.

4.2.6.3 Declive

O declive adoptado foi de **+2%** e teve por base o mapa hipsométrico da zona de estudo.

4.2.6.4 Carga

A carga usada por veículo foi admitida como metade do peso que os veículos pesados de mercadorias podem transportar.

4.2.6.5 Factores de degradação devido à quilometragem

Nesta dissertação os factores de degradação devido ao aumento da quilometragem dos veículos são um factor a ter em conta para as estimativas de emissões.

4.2.6.6 Efeito do combustível

O efeito do combustível vai ter por base as especificações dos combustíveis para o ano de 2005 com base nos mesmos pressupostos referidos no estudo interurbano.

4.2.7 Resultados

Apresentam-se os resultados das estimativas de quantificação das emissões, obtidas através do modelo de emissões Copert IV. Os resultados são separados em cinco categorias: poluentes atmosféricos; metais pesados; GEE; consumo de combustível/energético; poluentes resultantes de emissões evaporativas; contribuição de emissões por tipo de veículo e por fim os indicadores ambientais.

4.2.7.1 Quantificação das emissões

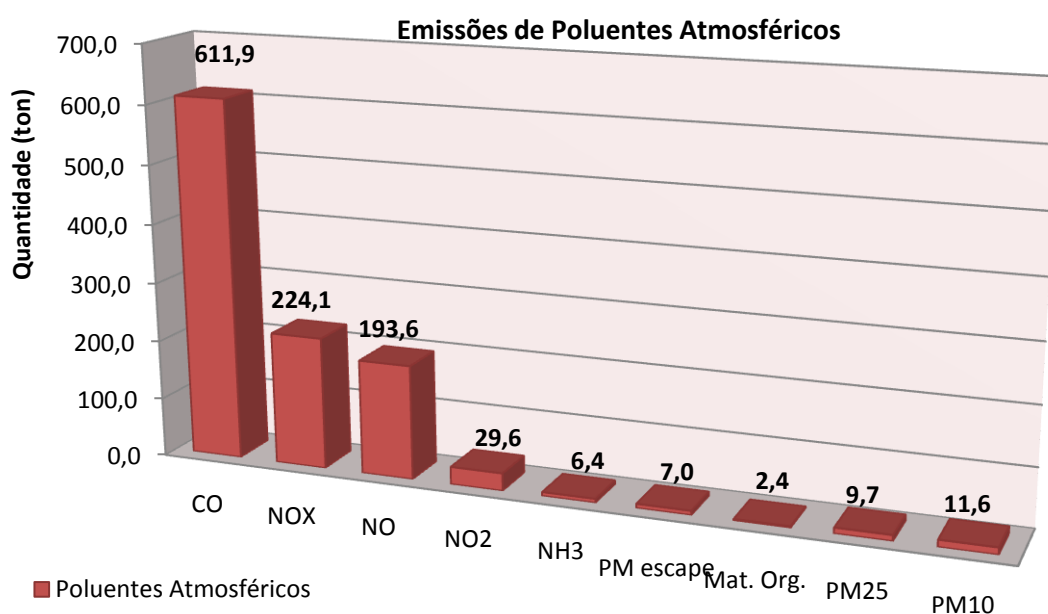
O modelo **COPERT IV** permite estimar para cada poluente, por tipo de veículos e tipo de via as quantidades de poluentes resultantes da actividade rodoviária. Os resultados das quantificações dos poluentes são apresentados na forma de gráfico (Figura 46) e para os indicadores ambientais e factores de emissão na forma de tabela.

Tabela 22 – Factores de emissão do estudo de caso urbano e de um estudo feito na **AML e Lisboa** no ano de 1999

Estudo de Caso	VKT [veíc.km]	FE _{CO2} [g/VKT]	FE _{CO} [g/VKT]	FE _{NOx} [g/VKT]	FE _{PM10} [g/VKT]	FE _{COV} [g/VKT]
Urbano	206.080.920	201	2,97	1,09	0,056	0,266
AML	-	250	7,11	1,24	0,044	1,11
Lisboa	-	287	9,7	1,15	0,045	1,46

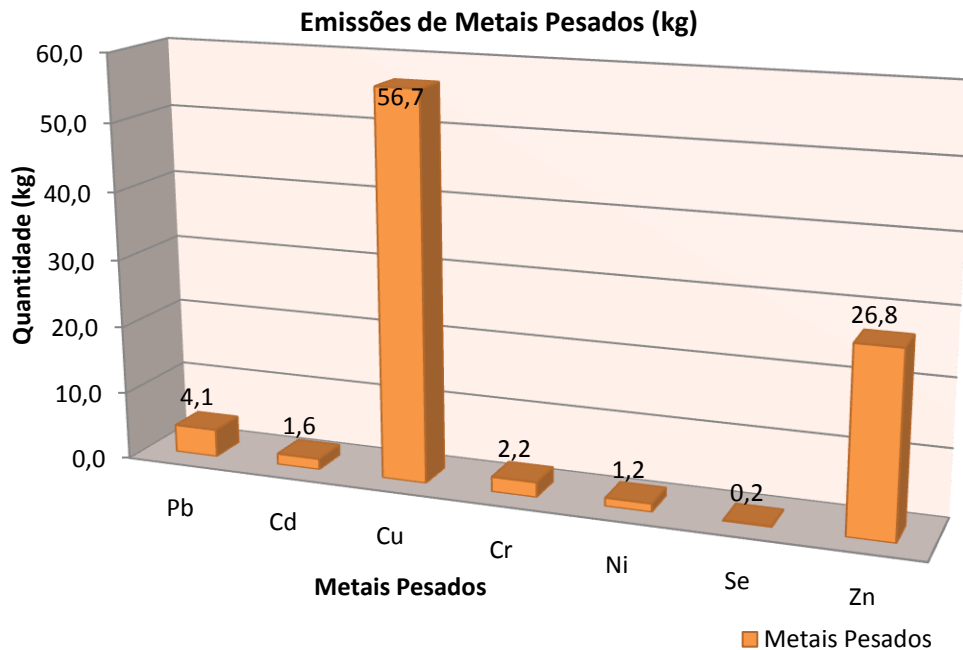
Fonte: Autor e (Tchepele O. , 2005)

Figura 46 - Total de emissões de Poluentes Atmosféricos



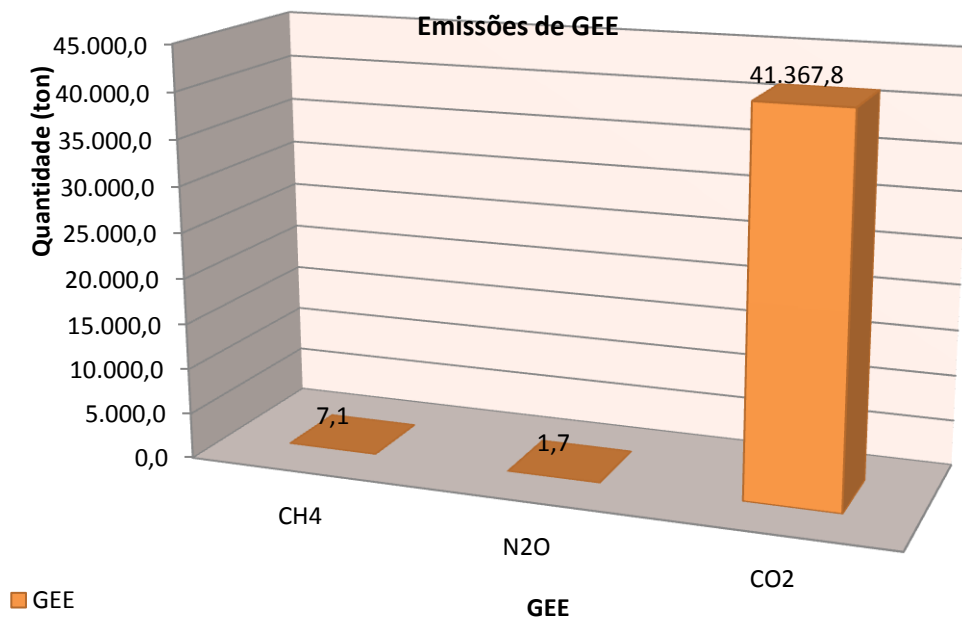
Os resultados do modelo de emissões, relativamente a metais pesados, são expressos no Figura 47.

Figura 47 - Total de emissões de metais pesados



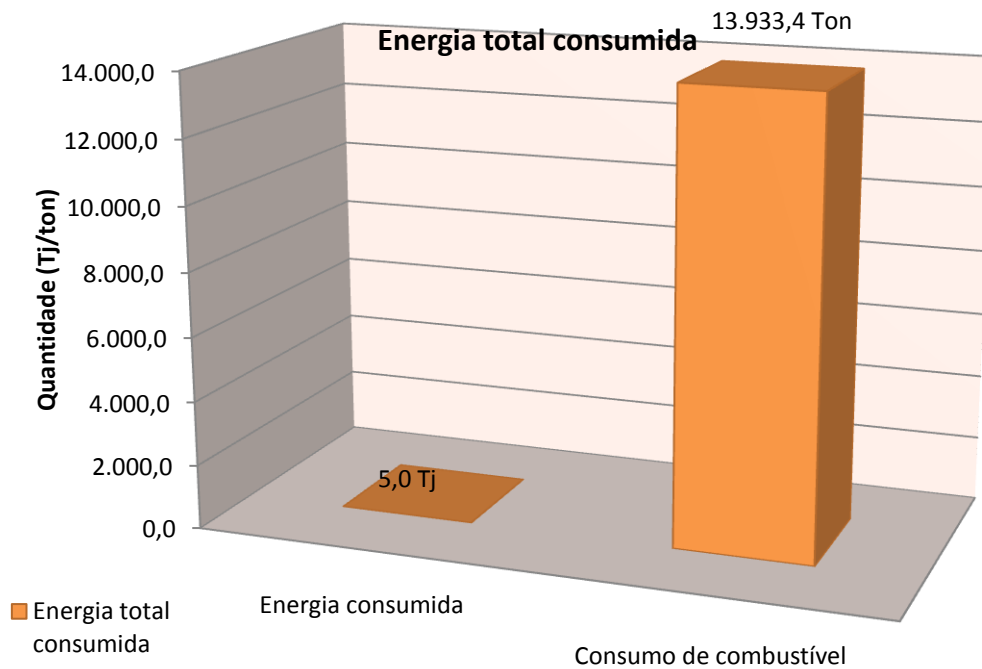
Os resultados do modelo de emissões, relativamente emissões de GEE, são explícitos no Figura 48.

Figura 48 - Total de emissões de GEE



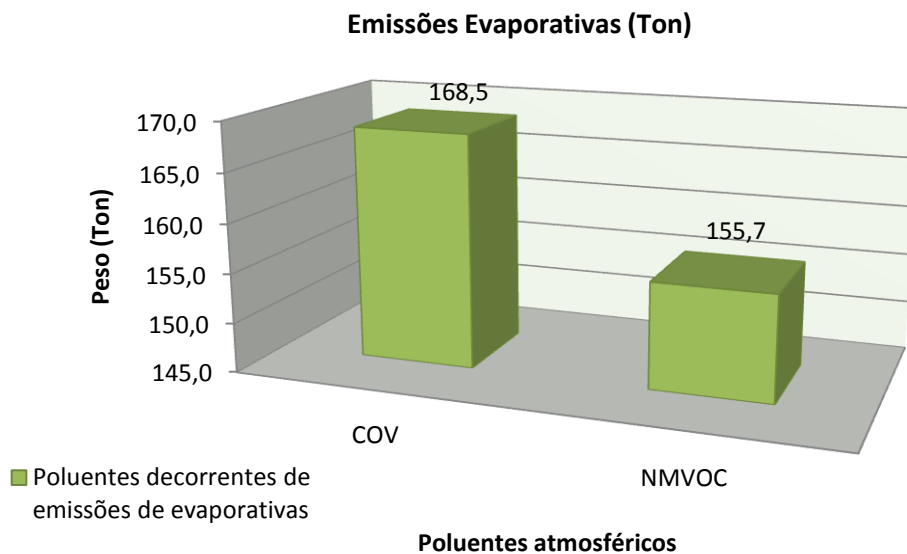
Os resultados do modelo de emissões, relativamente à energia consumida, são expressos no Figura 49.

Figura 49 - Total de emissões de energia consumida



O COPERT IV permitiu calcular o consumo de combustível, que é um dado importante para a calibração do modelo. Para calibrar o modelo são usados os dados de combustível modelados em comparação com os dados estatísticos do consumo de combustível para o concelho de Oeiras disponibilizados pela DGEG. Esta situação só pode ser apurada para o estudo urbano.

Figura 50 - Total de emissões evaporativas

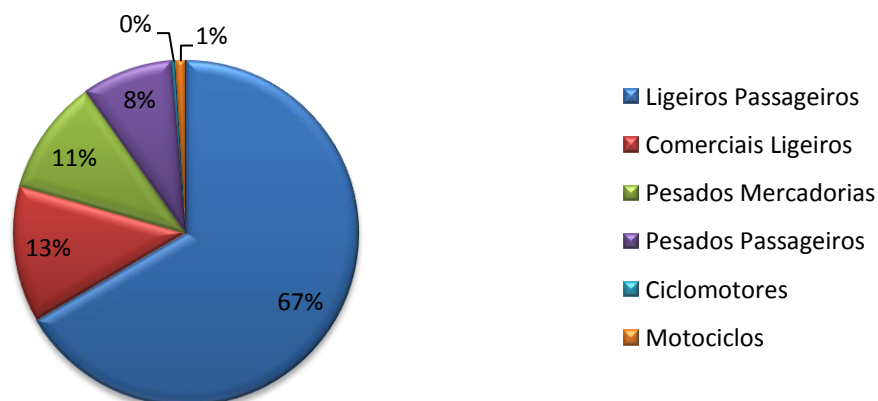


Os veículos mais responsáveis pelas emissões de poluentes são os ligeiros de passageiros, este resultado é espectável pois esta classe de veículos tem a maior representatividade na frota estudada. É de notar que os pesados apesar de terem uma baixa percentagem de

representação na frota de estudo, são responsáveis por 20% das emissões totais de poluentes em ambos os estudos.

Figura 51 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel

Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel

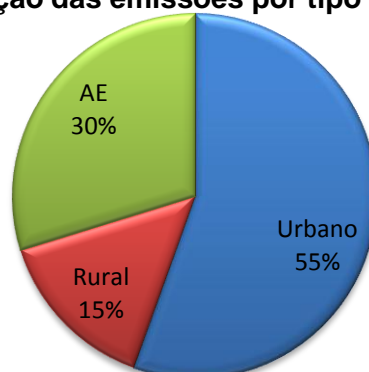


As vias que se encontram na área urbana são as que mais contribuem (55%) para as emissões totais de poluentes no estudo da zona urbana.

Figura 52 - Contribuição das emissões por tipo de via na HPM

4.2.7.2 Indicadores ambientais

Contribuição das emissões por tipo de via na HPM



Os indicadores ambientais (Tabela 23) representam o esforço que a sociedade tem de fazer para mitigar os problemas resultantes da actividade rodoviária, que podem passar por: compensações económicas ou ecológicas. A zona interurbana é responsável por maior número de danos à sociedade que a zona urbana.

Tabela 23 – Indicadores ambientais calculados para a zona de estudo

Indicadores ambientais	
Total de CO ₂ eq (ton)	42.028
Nº Árvores a plantar (1 árvore absorve 1,1 ton/CO ₂ eq/ano)	38.207
Preço (1 crédito de carbono = 13€)	546.364€
Área árvores (1 ha =1200 árvores)	31,8 ha
% das emissões da área em relação ao universo de emissões de CO ₂ eq no país (Emissões CO ₂ eq totais dos transportes terrestres em Portugal = 1,88.10 ⁷ ton CO ₂ eq (APA, 2008))	0,23%

4.2.8 Validação

A representatividade dos dados obtidos através deste modelo foi verificada pela comparação desses mesmos dados com informação estatística de consumo de combustíveis verificados na área de estudo. A abordagem de cálculo foi feita através da proporção entre a área das freguesias e os dados de consumo que a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) disponibiliza para o Concelho de Oeiras.

É necessário efectuar uma comparação entre dados estatísticos (ver Tabela 24) e modelados para haver coerência da informação usada no modelo de emissões que seja o mais representativas possível da realidade da zona urbana.

Tabela 24 – Comparação de consumo de combustíveis entre modelo de emissões e dados estatísticos da DGEG

Consumo de combustível determinado pelo modelo de emissões (ton)	Consumo de combustível obtido através das estatísticas da DGEG (ton)
13.933	17.120

Existe uma diferença entre valores que é natural, pois muito do tráfego abastece os depósitos de combustível fora dos concelhos, como é o caso dos não residentes, que têm uma influência muito grande nos padrões de mobilidade da zona de estudo. Ainda assim, apesar da diferença de perto de 19%, os valores podem-se assumir como próximos, mesmo com toda a carga de incerteza associada ao consumo de combustível obtido por dados estatísticos.

Capítulo V - Conclusões

O sector dos transportes rodoviários continua a ter um peso relevante nas principais fontes de poluentes atmosféricos, implicando um vasto conjunto de consequências graves para o ambiente e saúde pública. Nas últimas décadas, reuniram-se uma série de esforços com a perspectiva de melhorar globalmente o ambiente através do desenvolvimento do desempenho ambiental dos veículos, do comportamento dos cidadãos e dos países através de protocolos globais de protecção do ambiente. Os maiores contributos consumados foram a introdução de directivas europeias de cumprimento obrigatório dos limites de emissões de poluentes (EURO), que possibilitaram a redução das emissões de poluentes para a atmosfera e os tectos de emissões de GEE para os países que ratificaram o PQ. Em Portugal este grupo de intenções foi contraposto com o enorme crescimento das infra-estruturas rodoviárias, o aumento da frota automóvel, o aumento da mobilidade, o aumento da importação de veículos com fraco desempenho ambiental e a terciarização dos centros urbanos nas cidades. Esta situação tem dificultado o alcance das metas europeias de diminuição dos impactes ambientais e de melhoria da qualidade do ar com vista a uma melhor qualidade de vida para as populações, principalmente nos meios urbanos.

A modelação de emissões de poluentes atmosféricos provenientes dos transportes rodoviários constitui um importante instrumento de avaliação que permite quantificar os poluentes que afectam uma zona numa dada escala temporal e espacial. Este instrumento é usado na Europa como base de cálculo nos inventários nacionais de emissões, que apoiam as autoridades competentes nas suas decisões ao nível do planeamento de políticas de transporte, assim como, de políticas fiscais, ambientais e de ordenamento do território. Estas políticas pretendem mudar o paradigma instalado de insustentabilidade ambiental, energética e económica, com a motivação de possibilitar um bem-estar global e qualidade de vida aos cidadãos que residem, principalmente nas áreas urbanas.

O principal objectivo deste trabalho consistiu na quantificação de emissões provenientes dos transportes rodoviários em duas zonas (urbana e interurbana) e no tratamento de dados obtidos, tendo em conta a sua resolução espacial e temporal. A metodologia de integração entre modelos de transportes e modelos de emissões foi desenvolvida em função dos factores de mobilidade e de emissão ($E=e.a$) dos veículos. O uso deste tipo de modelos é mais comum em estudos a nível regional e nacional, devido à facilidade associada à recolha de dados. Houve a necessidade de adaptar estes estudos a uma escala menor para obter

resultados consistentes, no entanto, a modelação da velocidade média é um factor determinante, que levanta uma série de limitações, pois os padrões de condução dos utilizadores variam entre indivíduos, as relações entre emissões e características de operação variam com cada poluente e diferentes classes de veículos, registando-se comportamentos muito diferentes para o mesmo valor de velocidade média, este facto revela-se como uma limitação do modelo, pois, não reflecte a influência do estilo de condução nomeadamente no consumo de energia e nas emissões de CO₂ que podem atingir variações até 15%.

A aplicação do modelo de emissões requereu uma grande quantidade de informação acerca dos dados de mobilidade na área de estudo, dados específicos do país e dados da frota. Estes dados nem sempre são de fácil acesso e muitas vezes aparecem desagregados ou incompletos, pelo que foi necessário efectuar simplificações, extrapolações e cálculos intermédios que se podem reflectir em incertezas nos resultados obtidos. O tratamento de dados teve em conta a resolução espacial e temporal das zonas de estudo associadas e, apesar de apenas existirem dados relativos a anos anteriores ao ano do estudo, houve a sensibilidade de analisar o comportamento dos dados ao longo de vários anos e construir uma tendência, para se conseguir estimar o valor mais provável para o ano desejado. Este foi o caso, por exemplo, da estimação de veículos pesados desmantelados.

Outra situação de incerteza prendeu-se com a frota automóvel que apresenta uma desagregação enorme em relação às zonas de estudo, foi necessário calcular taxas de sobrevivência, importação de veículos e a caracterização da frota de estudo com base na frota nacional de veículos, para conseguir modelar uma frota nacional hipotética no período temporal em que o estudo se enquadra.

A calibração do modelo pode ser feita através dos dados de consumo de combustível na área de estudo. Contudo, existiu um elevado grau de incerteza associado aos dados estatísticos do consumo, devido ao desconhecimento da quantidade de veículos que abastecem os depósitos fora da área de estudo e da quantidade de veículos que abastecem os depósitos dentro desta, mas que consomem o combustível fora da área de estudo. Contudo, a metodologia do *LAT* aconselha a cruzar os dados modelados com os dados reais de consumo de combustível.

A metodologia pode ser validada recorrendo a dois métodos: através do consumo de combustível na área de estudo e através das emissões de poluentes atmosféricos por área. Em relação à validação da metodologia com base no consumo de combustível, a análise dos dados verificou que os resultados modelados estão abaixo dos valores reais de consumo de combustível, a diferença entre ambos é cerca de 19%, o que representa

resultados bastante razoáveis, dado o grau de incerteza associado de ambas fontes de informação.

A validação da metodologia com base nas emissões de poluentes atmosféricos por área, revela uma relação aceitável entre dados modelados e os dados estatísticos do estudo realizado pela Agência Portuguesa do Ambiente na maioria dos poluentes analisados. Através desta situação, é possível validar de uma forma simples a metodologia adoptada, contudo, existe um grau de incerteza associado que poderá estar relacionado com as simplificações feitas para obter os dados modelados, com as simplificações feitas ao estudo efectuado na área urbana pela APA e com o número elevado de variáveis envolvidas.

A modelação de emissões teve como objectivo estimar emissões de poluentes, que foram divididos em poluentes atmosféricos (CO, NO_x, NO, NO₂, NH₃, PM, OM), GEE (N₂O, CH₄, CO₂), poluentes resultantes de emissões evaporativas (VOC, NMVOC) e, por fim, metais pesados (Pb, Cd, CU, Cr, Ni, Se, Zn) e, ainda, dados de consumo de combustível e gasto energético. Os resultados obtidos foram apresentados sobre a forma de unidade de peso relativa de cada grupo de poluentes e foram obtidos para a área de estudo, no período temporal de um ano e relativos ao volume médio diário anual de tráfego efectuado numa infra-estrutura. No caso urbano a variação do tráfego foi dividida em 5 períodos, devido aos tipos de arranque que variam conforme o motivo de viagem dos utilizadores na zona urbana.

Em termos gerais, no período analisado, sobressai o facto de o CO₂, ser o composto emitido em maior quantidade, com 41.368 ton na zona urbana e com 61.782 ton na zona interurbana. É de salientar que foi calculada a frota média automóvel na zona interurbana para um dia, e o único tipo de arranque considerado foi o arranque a quente, o mesmo não acontece na zona de estudo onde a frota automóvel que circula, flutua ao longo do dia, consoante os padrões de mobilidade da zona de estudo.

As categorias de veículos que mais contribuem para as emissões de gases de escape são, como é razoável, os ligeiros de passageiros, pois a grande maioria do parque automóvel é constituída por estes veículos. É importante notar que a quota de emissões, isto é, a contribuição das emissões de poluentes totais na categoria dos veículos pesados, é de 20% na zona urbana para uma percentagem de apenas 6% destes veículos na frota automóvel urbana. O mesmo acontece no caso interurbano, em que os pesados correspondem a 8,7% da frota interurbana e são responsáveis por 20% das emissões, estes indicadores apontam que esta categoria de veículos contribui mais para as emissões de gases de escape que qualquer outra

O grupo de veículos que mais influência tem nas emissões são os ligeiros de passageiros, como é razoável, devido ao seu peso de mais de 70% na frota automóvel.

As vias que mais contribuem para as emissões de poluentes atmosféricos e GEE são as vias urbanas com cerca de 55%, apesar da quota de viagens percorridas nestas vias ser de 45%. Esta situação indica que a circulação em meio urbano tem maior responsabilidade nas emissões, que a circulação efectuada outras vias. Do ponto de vista ambiental, esta situação é gravosa, visto que a grande parte das pessoas vivem em aglomerados urbanos e a sua exposição a poluentes atmosféricos é mais frequente nestes meios. Esta situação insustentável deve ser motivo de acções ao nível destas áreas, para a mitigação das emissões de escape, para proteger as populações dos efeitos nefastos dos poluentes na saúde pública, no seu bem-estar e qualidade de vida.

As emissões de poluentes resultantes de emissões evaporativas na HPM têm maior expressão nas emissões a quente, que nas emissões a frio e evaporativas, o que indica que existe um grande grupo de veículos a gasolina que não tem sistema de estanque das emissões evaporativas.

Podem ser solicitadas possíveis intervenções na área urbana para reduzir emissões de GEE e para aliviar a carga de poluentes atmosféricos e gases de efeito local - a melhoria da rede de TC, principalmente, junto dos pólos de emprego e educativos da zona em estudo - a instituição do princípio de poluidor pagador, que consiste no pagamento, por exemplo, do imposto de circulação, consoante o número de quilómetros percorridos ao longo do ano e a tecnologia de emissão do veículo, estes dados poderiam ser fornecidos pelos centros de inspecção automóvel - proibir a circulação de pesados com tecnologias de emissão inferiores à EURO 3.

Outras medidas poderão ser adoptadas, e esta metodologia pode auxiliar no sentido de encontrar soluções que mudem o paradigma actual. A metodologia serve também para testar as medidas de possível intervenção, com vista a uma melhoria ambiental e proporcionar um futuro saudável e sustentável para as populações residentes nestas áreas urbanas.

Outras melhorias poderiam passar pela - reconversão dos autocarros e outros veículos pesados para sistemas de gás natural, sendo esta medida, surte efeito apenas se acompanhada, pela implementação de uma rede de abastecimento de gás natural na zona de estudo - pela adopção de sistemas de retenção de partículas nas frotas de táxis - pela construção de vias para modos suaves de mobilidade - por usar parquímetros nas zonas de estacionamento, que diferenciem veículos com tecnologias recentes de emissão dos

veículos com tecnologias antigas de emissão - pela proibição de entrada de veículos pesados com tecnologia de emissão abaixo da EURO 3 no espaço urbano, a mesma medida poderá ser adoptada para os ligeiros com tecnologias de emissão inferior a EURO 3, sendo que, os condutores destes veículos podem ser transportados por TC para os seus destinos.

A actividade dos transportes é superior na área interurbana em cerca de 30%. A análise feita aos FE para os diversos poluentes estudados permitiu concluir que, a taxa de emissão média de CO₂ e NO_x é superior na área interurbano e a taxa de emissão média de CO, PM₁₀ e COV é superior na área urbana.

Os FE das áreas de estudo são, quando comparados, aos resultados do estudo realizado em 1999 na área de Lisboa e AML (Tchepel O. , 2005), inferiores na maioria dos poluentes exceptuando o FE_{NO_x} no estudo interurbano e o FE_{PM₁₀} no estudo urbano. Os valores obtidos no estudo são espectáveis, pois era de esperar que os valores seriam inferiores ao do estudo realizado em 1999 na maioria dos poluentes analisados. Esta situação prende-se com o facto de em 2009 a frota automóvel ser composta por veículos com melhor desempenho ambiental e combustíveis melhorados.

Outros dos objectivos desta dissertação consiste na indicação de melhorias, que podem ser introduzidas para aperfeiçoar o desempenho dos modelos de tráfego e emissões. A modelação de emissões de poluentes constitui uma função sensível e que deve ser alvo de cuidados redobrados, aquando a sua aplicação. Esta situação é maior durante a fase de introdução de dados de entrada nos modelos. Sendo o objectivo da modelação recriar a realidade através de um modelo para chegar a melhores resultados, seria necessário caracterizar pormenorizadamente a frota tipo, o que poderia ser feito através de dados facultados pelos centros de inspecção, dos inventários da frota das empresas ou de equipamentos nas entradas e saídas da zona de estudo que identificassem o tipo de veículo que circula e as suas características. A disponibilização de informação estatística relativa à quilometragem anual percorrida pelos veículos, à idade dos veículos, à tecnologia de emissões associada, à cilindrada e à tara, especialmente no caso dos pesados, dados que poderiam facilmente ser facultados pelos centros de inspecção, para melhorar as estimativas dos inventários de emissões, resultantes do tráfego rodoviário. A falta de dados relativos às velocidades médias praticadas em regime urbano poderia ser ultrapassada através de aparelhos de medição instalados na via, para possibilitar a comparação entre as velocidades médias do modelo de transportes e as verificadas na zona urbana.

Estas melhorias poderiam possibilitar o acréscimo da qualidade da informação, reduzindo assim as incertezas nas estimativas de emissões. Ainda assim, os dados terão sempre alguma incerteza relativa, ainda que a identificação dos mesmos através do cálculo de erros associados ajudem sistematicamente no desempenho da metodologia aplicada.

Os factores críticos de sucesso são pontos-chave que definem o êxito ou o fracasso de um objectivo definido nesta dissertação. É importante realçar alguns pontos que foram essenciais para a obtenção de resultados do modelo, como a possibilidade de colaboração com a **TIS.PT** que gentilmente forneceu os dados de mobilidade, obtidos através de um modelo de transportes. A existência de um Estudo de Mobilidade e Acessibilidades ajudou a compreender as dinâmicas de tráfego na área de estudo, assim como os padrões de mobilidade de residentes e não residentes ao longo do dia. O facto de existirem estudos similares efectuados na zona urbana de estudo foi determinante para a melhor caracterização da frota e das velocidades médias praticadas na zona. A possibilidade de trabalhar com um software gratuito e de amplo uso em estudos internacionais, como o modelo de emissões **COPERT IV** foi também fundamental.

Os indicadores ambientais servem para diagnosticar a situação presente e clarificar que resposta pode dar a Sociedade para equilibrar os impactes decorrentes da actividade humana. Por exemplo, o equilíbrio no mercado de carbono pode ser atingido de forma economicista sendo necessário pagar a países que não preencham totalmente as suas licenças de carbono, o custo do recurso ao mercado de carbono para custaria à sociedade perto de 369.761€. Por outro lado, poderia alcançar-se esse equilíbrio pela via ecológica, que poderia passar por plantar 94.819 árvores numa área de 79 ha.

A saúde pública nas áreas urbanas é sempre afectada, pois as quantidades de diversos poluentes atmosféricos e metais pesados modelados, revelam que existe uma carga elevada destes poluentes sobre as populações residentes nestas áreas. As áreas urbanas são responsáveis por um grande número de partidas a frio e velocidades médias baixas, que provocam uma maior emissão de poluentes, agravando ainda mais o problema da qualidade do ar. Em relação às doenças de foro respiratório é implícito o aumento de registos hospitalares, em todas as idades, com o aumento dos poluentes atmosféricos em áreas urbanas. Por esse motivo, urge tomar medidas de reforço da consciência ambiental e medidas de gestão urbana, no sentido de encontrar um ambiente mais sustentável.

A quantidade de poluentes na área de estudo agrava um conjunto de problemas ambientais, como a degradação de edifícios e monumentos classificados, pois existe uma estreita relação entre os poluentes (NH_3 e NO_2) e os danos provocados a edifícios. Estes poluentes

depositam-se por dois mecanismos, a deposição seca e a deposição húmida (chuva ácida), e provocam também a desflorestação, a acidificação de albufeiras e lagos e a contaminação de solos.

A modelação das emissões de poluentes dos transportes é um procedimento que requer a interligação entre vários processos, desde os modelos de transporte, à informação estatística obtida das mais variadas formas e aos modelos de emissão. Por esse motivo, é importante que toda a informação utilizada possua o mínimo de incertezas associadas ou, pelo menos, que estas sejam conhecidas, de forma a credibilizar os resultados obtidos, e assim permitir adoptar metodologias e decisões políticas e estratégicas de combate à poluição atmosférica cada vez mais eficazes.

5.1 Estudos futuros

Em termos de trabalhos futuros e novas direcções podem ser elaboradas as seguintes sugestões:

- A redução da complexidade do modelo é acompanhada por um decréscimo na resolução espacial e temporal. Com isto surge a questão: qual é a resolução espacial e temporal apropriada na modelação de emissões e consumo de energia em áreas urbanas?
- Considera a importância do congestionamento originado pelo tráfego, nomeadamente, em situações específicas, como interrupções derivadas de intersecções semaforizadas e não semaforizadas. É importante conhecer de que modo o congestionamento afecta as emissões em áreas urbanas e como se podem encontrar formas de desenvolver novos algoritmos que, em associação a modelos de emissão e de tráfego, sejam capazes de quantificar as emissões de poluentes e o consumo de combustível e as emissões de CO₂ decorrentes do congestionamento em áreas urbanas e rurais.
- Investigação que permita criar uma simbiose entre modelos de emissão e modelos de transporte, que possibilite a aproximação das suas diferenças na procura da diminuição das incertezas relativas às estimativas de emissões, decorrentes da mobilidade do tráfego rodoviário.
- A validação de emissões em áreas urbanas e interurbanas é um processo muito difícil, pois a avaliação de emissões nestas áreas requer o apoio em estudos com recurso a meios onerosos como: medições de emissões com dispositivos a bordo dos veículos, medições com recursos a dispositivos que quantificam emissões em estrada e medições laboratoriais.
- A agregação de um modelo de modelação de poluição atmosférica ao estudo elaborado, para avaliar as concentrações de poluentes durante o dia, em diversas vias da zona urbana, de modo a avaliar se os limites legais de concentrações de poluentes são ultrapassados.

- Uma direcção importante podia passar por avaliar a introdução de uma medida que seja responsável por diminuir as emissões decorrentes do tráfego rodoviário. Esta poderia ser de âmbito fiscal, tecnológico ou de alteração de comportamentos da sociedade.
- Aplicar a metodologia adoptada em outras áreas do país e congregar esforços com entidades públicas ligadas ao ambiente, ao ensino e aos transportes, para elaborar extensas bases de dados de emissões, dos parques automóveis regionais, de velocidades médias e das quotas de quilometragem em função do tipo de ambiente de condução, que possibilitam a elaboração de um inventário nacional de emissões decorrentes do tráfego rodoviário.
 - Por fim, elaborar projectos de investigação que introduzam modelos de transportes dinâmicos e modelos de emissão dinâmicos, ligados a uma rede telemática de supervisão do tráfego que sejam capazes de auxiliar o processo de criação dos inventários de emissões em tempo real em zona urbanas e interurbanas.

Referências bibliográficas

ACAP. (2009). *Estatísticas do sector automóvel*. Lisboa: ACAP.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2008). *Evolução da qualidade do ar em Portugal entre 2001 e 2005*. Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2009). *Alocação espacial de emissões em 2007*. Lisboa: APA.

Agência Portuguesa do Ambiente. (25 de 02 de 2010). Qualar. Lisboa, Lisboa, Portugal.

AirCareColorado. (1999). *AirCarecolorado*. Obtido em 3 de 7 de 2008, de AirCareColorado: www.aircarecolorado.com/repair/acnews/apr99.htm

Åke Sjodin, M. E.-R. (s.d.). *Implementation and Evaluation of the ARTEMIS Road Model for Sweden's*. Artemis.

Alves, B. (2005). *Medição da intensidade ambiental decorrente do consumo energético em deslocações urbanas de passageiros*. Lisboa: IST.

Andrade, M. (2000). *Métodos e Técnicas de recolha de dados de tráfego - Algoritmo para a definição da Matriz O/D*. Porto: FEUP.

André, J.-M., & Joumard, R. (2005). *Modelling of cold start excess emissions for passenger cars*. INRETS.

André, M. (s.d.). *The artemis european tools for estimating the transport pollutant emissions*. Bron: INRETS.

André, M., Hammarstöm, U., & Reynaud, I. (1999). *Driving statistics for the assessment of pollutant emissions from road transport*. Bron: INRETS.

Antunes, A. P. (s.d.). *Planeamento regional e urbano planeamento de transportes*. Coimbra: Universidade de Coimbra.

APA. (2006). *Avaliação do estado de cumprimento do Protocolo de Quioto*. Lisboa: APA.

APA. (2008). *Portuguese National Inventory Report On Greenhouse Gases, 1990 - 2006*. Amadora: APA.

APA. (2008). *Relatório do Estado do Ambiente*. Amadora.

Artemis. (2005). *Evaporative emissions of vehicles*. Stefan Hausberger; Jurgen Wiesmayr; Edim Bukvarevic: INRETS.

ASSET. (s.d.). *Assessing Sensitiveness to Transport*. Obtido em 2009, de ASSET: <http://www.asset-eu.org/>

Autocontact Portugal. (2009). *Enquadramento do mercado de usados*. s.l.: Autocontact.

Balakrishna, R., Antoniou, C., & Ben-Akiva, M. (2002). *Calibrating Speed-Density Functions for Mesoscopic Traffic Simulation*. Massachusetts: MIT.

Bandeira, J. (2009). *Modelo de uso do solo de Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar*. Aveiro: UA.

Barros, N., Brás, C., & Fontes, T. (2001). *Comparação das emissões de tráfego rodoviário por análise dos factores de emissão*. Lisboa: Universidade Fernando Pessoa.

Barros, N., Fontes, T., & Brás, C. (2003). *Comparação das emissões do tráfego rodoviário por análise dos factores de emissão*. Lisboa: FCT.

Barth, M., F., A., T., Y., T., S., C., L., M., R., et al. (2000). *Comprehensive modal emissions model (CMEM) user's guide*.

Beldring, S. (2002). Multi-criteria validation of a precipitation-runoff model. *Journal of Hydrology* 257, 189-211.

Boavida, F., & Perez, A. T. (2008). *Alocação Espacial de Emissões em 2005*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente.

Borrego, C., Tchepel, O., Costa, A., Amorim, J., & Magalhães, J. (2000). *Development of an integrated air quality management system for urban areas*. Aveiro: GEMAC.

Borrego, C., Tchepel, O., Salmim, L., Amorim, J. H., Costa, A. M., & Janko, J. (2004). *Modelação integrada de emissões de tráfego rodoviário: Aplicação à gestão da qualidade do ar de Lisboa*. Aveiro: UA.

Burón, J. M., López, J. M., Aparicio, F., Martín, M. À., & García, A. (2003). *Estimation of road transportation emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program*. Madrid: Atmospheric Environment.

C.M. Vila do Conde. (2009). *Ar*. Obtido em 2009, de Câmara Municipal de Vila do Conde: <http://www.cm-viladoconde.pt/files/2/documentos/20090521183517375635.pdf>

C.M.L. (2005). *Lisboa: O desafio da mobilidade*. Lisboa: CML.

- Campbell, M., Bassil, K., & Morgan, C. (2007). *Air Pollution Burden of Illness from*. Toronto.
- Cappiello, A. (2002). *Modeling Traffic Flow Emissions*. Massachusetts: MIT.
- Caserinia, S., Giugliano, M., & Pastorello, C. (2006). *Traffic emissions in Lombardy region in 1998-2015*. Copenhaga: Elsevier.
- CCDRLVT. (2006). *Inventário de emissões atmosféricas da região de Lisboa e Vale do Tejo 2000-2001*. Lisboa.
- CEETA. (s.d.). Obtido em 2009, de <http://www.ceeeta.pt>: http://www.ceeeta.pt/energia/files/09/01-Combustiveis_Fosseis.pdf
- CEPA. (2002). *Hot soak emissions*. California: CEPA.
- Chana, T. L., Dongb, G., Ninga, Z., Hungc, Z., Hungc, W. T., Cheunga, C. S., et al. (2002). *On-road Remote Sensing of Petrol Vehicle Emissions Measurement and Emission Factors Estimation for Urban Driving Patterns in Hong Kong*. Hong Kong: Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China.
- CMO. (25 de 02 de 2010). *Localização Geográfica*. Obtido em 25 de 02 de 2010, de CMO: <http://munwebgis.municipia.pt/oeiras/Viewer.aspx?serviceName=plantas>
- Coelho, M. (2000). *Relatório técnico TREM*. Aveiro: GEMAC.
- Colls, J. (2002). *Air Pollution Second Edition*. Londres: Spon Press.
- Commission of the european communities. (2001). *White papper*. Brussels: EU.
- Corradini, F. (2005). *Efeito da temperatura do líquido de arrefecimento na produção de emissões poluentes de motor de ignição por faísca*. São Paulo: USP.
- Costa, F. M. (2004). *poluição atmosférica associada à produção e transporte de electricidade: emissões de Hexafluoreto de enxofre e o efeito de estufa*. Porto: FEUP.
- Costa, P. (2003). *Uma análise de consumo de energia em transportes nas cidades portuguesas utilizando redes neurais artificiais*. Braga: UM.
- Cruz, P. (2005). *Avaliação da intensidade de turbulência em motores de ciclo otto*. Brasília: Universidade de Brasília.
- Cruz, P. d. (2005). *Avaliação da intensidade de turbulência em motores de ciclo Otto*. Brasília: Universidade de Brasília.

Cuco Autogas. (2007). *Cuco*. Obtido em 22 de 08 de 2009, de Cuco autogas: http://www.cuco.pt/site/imagens/mapa_portugal.gif

Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. (s.d.). *Modelo de emissões de transportes para fontes em linha*.

DGEG. (2008). *Estatísticas - Petróleo e Derivados - Vendas de Combustíveis*. Lisboa: DGGE.

Dictionary.com. (2010). *Dictionary.com*. Obtido em 3 de 12 de 2009, de Dictionary.com: <http://dictionary.reference.com/browse/model>

Dieselnet. (2009). *Cars and light trucks*. Obtido de Dieselnet: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

Dieselnet. (s.d.). Obtido em 3 de 08 de 2009, de Dieselnet: www.dieselnet.com

E. Value. (2006). *Sector dos Transportes*. Instituto do Ambiente.

EEA. (2006). *Air quality and ancillary benefits*. Copenhaga.

EEA. (2007). *CORINAIR*.

EEA. (2008). *TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union*. Copenhaga: EEA.

EEA. (2009). *Transport at a crossroads*. Copenhaga.

Ekstrom, M., Sjodin, A., & Andreasson, K. (14 de Julho de 2004). Evaluation of the COPERT III emission model with on-road optical remote sensing measurements. *Atmospheric Environment* 38, pp. 6631–6641.

Environment Canada. (02 de 10 de 2009). Environment Canada. Canada. Obtido de www.ec.gc.ac.

EP. (2009). *Dados de tráfego*. Obtido em 5 de 12 de 2009, de Estradas de Portugal - SA: <http://www.estradasdeportugal.pt/site/v3/>

EPA. (2001). *Hot Soak Emissions as a function of soak time*. EPA.

EPA. (2000). *Six common air pollutants*. Obtido em 2009, de United States Environmental protection agency: <http://www.epa.gov/air/urbanair/so2/hlth1.html>

EPA. (s.d.). *Onroad Mobile Inventory*. EPA.

Esteves, G. R., Barbosa, S. R., Silva, E. P., & Duarte, P. (2007). ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A SAÚDE HUMANA: ALGUMAS POSSIBILIDADES METODOLÓGICAS E TEÓRICAS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente* .

Estradas de Portugal S.A. (2009). *Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego* . Obtido em 02 de 02 de 2009, de Estradas de Portugal: <http://www.estradas.pt/dados-trafego>

Faiz, A., Weaver, C. S., & Walsh, M. P. (1996). *Air Pollution from Motor Vehicles*. Washington: International Bank.

Farlex. (2009). *encyclopedia farlex*. Obtido em 2009, de <http://encyclopedia.farlex.com/greenhouse+effect>.

Fernandes, M. d. (2004). *A política de localização das infra-estruturas de apoio ao transporte colectivo no Norte de Portugal*. Porto: FEUP.

Fontinha, F. L. (2007). *Motores Alternativos*. Beja: ESTIG.

Freitas, C. U., Pereira, L. A., & Saldiva, P. H. (s.d.). *VIGILÂNCIA DOS EFEITOS NA SAÚDE DECORRENTES DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA*:. São Paulo.

Gabinete do Desenvolvimento Municipal de Oeiras. (2009). *Oeiras, Factos e Números*. Oeiras: Câmara Municipal Oeiras.

Geremias. (2008). *emissões*. Lisboa: Refer.

Gois, V., Maciel, H., Nogueira, L., Almeida, C., Torres, P., Mesquita, S., et al. (2005). *A detailed urban road traffic emissions inventory model using aerial photography and GPS surveys*. Lisboa: Inventar.

Gonçalves, G., & Farias, T. (s.d.). *On-road measurements of emissions and fuel consumption of gasoline fueled light duty vehicles*. Lisboa: IST.

Gong, B. R., Grimm, U., & Patterson, J. (1999). *Improvements to a roadside remote emission measurement system*. Wellington: School of Chemical and Physical Sciences.

Google. (01 de 01 de 2010). *Google Maps*. Obtido em 1 de 8 de 2009, de Google: <http://maps.google.pt/maps?hl=pt-PT&tab=wl>

Gorham, R. (2002). *Air pollution from ground*. U.N.

Governo Português. (2002). *Decretos-Lei n.º 111/2002 e n.º 320/2003*. Lisboa: Diário da República.

- Goyns, P. H. (2008). *Modelling real-world driving, fuel consumption and emissions of passenger vehicles: a case study in Johannesburg*. Joanesburgo: UJ.
- Hansen, M. (2008). *Proposição de um método para avaliação do adicional de emissões veiculares em partida a frio*. Porto Alegre: UPA.
- Hausberger, S., Wiesmayr, J., Bukvarevic, E., Tripold, W., & Brenner, J. (2005). *Evaporative emissions of vehicles*. Graz: TU-GraV Report.
- Helmenstine, A. M. (s.d.). Chemistry Glossary .
- Hensher, D. A., & Button, K. J. (2000). *Handbook of transport modelling*. Amertardam, Holanda: Elsevier.
- Hoogendoorn, S. P., & Bovy, P. H. (2001). *State-of-the-art of Vehicular Traffic Flow Modelling*. Delft: Delft University of Technology.
- I.M.T.T. (2007). *Evolução do número de veículos de passageiros em circulação* .
- I.N.S. (2007). *Parque automóvel seguro*.
- IEA. (3 de 7 de 2008). Evolution of Global Demand and Supply.
- IFEU. (2006). *Transport Emission Model (Tremod)*. Heidelberg: IFEU.
- IMTT - Instituto de Mobilidade e transportes terrestres. (2006). *Trasporte de mercadorias*. Lisboa: IMTT.
- IMTT. (2006). *Transportes de mercadorias*. Lisboa: IMTT.
- IMTT. (2008). *Inspecções periódicas a veículos*. Obtido em 2009, de Portal do cidadão: http://www.portaldocidadao.pt/PORTAL/entidades/MOPTC/IMTT/pt/SER_inspeccoes+periodicas+a+veiculos.htm
- INE. (2007). *Estatísticas do sector dos transportes 2007*. Lisboa: INE.
- Institute of transportation Engineers. (1992). *Transportation Planning Handbook*. Institute of transportation Engineers.
- Instituto de Meteorologia, IP. (2008). *Acompanhamento do Clima*. Obtido em 10 de 10 de 2009, de Instituto de Meteorologia, IP, Portugal: <http://www.meteo.pt/pt/oclima/acompanhamento/>

Instituto de Meteorologia, IP. (2008). *Acompanhamento do clima*. Obtido em 2010 de 02 de 2010, de Instituto de Meteorologia: <http://www.meteo.pt/pt/oclima/acompanhamento/>

Instituto Superior Técnico. (2006). *Aula 6 Ciclos reversíveis*. Lisboa: IST.

IPCC. (1996). *IPCC And CORINAIR source categories*. Obtido em 5 de 10 de 2009, de IPCC: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/annex2ri.pdf>

IPCC. (2007). *The Physical Science Basis*. Nova Iorque: IPCC.

IST. (2004). *Métodos Experimentais em Energia e ambiente*. Lisboa.

Jeihani, M. (2007). A review of dynamic traffic assignment computer packages. *Journal of the TRF*, pp. Volume 4, numer 2 .

Joumard, R., & Sérié, E. (1999). *Modelling of cold start emissions on passengers cars*. INRETS.

Kassomenos, P., Karakitsios, S., & Papaloukas, C. (2006). *Estimation of daily traffic emissions in a South-European urban agglomeration during a workday. Evaluation of several "what if " scenarios*. Grécia: Sciencedirect.

Kioutsioukis, I., & Tarantola, S. (s.d.). *Statistical evaluation of model uncertainties in Copert III*. Tessalónica: JRC.

Kioutsioukis, I., Tarantola, S., Saltelli, A., & Gatelli, D. (4 de Agosto de 2004). Uncertainty and global sensitivity analysis of road transport emission estimates. *Atmospheric Environment* 38, pp. 6609–6620.

KK SCV Tokyo. (2003). *Engine Tests*. Obtido em 6 de 1 de 2010, de KK SCV Tokyo: <http://www.svctokyo.jp/english/engine/1engine.html>

Knörr, W., Dünnebeil, F., Helms, H., Lambrecht, U., Höpfner, U., Patyk, A., et al. (2006). *TREMOT:Transport emission model*. Heidelberg: Commissioned by the Federal Environmental Agency.

Laboratórios de Engenharia Química. (2008). *Optimização de uma unidade de separação*. Lisboa: ISEL.

Laboratory of Applied Thermodynamics. (2005). *Copert auxiliary data*. Thessaloniki: LAT.

Laboratory of applied thermodynamics. (2005). *Bases de dados das frotas automóveis europeias*. Tessalónica: LAT.

Laboratory of applied thermodynamics. (2008). *European Database of vehicle stock for the calculation and forecast of pollutant and greenhouse gases emissions with Tremove and Copert*. Tessalónica: LAT.

LAT. (2008). *European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forecast of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with REMOVE and COPERT*. Tessalónica: LAT.

LAT. (s.d.). *European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forecast of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with REMOVE and COPERT*. Atenas: LAT.

Lee, D.-H. (2004). *Urban and regional transportation modeling*. Northampton: Edward Elgar.

Lenntech. (2009). *Chromium (CR)*. Obtido em 2009, de Lenntech: <http://www.lenntech.com/periodic-chart-elements/cr-en.htm>

Lenntech. (2009). *Copper*. Obtido em 2009, de Lenntech: <http://www.lenntech.com/periodic-chart-elements/Cu-en.htm>

Liebermann, E., & Rathi, A. K. (s.d.). *Traffic simulation*.

Luzia, M. (2009). *Monitorização do Desempenho Energético de um Veículo Híbrido Lexus*. Aveiro: UA.

Maintenanceresources. (s.d.). *Maintenanceresources.com*. Obtido em 2 de 10 de 2009, de Maintenanceresources.com: <http://www.maintenanceresources.com/>

Markus Friedrich, I. H. (2000). *A Dynamic Traffic Assignment Method for Planning and Telematic Applications*. Cambridge: Universität Stuttgart.

MEET. (1998). *Average Hot emission factors for passengers cars and light duty trucks*. Tessalónica: LAT.

Mellios, G., Van Aalst, R., & Samaras, Z. (2006). Validation of road traffic urban emission inventories by means of concentration data measured at air quality monitoring stations in Europe. *Atmospheric Environment* 40 , 7362-7377.

Mensink, C., Vlieger, I. D., & Nys, J. (3 de Abril de 2000). An urban transport emission model for the Antwerp area. *Atmospheric Environment* 34 , pp. 4595-4602.

Michael Hafner, R. I. (s.d.). *The use of stationary and dynamic emissions models for an improved engine performance in legal test cycles*. Darmstadt: Darmstadt University of Technology.

Ministério dos transportes do Brasil. (2006). *Manual de Estudos de Tráfego*. Rio de Janeiro: IPR.

Monteiro, C. A. (2006). *Entrepreneurial local governance modes for sustainable mobility management. The case of Portuguese municipalities*. Porto: FEUP.

MOPTC. (2009). *Plano estratégico de transportes*. Lisboa.

Moshe Ben-Akiva, M. B. (1998). *DynaMIT: a simulation-based system for traffic prediction*. Delft: MIT.

Munich Re. (2008). *Catastrophe figures for 2008 confirm that climate agreement is urgently needed*. Munich.

National Renewable Emissions Laboratory. (2009). *National Renewable Emissions Laboratory*. Obtido em 1 de 5 de 2009, de Investigation and conclusions: http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/npbf/pubs_biodiesel.html

Nourish, Replenish, & Gnow. (2004). *Health effects of ammonia*. Washington: The fertilizer institute.

Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2000). *Methodology and emission factors*. Copenhaga: EEA.

Ocaña, J. C. (2003). *A União Europeia: O Processo de Integração e a Cidadania Europeia*. Obtido em 2009, de <http://www.historiasiglo20.org/europortug/maastricht.htm>

OCDE. (2005). *UNECE*. Obtido em 02 de 10 de 2009, de UNECE: www.unece.org

Oeinger. (2008). *Inventário de emissões de GEE das Actividades do Concelho de Oeiras*. Oeiras: Oeinger.

Oliveira, C., & Matos, M. (s.d.). *Caracterização da Poluição Atmosférica por Aerossóis*.

Oxford University Press. (2008). *Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press.

Pacheco, E. M. (1992). *Os transportes colectivos rodoviários no Grande Porto*. Coimbra: FEUP.

Parente, J. (2008). *Energy Management*. Lisboa: IST.

Parlamento Europeu. (2004). *News Room*. Obtido em 2009, de O Parlamento em acção: <http://www.europarl.europa.eu/highlights/pt/705.html>

- Pereira, R. (2005). *Fiscalidade e política de ambiente: o caso do sector automóvel*. Aveiro: UA.
- Pimentel, M. L. (2008). *Transportation Modelling for Environmental Impact Assessment*. Porto: FEUP.
- Pinho, O., & Ferreira, I. (2008). *contaminantes alimentares resultantes de processamento térmico*. Porto.
- Saija, S., & Romano, D. (2002). *A methodology for the estimation of road transport air*.
- Santos, F. D., Moita, R., & Forbes, K. (2001). *Mudança Climática em Portugal cenários, impactes e medidas de adaptação SIAM*. Lisboa: Gradiva.
- SCAR. (2007). 2007 second warmest in past 120 years. Antartida.
- SIAM 2. (2002). *O clima de Portugal nos séculos XX e XXI*.
- Silva, C. (2006). *Copert III*. Lisboa: IST.
- Silva, C. d. (2008). *Comparative acessibility for Mobility Management*. Porto: FEUP.
- Silva, L. T., & Mendes, J. F. (2006). *Determinação do Índice de Qualidade do Ar numa Cidade de Média*. Guimarães: Universidade do Minho; Departamento de Engenharia Civil.
- Silva, R. (2009). *Modelação de emissões atmosféricas associadas aos Transportes no município de Leiria*. Leiria : UA.
- Slanina, S. (24 de Agosto de 2008). *Environmental Problems Caused by Local Air Pollution*. Obtido em 2009, de The enciclopedia of earth: http://www.eoearth.org/article/Impact_of_local_air_pollution
- Smita, R., Poelmanb, M., & Schrijver, J. (11 de Outubro de 2007). Improved road traffic emission inventories by adding mean speed distributions. *Atmospheric Environment* 42 , pp. 916–926.
- Soares, D. (2008). *Sistema de Informação Energético-Ambiental para Veículos Rodoviários*. Aveiro: UA.
- Sportisse, B. (2002). *Air pollution modelling and simulation*. Berlin : Springer.
- Stathopoulos, F. G., & Noland, R. B. (s.d.). *Induced travel and emissions from traffic flow improvement projects*. Transportation Research Board.

- Syckes, P. (2008). *Microsimulation and emissions modelling*. Paramics microsimulation.
- Szwarcfiter, L. (2004). *Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil*. Rio de Janeiro: URJ.
- Tavares, J. P. (2003). *Aplicabilidade e robustez de modelos de afectação de tráfego em redes urbanas*. Porto: FEUP.
- Tchepel, O. (2005). *Modelo de emissões para o transporte rodoviário*. Aveiro: UA.
- Tchepel, O. A. (2003). *Emission modelling as a decision support tool for Air Quality Management*. Aveiro: UA.
- TIS.PT. (2008). *Estudo de Mobilidade e Acessibilidades do Concelho de Oeiras*. Lisboa: TIS.PT.
- Toyota. (2009). *Avanços na tecnologia diesel*. Obtido em 2009, de Toyota: http://www.toyota.pt/inside_toyota/environment/green_technologies/advancing_with_diesel.aspx
- Trotter, M. (2006). *Elgin Transport Model*. Halcrow.
- U.E. (22 de 11 de 2007). *Normas Euro 5 e Euro 6: redução das emissões poluentes dos veículos ligeiros*. Obtido em 2009, de Sínteses de legislação da U.E.: http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28186_pt.htm
- UE. (2006). *Green Paper*. Bruxelas: UE.
- UE. (2008). *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council*. Bruxelas.
- UE. (2008). *Tornar o transporte mais ecológico*. Bruxelas: UE.
- UITP. (s.d.). *Better Mobility in Urban Areas*. Brussels: UITP.
- UN. (1998). *Kyoto protocol to the United Nations Framework*. Kyoto: UN.
- UNECE. (2009). *Transport Review*. Geneva: UNECE.
- ValorCar. (2008). *Relatório de actividade*. Lisboa: ValorCar.
- Vasconcelos, A. L. (2004). *Modelos de atribuição/simulação de tráfego: o impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Coimbra: UC.

Weaver, C. S., & Petty, L. E. (2004). *Reproducibility and Accuracy of On-Board Emission Measurements Using the RAVEM™ System*. SAE International.

WHO. (2000). *Cadmium*. Copenhagen: WHO.

World Health Organization. (2007). *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*. Copenhagen: WHO.

Zachariadis, T., & Samaras, Z. (2000). *Validation of road transport statistics through energy*.

Outra Bibliografia

Atjay, D., and Weilenmann, M. (2004): Compensation of the Exhaust Gas Transport Dynamics for Accurate Instantaneous Emission Measurement. *Environmental Science and Technology*, Vol 38 (19), pp. 5141-5148.

Boulter P. G., McCrae I. (2007): Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems – Final Report. TRL Report No. UPR/IE/044/07. TRL Limited, Berkshire, United Kingdom.

CE (2001): Programa Ar Limpo para a Europa (CAFE): Para uma Estratégia Temática em Matériade Qualidade do Ar. Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas

Coelho, M. C., T. L. Farias, and N. M. Roupail. N, Avaliação do Desempenho do Tráfego Rodoviário em Interrupções de Tráfego e seu Impacte ao Nível das Emissões de Poluentes (Assessment of Road Traffic Performance in Traffic Interruptions and their Impact on Pollutant Emissions), Magazine “Ingenium”, Portuguese Association of Engineering, in press, 2008.

Dravitzki, V.K., Brown, D.N., 1998. On-Board Vehicle Emission Measurement Technique for the Determination Effect of Route Attributes on Emission Rates. Presented at ARRB conference, Victoria.

Edwards J. D., Jr., P. E. (1999): Transport Planning Handbook – 2nd Edition. Institute of Transportation Engineers, Washington, USA.

EPA (2008): Latest Findings on National Air Quality – Status and Trends through 2006. EPA-454/R-07-007. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, USA. pp. 8-13.

Frey, H. C., Rhodes, D. S., (1999): Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Environmental Data and Models, Volume 1. Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, USA.

Niemeier et al (1999). D. Niemeier, K. Lin and J. Utts, Using observed traffic volumes to improve fine-grained regional emissions estimates. *Transportation Research D* 4 5 (1999), pp. 313–332.

Nijkamp, P. and N. Castels (2001) “Transboundary environmental problems in the European Union: Lessons for air pollution policies, “*Journal of Environmental Law and Policy*, 4:501-517.

Orcutt, G., S. Caldwell, and R. Wertheimer. *Policy Exploration through Microanalytic Simulation*. Urban Institute Press, Washington, D.C., 1976.

Ortúzar S. J. D. and L. G. Willumsen, 1994, *Modelling transport*, Wiley

Papacostas and Prevedouros C.S. Papacostas and P.D. Prevedouros *Transportation Engineering and Planning*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1993).

Pinto N. N., Silva J. P., Pereira P. M. (2008): Projecto Mobilidade Sustentável para o Município de Leiria, Relatório 1 – Diagnóstico e Princípios Orientadores de Intervenção. Laboratório de Planeamento, Transportes e Sistemas de Informação Geográfica - Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal.

Reynolds A. W., Broderick B. M. (2000): Development of an Emissions Inventory Model for Mobile Sources. Transportation Research Part D. Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, Dublin, Ireland. pp. 77-101.

Roseiro, Maria N. V. (2003): Poluentes Atmosféricos: Algumas Consequências Respiratórias na Saúde Humana. Universidade de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

Samaras Z., Ntziachristos L. (1998): Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport – Average Hot Emission Factors for Passenger Cars and Light Duty Trucks. LAT Report No. 9811, Thessaloniki, Greece.

Schager, M. (2003): Automotive Evaporative Emissions Systems. Electronic Journal for Engineering Technology, Volume 5, No. 1, University of Southern Colorado. Acessível em: http://technologyinterface.nmsu.edu/5_1/5_1e/5_1e.html.

Smit, R., Smokers, R. and Schoen, E. (2005): VERSIT+LD: Development of a New Emission Factor Model for Passenger Cars Linking Real-world Emissions to Driving Cycle Characteristics. Proceedings of 14th International Symposium on Transport and Air Pollution Graz, Austria.

Tchepel O. A. (2003): Modelo de Emissões para Apoio à Gestão na Qualidade do Ar. Universidade de Aveiro. Tese de Doutoramento, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Aveiro, Portugal.

Transportation Modelling for Environmental Impact Assessment 124 Ntziachristos, L., Samaras, Z., 2000. COPERT IV: Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport – Methodology and Emission Factors, European Environment Agency

UE (2008): Ambiente: Comissão regozija-se com a adopção final da directiva sobre a qualidade do ar. IP/08/570, Bruxelas.

WBG (1998): Nitrogen Oxides. Pollution Prevention and Abatement Handbook - World Bank Group.

WHO (2003): Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. World Health Organization Working Group, Bonn, Germany.

WHO (2005): Particulate Matter Air Pollution: How it Harms Health. Fact Sheet Euro/04/05, World Health Organization, Berlin, Copenhagen, Rome.

WHO (2006): Air Quality Guidelines – Global Update 2005, Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.

Yu L., Jia S., Shi Q. (2008): A Synthesis of Transportation Emissions Research: Current Status and Future Directions. Center for Transportation Training and Research - Texas Southern University, Houston, Texas, USA.

ANEXO I - Estudios

AI.1- Estudo de Casos

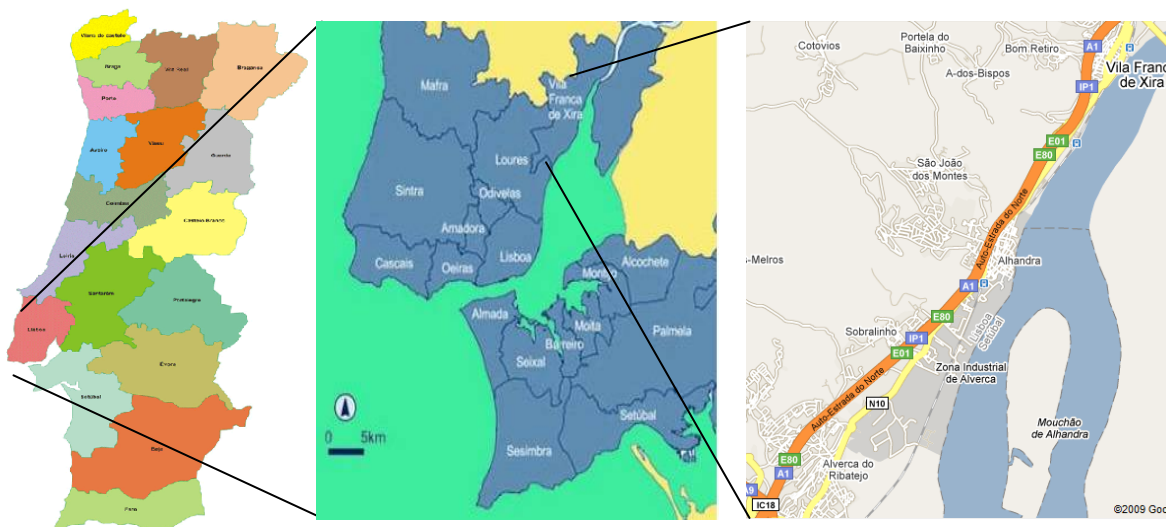
A integração dos modelos de emissões com processos de afectação de tráfego, é uma ferramenta que as autoridades devem empregar nas decisões de foro ambiental e de saúde pública. A principal função dos modelos de emissões consiste em calcular indicadores que permitam às autoridades desenvolver políticas e testar os efeitos dessas políticas, tendo em vista o alcance de um planeamento que consiga assegurar a sustentabilidade ambiental, equidade e eficiência do uso dos meios de transporte. A integração entre modelos de tráfego e ambientais consiste num sistema de suporte básico das autoridades que constantemente procuram novas formas de melhoria da eficiência dos transportes, da energia e do ambiente.

Esta secção tem por objectivo apresentar a síntese de uma aplicação prática da abordagem metodológica proposta. Pretende-se analisar uma área interurbana de modo a qualificar e quantificar os impactes decorrentes da actividade dos transportes rodoviários nesta área. A abordagem metodológica apresentada nos capítulos anteriores será suportada pelos estudos de caso apresentados. Pretende-se realizar uma análise, tirar conclusões e conseguir encontrar diversas soluções que possibilitem a melhoria dos impactes decorrentes do uso dos transportes.

AI.1.1 Área de estudo

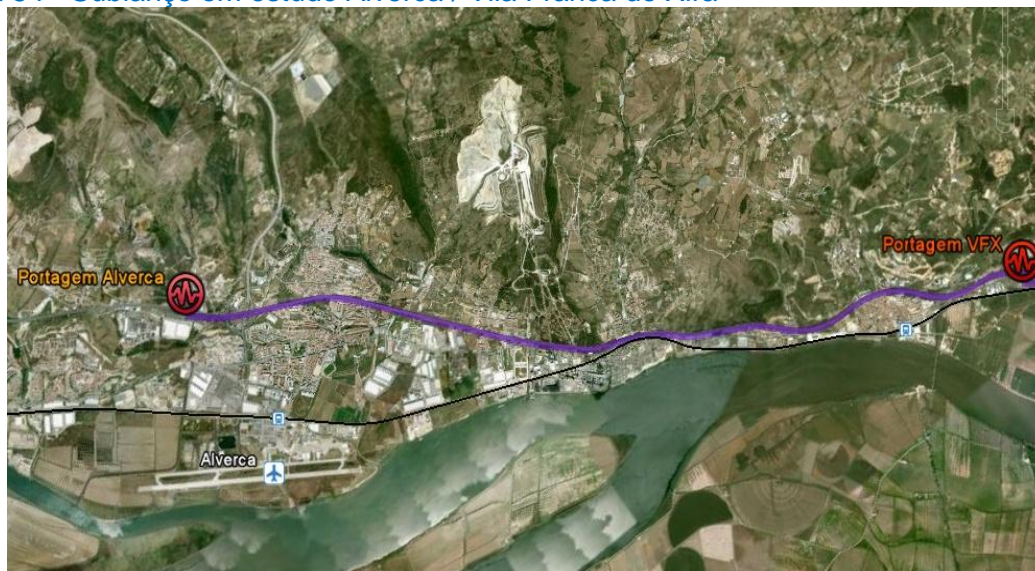
A área de estudo desenvolve-se dentro do concelho de Vila Franca de Xira, no distrito de Lisboa, está integrada na região de Lisboa (NUT II), na Grande Lisboa (NUT III). Esta estende-se numa área entre as coordenadas geográficas 38°53'15.34" e 38°58'11.27" de latitude Norte e os 9° 3'17.57" e 8°58'47.88 de longitude Oeste. A infra-estrutura em estudo pertence ao sublanço da auto-estrada do Norte, A1, e desenvolve-se entre as portagens de Alverca e as portagens de Vila Franca de Xira, numa extensão total de 12 quilómetros. A AE Norte, A1, consiste numa infra-estrutura com três vias em ambos os sentidos, que é utilizada diariamente por milhares de condutores e considerada uma ligação fundamental no país por ligar o Norte ao Sul por via rodoviária. A Figura 53 representa a zona de estudo da área interurbana em estudo e a Figura 54 ilustra o troço da AE Norte, entre as portagens de Alverca e Vila Franca de Xira pormenorizadamente.

Figura 53 - Área de estudo



Fonte: (Cuco Autogas, 2007)

Figura 54 - Sublanço em estudo Alverca / Vila Franca de Xira



Fonte: (Google, 2010)

AI.1.2 Procedimento de cálculo

O modelo de emissões necessita de um conjunto de dados de entrada que requerem um grau de certeza elevado para conseguir alcançar resultados de qualidade. Estes dados não são fáceis de obter e, muitas vezes, são necessários cálculos intermédios para estimar valores que têm um grau de incerteza envolvido.

O esquema do procedimento de cálculo proposto para o estudo da área inter-urbana está enunciado na Figura 55.

Figura 55 - Esquema do procedimento de cálculo usado no estudo na área inter-urbano



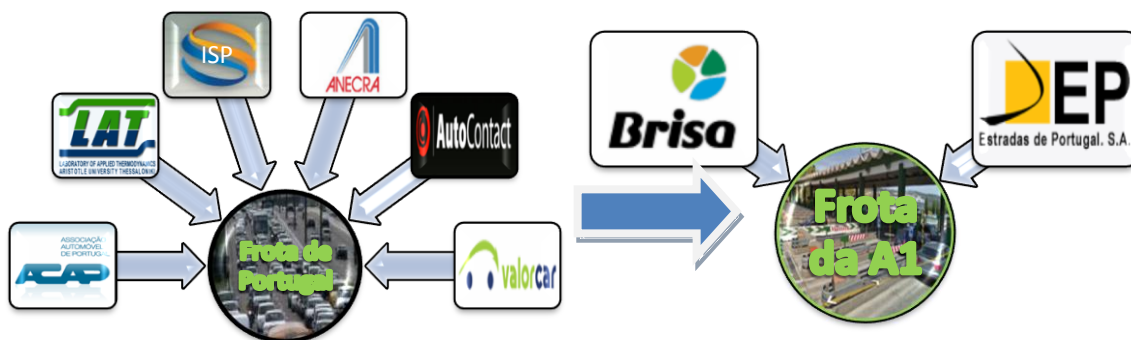
Fonte: Autor com base em (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AI.1.3 Dados de Frota

Os dados de frota são de grande importância e são determinantes para a qualidade das estimativas de emissões que se pretendem modelar. Estes dados requerem estudos aprofundados, com recurso a meios telemáticos de monitorização do tráfego, a dados dos centros de inspeção ou a inquéritos à população, com o intuito de se conseguir uma população representativa de veículos o mais próximo da realidade possível. Esta análise pretende “construir” um modelo de frota automóvel, que se baseie em dados estatísticos e de contagens de tráfego disponibilizados por autoridades idóneas e independentes.

O esquema de criação da frota modelo que utiliza a AE do Norte (A1), segue o processo descrito na Figura 56.

Figura 56 - Esquema da criação da frota da A1



Fonte: Autor com base (LAT, 2008)

A melhoria da qualidade dos dados prende-se com a actualização da frota automóvel nacional para o ano de estudo (2008). Esta melhoria teve por base, a correcção da inconsistência entre dados estatísticos relativos ao número de ciclomotores no país em 2005 e os dados do número de ciclomotores fornecidos pelo Instituto Seguros de Portugal (ISP) para o mesmo ano. Outra inconsistência verificada teve origem nos dados dos veículos pesados de mercadorias que correspondem aos dados dos veículos pesados no relatório da ACAP, o que é incorrecto, pois existem pesados de passageiros e de mercadorias no grupo dos pesados.

Ultrapassadas estas incongruências, a projecção da frota automóvel nacional, para o ano de 2008 é feita através da soma da população de veículos em 2005, com as importações de veículos usados e vendas de veículos novos, e por fim, da subtracção dos veículos sujeitos a abate. Para a actualização da frota nacional automóvel foi usada a seguinte equação:

$$\text{Veic}_{2008} = \text{Veic}_{2005} + \text{Importacao de veic}_{2006;2007;2008} + \text{Venda veic}_{2006;2007;2008} - \text{Abate Veic}_{2006;2007;2008}$$

[Eq.6]

- ✓ Veic_{2008} – Número total de veículos da classe i para o ano de 2008
- ✓ Veic_{2005} – Número total de veículos da classe i para o ano de 2005
- ✓ Importação de $\text{veic}_{2006;2007;2008}$ – Importação de veículos da categoria i entre 2006 e 2008
- ✓ Venda $\text{veic}_{2006;2007;2008}$ – Venda de veículos entre 2006 e 2008 da categoria i
- ✓ Abate $\text{Veic}_{2006;2007;2008}$ – Abate de veículos entre 2006 e 2008 da categoria i

Frota nacional automóvel no ano de 2005

A frota nacional automóvel foi obtida através da base de dados do LAT e está descrita na Tabela 33.

Importação de veículos usados

A importação de veículos é um fenómeno que, ao longo dos últimos anos, tem aumentado, isso acontece devido aos preços atractivos dos veículos que chegam de países estrangeiros, como a Alemanha e a França. Durante anos, estes veículos chegavam a preços competitivos ao mercado automóvel português, devido ao sistema fiscal em vigor na altura, que os tornava muito atractivos. As vendas de veículos usados entre os anos de 2005 e 2008 estão representadas na Tabela 25.

Tabela 25 – Vendas de veículos usados ligeiros de passageiros

Tipo veículo	2006	2007	2008	Anos
Ligeiros passageiros	44.257	48.892	44.145	Nº de veículos
Comerciais Ligeiros	1.250	1.615	1.386	
Pesados Mercadorias	2.154	2.091	2.123 ¹⁹	
Pesados Passageiros	324	386	355 ¹	

Fonte: (ACAP, 2009)

O método usado para quantificar a importação de usados consoante a tecnologia de emissão, tipo de combustível, tipo de veículo e a sua motorização foi baseado no estudo da entidade *Autocontact* (2009), sobre veículos importados usados. Este estudo revela as marcas de veículos importados usados mais vendidos e as suas percentagens no mercado nacional, representados na Tabela 26.

A idade dos veículos é um dado importante para a qualificação da tecnologia de emissão dos veículos importados. Nesta análise, admitiu-se que os veículos importados seguem as percentagens descritas na Tabela 27. Por fim, foi admitido que as motorizações dos veículos usados importados seguem a disposição Tabela 28, esta situação revela-se pelo facto de os veículos de alta cilindrada e sobretudo a gasóleo serem os veículos mais atractivos de acordo com o sistema fiscal em vigor na altura. Os veículos a gasóleo apresentam diversas vantagens, como: menor preço do combustível, devido à menor carga fiscal; menores consumos, quando comparados com veículos a gasolina de características idênticas de potência; maior durabilidade e performances idênticas aos veículos a gasolina, sendo que as últimas se devem às novas tecnologias de injeção de combustível. Por estes motivos, cerca de 90% do mercado de importações de usados foi dominado por estes automóveis.

A importação de veículos pesados de mercadorias foi efectuada, sobretudo, através da compra de veículos com idade elevada a países como a Alemanha. Dados da ANECRA

¹⁹ valor obtido por média dos anos anteriores

indicam que a maioria de importações destes veículos tem mais de 10 anos e tecnologia EURO II.

Os veículos pesados de passageiros são, segundo a ANECRA, na sua maioria, veículos importados com mais de 18 anos, ou seja, com tecnologias EURO I e Euro II.

Em relação à importação de motociclos, não há informações relevantes.

Tabela 26 - Marcas de veículos importados usados mais vendidas

Marca	% De Mercado viaturas Importadas usadas
Mercedes Benz	26,9%
Audi	18,7%
BMW	10,1%
VW	14,2%
Renault	4,9%
Peugeot	2,4%
Opel	2,0%
Seat	1,7%
Ford	2,6%
Citroën	1,0%
Fiat	1,2%
Toyota	1,1%
Volvo	0,6%
Outras	12,5%

Fonte: (Autocontact Portugal, 2009)

Tabela 27 – Frota consoante a idade do veículo

		% De Frota consoante a idade do veículo			
		Anos	2007	2008	2009 ¹
Idade dos veículos importados	> 2		9,40%	8,10%	8,75%
	3 – 5		47,60%	47,30%	47,45%
	6 – 10		33,40%	35,10%	34,25%
	<11		9,60%	9,50%	9,55%

Fonte: (Autocontact Portugal, 2009)

Tabela 28 – Percentagem de veículos por cilindrada e tipo de combustível mais vendido a nível nacional

Cilindrada & Tipo combustível	Diesel <2,0 L	Diesel > 2,0 L	Gasolina 1,4 – 2,0 L	Gasolina > 2,0 L
% De veículos	53,0%	34,2%	2,5%	10,3%

Fonte: Autor com base em (Autocontact Portugal, 2009)

Desmantelamento

O desmantelamento de veículos é um processo que consiste na separação destes em três fracções: materiais ferrosos, não ferrosos e resíduos de fragmentação. Após estes processos, os veículos são reciclados ou enviados para aterro. Em Portugal, a entidade encarregue da gestão de veículos em fim de vida (VFV) é a *ValorCar*, esta entidade está ao abrigo do programa de incentivo fiscal aos VFV, em que se oferece ao proprietário do VFV um desconto na compra de um veículo novo, segundo as novas directivas ambientais europeias (EURO IV), em troca do seu VFV.

A rede *ValorCar* fornece dados de veículos ligeiros de passageiros e comerciais para os anos de entre 2006 e 2008. Estes dados resumem-se a veículos que foram sujeitos a desmantelamento através do programa de incentivo fiscal ou por livre vontade do proprietário em conceder o seu VFV para abate sem receber nenhuma compensação por isso. Desde o início deste programa já se desmantelaram cerca de 232.020 viaturas desde a implementação do programa. Os veículos desmantelados fora da rede *ValorCar* (Pesados) são quantificados pela seguinte equação:

$$\text{Abate Veic}_{\text{Fora Rede Valorcar};2008} = \text{Veic}_{2008} - (\text{Vendas Veic}_{2008;2007;2006} + \text{Importação de Usados}_{2008;2007;2006})$$

[Eq.7]

- $\text{Abate Veic}_{\text{Fora Rede ValorCar};2008}$ – Abate de veículos fora da rede *ValorCar* para o ano de 2008
- Veic_{2008} – Número de Veículos estimados para o ano de 2008
- $\text{Vendas Veic}_{2008;2007;2006}$ – Vendas de veículos entre 2006 e 2008
- $\text{Importação de Usados}_{2008;2007;2006}$ – Importação de veículos usados entre 2006 e 2008

O abate de veículos segue uma tendência conhecida. O LAT aconselha o uso da curva de desmantelamento estudada para a frota alemã (Figura 57). Em Portugal a rede *ValorCar* fornece dados que podem complementar este gráfico com a realidade Portuguesa, embora apenas possa ser usada para o caso dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais.

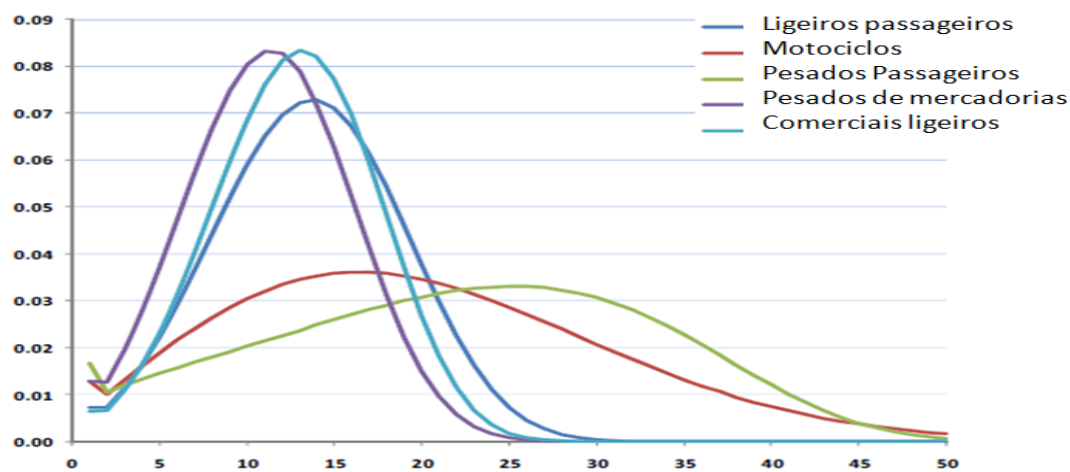
A curva de abate de veículos mencionada no Figura 58 exemplifica as curvas de abate em Portugal e na Alemanha. Estas curvas revelam os comportamentos dos proprietários nos dois países europeus em relação ao abate dos veículos. O estudo destas curvas indica que em Portugal são abatidos veículos ligeiros com média de 17 anos e na Alemanha, com 14 anos de vida. Os declives pouco acentuados da curva de abate alemã, em relação a à curva portuguesa, indicam ainda que os veículos, para além de serem demolidos mais cedo, são abatidos em menor número com aumento da idade.

Para a estimativa dos desmantelamentos foi usada a curva média de abate para os três anos em estudo, na frota de veículos ligeiros de passageiros e comerciais.

A quantificação das tecnologias de emissão, de acordo com as motorizações dos veículos, foi feita admitindo-se uma simplificação. Esta consiste em relacionar os veículos abatidos com as proporções que as motorizações têm no mercado nacional, sendo assim, p. ex., os veículos de passageiros a gasolina de cilindrada inferior a 1,4 L correspondem em 2005 a 47% da frota automóvel, a simplificação efectuada, consiste em atribuir 47% dos veículos abatidos a este tipo motorização e fazer o mesmo para as restantes motorizações de veículos.

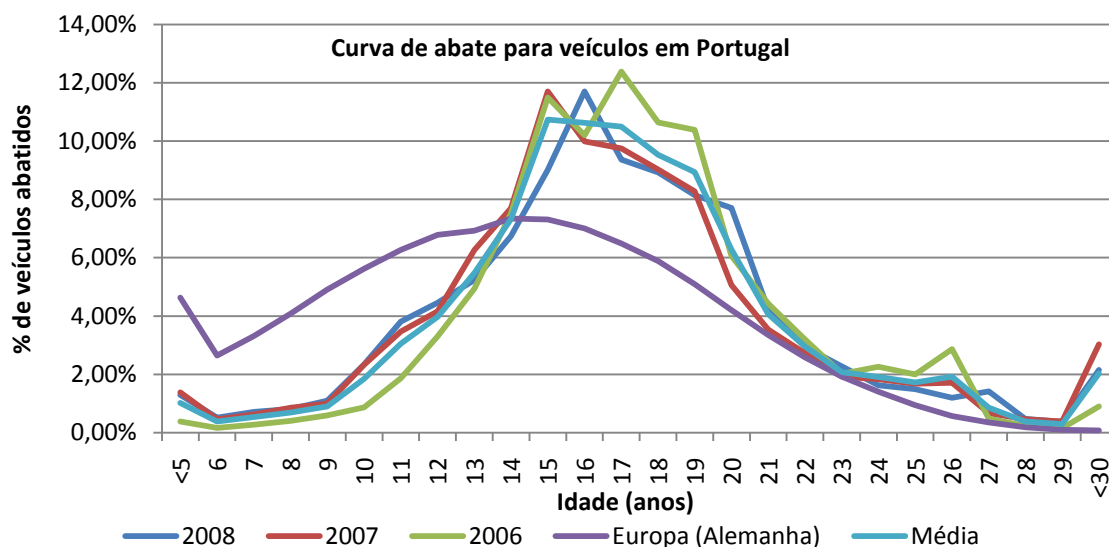
Para os veículos pesados e motociclos foram usadas as curvas de abate relativas à frota automóvel alemã.

Figura 57 - Curvas de Abate da frota automóvel alemã



Fonte: (Laboratory of applied thermodynamics, 2008)

Figura 58 - Curvas de Abate em Portugal



Fonte: (ValorCar, 2008)

Vendas

As vendas de veículos correspondem a dados recolhidos através da Associação automóvel Portuguesa (ACAP) para os anos em estudo, apresentando os valores da Tabela 29:

Tabela 29 – Vendas de veículos novos em Portugal

Anos	Veículos 2 Rodas	Ligeiros Passageiros	Comerciais Ligeiros	Pesados Mercadorias	Pesados Passageiros	Total
2006	17.944	194.702	64.487	5.406	579	267.180
2007	17.559	201.816	68.421	5.644	725	278.613
2008	17.998	213.389	55.404	5.536	798	277.135

Fonte: (ACAP, 2009)

Cálculo da frota automóvel em Portugal

Através dos dados anteriormente referidos procedeu-se ao cálculo da frota automóvel nacional actualizada. É de notar que foram desprezados valores, como a reconversão de veículos de gasolina para gás e a exportação de veículos.

A frota automóvel que usa a AE Norte (A1) contém veículos que, legalmente, não podem circular em AE, como é o caso dos ciclomotores. Existem também veículos que não usam esta infra-estrutura, como os veículos pesados de passageiros com função de transporte colectivo urbano rodoviário de passageiros. Os dados de frota estão descritos na Tabela 33.

A quantificação e qualificação da frota automóvel em Portugal seguem as referências designadas na Tabela 30 que estão de acordo com a metodologia EMEP/CORINAIR.

Tabela 30 – Procedimentos para a execução da Frota para o uso no Programa COPERT IV

Avaliação da importância da informação de frota	Valor	Estatística	Notas
Nº total de veículos por classe	+	+	Disponibilidade de registos de ciclomotores
Distinção do tipo de combustível do veículo	+	+	Disponibilidade de registos de reconversão do tipo de combustível
Distribuição dos veículos e motociclos pelas classes de motor	+/-	-	Não é importante para poluentes convencionais só para o CO ₂
Distribuição dos veículos Pesados por classes de peso	+	-	Tamanho do veículo para poluentes convencionais e CO ₂ .
Distinção de veículos pelo nível de tecnologia	+	-	Carros importados, carros em 2ª mão e taxas de abate são um problema
Quilometragem anual efectuada	+	+	Pode ser estimado através do consumo total de combustível. O efeito da quilometragem com o aumento da idade do veículo requer atenção
Velocidade de condução urbana	+/-	-	Afecta os factores de emissão
Velocidade de condução em ambiente A. E. e rural	-	-	Pequeno efeito nos factores de emissão, dentro do seu intervalo de variação
Quotas de quilometragem em função do tipo de ambiente de condução	-	-	Pequeno efeito nos factores de emissão, dentro do seu intervalo de variação

Fonte: (Laboratory of applied thermodynamics, 2008)

Dados de tráfego da AE Norte

Os dados de tráfego pretendidos para o estudo da zona interurbana, foram obtidos a partir do *site* da EP (EP, 2009). O troço da AE escolhido foi o sublanço entre Alverca e Vila Franca de Xira. Este troço dispõe de aparelhos de contagem de tráfego (VPR no ponto quilométrico (pk) 17,87) que quantificam as contagens das portagens de Alverca e Vila Franca de Xira em ambos os sentidos. Estas contagens são feitas, tendo por base, a classe do veículo. As contagens analisadas são apresentadas na Tabela 31 e Tabela 32.

Os dados recolhidos no sublanço em estudo são incompletos, em relação ao ano em estudo, pelo que é necessário fazer uma estimativa de tráfego entre os meses de Junho e Dezembro de 2008. A forma usada foi uma estimativa que tem por base os resultados de tráfego no sublanço a montante (Nó IC17/CRIL (Sacavém) - Nó Santa Iria da Azóia).

A escolha deste sublanço foi feita, devido ao facto de o sublanço em causa apresentar a totalidade dos dados de tráfego para o ano de 2008. O facto de este sublanço anteceder o sublanço em estudo faz com que haja uma correlação muito forte nos resultados de tráfego da via em estudo. Esta correlação deve-se ao facto de muito do tráfego que viaja no sublanço a montante do sublanço de estudo ter continuidade na sua viagem e usar ambas infra-estruturas e com isto influenciar directamente o tráfego da via em estudo, por esse motivo admitiu-se que os comportamentos de ambas infra-estruturas são iguais.

Em termos percentuais, as oscilações de volumes de tráfego verificadas nos dois sublanços (Figura 59), nos seis primeiros meses do ano, são reduzidas. O comportamento da tendência dos volumes de tráfego é muito idêntico, o que sugere uma estimativa com base no sublanço a montante do sublanço de estudo. Para os meses posteriores a Junho, em que existem um hiato de informação, foi adoptada a mesma tendência de volume de tráfego do sublanço a montante do sublanço de estudo. Os resultados são apresentados nas Tabelas 31/32 e Figuras 60/61.

Figura 59 - Comportamento dos volumes de tráfego nos veículos ligeiros no sublanço de estudo e no sublanço IC17/CRIL/Santa Iria

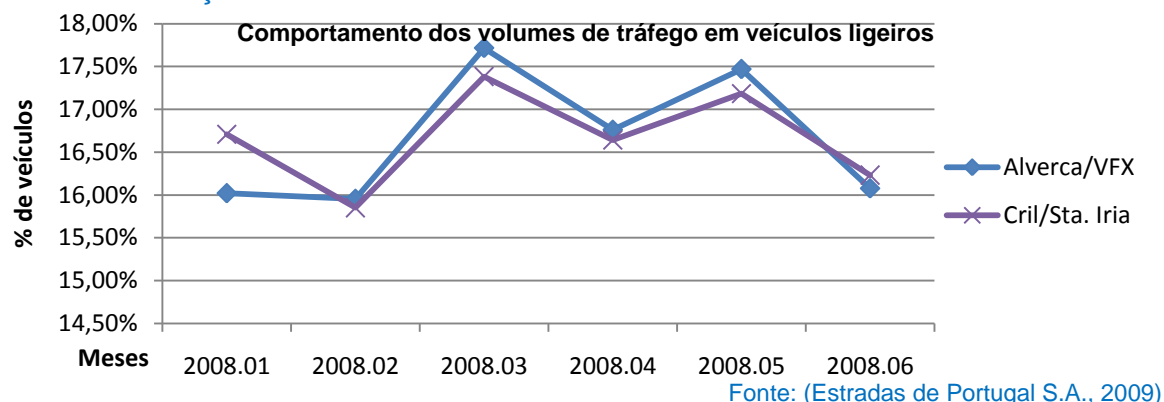
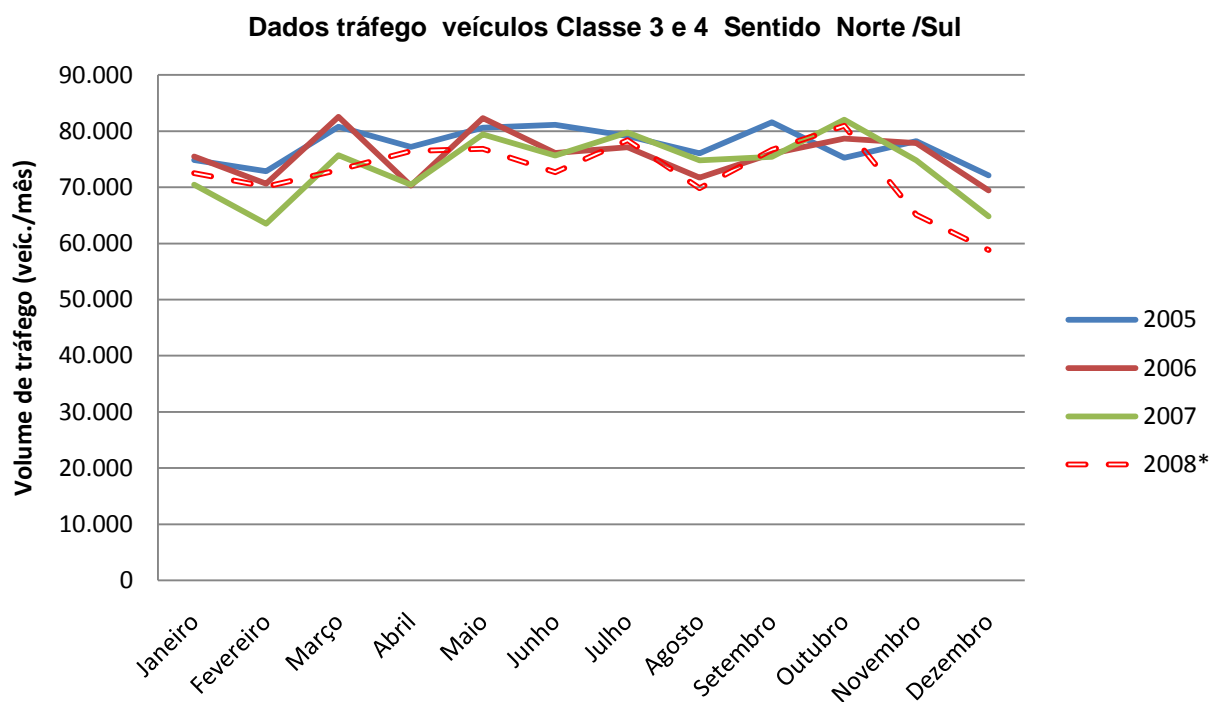
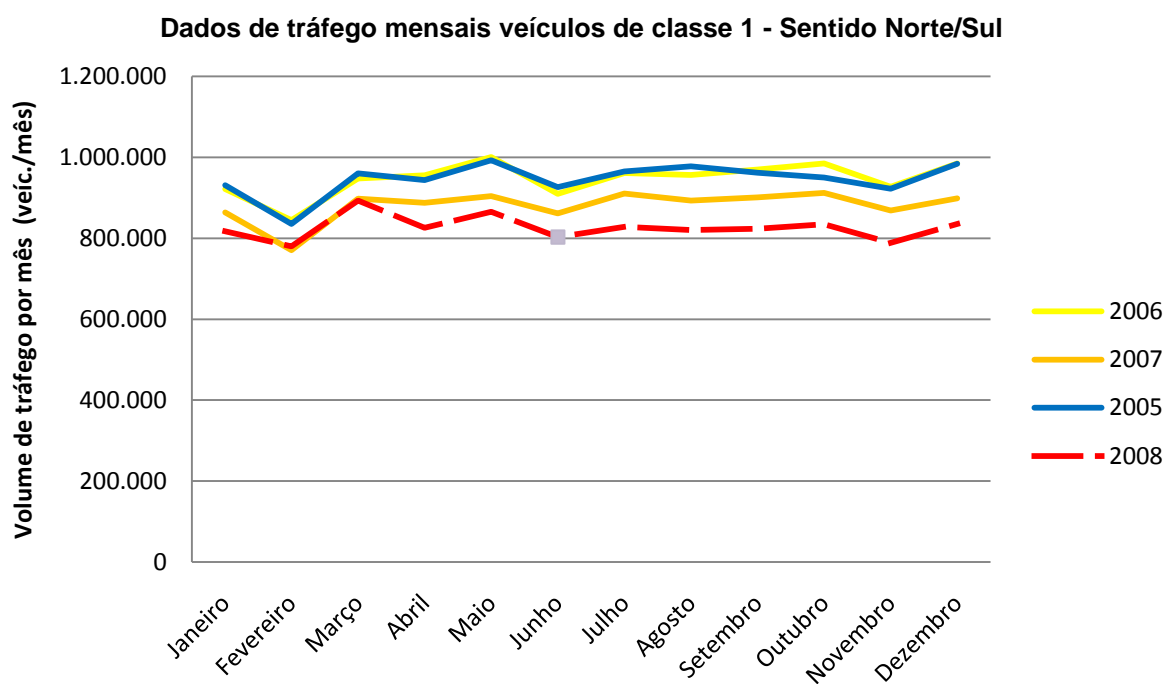


Figura 60 - Dados de tráfego do sublanço Alverca/VFX nos veículos de classe 3 e 4



Fonte: (Estradas de Portugal S.A., 2009)

Figura 61 - Dados de tráfego do sublanço Alverca/VFX nos veículos de classe 1



Fonte: (Estradas de Portugal S.A., 2009)

Tabela 31 - Dados de Portagem no sentido N/S

2008 - Dados Portagem sentido Norte-Sul				
Data	Classe 1 (veíc)	Classe 2 (veíc)	Classe 3 (veíc)	Classe 4 (veíc)
2008.01	817.289	147.951	10.158	72.515
2008.02	780.277	142.102	9.626	70.125
2008.03	893.203	152.324	9.794	73.107
2008.04	825.788	150.406	10.435	76.447
2008.05	865.241	153.491	10.330	76.831
2008.06	80.2778	144.572	9.369	72.676
2008.07*	828.666	150.011	10.980	78.381
2008.08*	820.790	148.585	9.781	69.823
2008.09*	823.966	149.160	10.738	76.657
2008.10*	834.430	151.054	11.343	80.972
2008.11*	788.444	142.729	9.117	65.082
2008.12*	835.698	151.284	8.240	58.823
Total	9.916.571	1.783.668	119.910	871.440
TMDA	27.169	4.887	329	2.388

* dados que foram obtidos a partir de extrapolação do sublanço CRIL/Sta. Iria

Fonte: (Estradas de Portugal S.A., 2009)

Tabela 32 - Dados de Portagem no sentido S/N

2008 - Dados Portagem sentido Sul-Norte				
Data	Classe 1 (veíc)	Classe 2 (veíc)	Classe 3 (veíc)	Classe 4 (veíc)
2008.01	764.031	133.648	9.178	61.058
2008.02	762.796	131.174	8.697	58.445
2008.03	853.623	139.009	8.879	61.187
2008.04	801.442	137.673	9.438	65.364
2008.05	837.262	141.561	9.285	65.756
2008.06	768.681	132.172	8.524	62.871
2008.07*	774.667	135.508	9.920	65.997
2008.08*	767.304	134.221	8.837	58.791
2008.09*	770.273	134.740	9.702	64.546
2008.10*	780.055	136.451	10.248	68.179
2008.11*	737.065	128.931	8.237	54.800
2008.12*	781.241	136.658	7.445	49.529
Total	9.398.440	1.621.746	108.392	736.523
TMDA	25.749	4.443	297	2.018

* dados que foram obtidos a partir de extrapolação do sublanço CRIL/Sta. Iria

Fonte: (Estradas de Portugal S.A., 2009)

Frota de veículos na A1

A classificação dos dados obtidos da A1 é descrita pelas classes dos veículos (Tabela 33). Este facto aparenta ser um problema, pois a classificação por classes é incompatível com a classificação adoptada pela frota nacional. Para ultrapassar esta incompatibilidade é necessário fazer certos ajustes que estimem a frota modelo que usa a infra-estrutura.

Estes ajustes prendem-se com o facto de a classificação por classes de portagem contabilizar, muitas vezes, veículos da mesma tipologia em classes diferentes, é o caso dos veículos todo-o-terreno que, normalmente, são taxados como classe 2 e caso dos veículos ligeiros comerciais que, no caso dos veículos com altura inferior a 1,1 m, são classificados como classe 1. Para ultrapassar tal situação, é necessário fazer ajustamentos, como:

- Percentagem de veículos todo-o-terreno no grupo dos veículos ligeiros de passageiros a gasóleo (Figura 62);
- Percentagem de veículos comerciais ligeiros que se enquadram na classe 1 (Figura 63);

A forma de obtenção destes ajustamentos foi feita com base nas vendas de veículos. No caso dos veículos todo-o-terreno, por serem veículos que não se conseguem identificar nos dados do relatório da ACAP para a frota automóvel nacional (ACAP, 2009), é necessário ponderar a percentagem da população que se insere dentro do universo dos veículos ligeiros de passageiros. Foi admitido que a média das vendas, desde 1991 até 2008, pondera esta população de veículos. No caso dos veículos ligeiros comerciais que pagam classe 1 a estimativa feita teve por base a média de vendas dos veículos ligeiros comerciais com peso bruto abaixo de 1,5 ton desde 2004 até 2008. A Tabela 33 ilustra as frota nacional disponibilizada pelo LAT, a frota actualizada para o ano de 2008 e as frotas modelos para ambos os sentidos na AE Norte (A1).

Tabela 33 – Frota automóvel nacional e de estudo

	Subsector	Tecnologia	COPERT	Frota	A1 S/N	A1 N/S
			2005	2008		
Ligeiros Passageiros	Gasolina < 1,4 l	ECE 15/03	62.345	57.390	323	341
		ECE 15/04	486.927	452.538	2.545	2.688
		Euro I	394.931	373.784	2.102	2.221
		Euro II	443.517	437.508	2.461	2.599
		Euro III	310.012	308.855	1.737	1.835
		Euro IV	38.929	216.533	1.218	1.286
	Gasolina <1,4 l	Total	1.739.005	1.846.609	10.387	10.970
	Gasolina 1,4 - 2,0 l	ECE 15/03	12.461	9.695	55	58

	Subsector	Tecnologia	COPERT	Frota	A1 S/N	A1 N/S
			2005	2008		
Comerciais Ligeiros		ECE 15/04	199.069	179.877	1.012	1.069
		Euro I	242.535	231.033	1.300	1.373
		Euro II	290.506	288.782	1.624	1.716
		Euro III	194.629	195.382	1.099	1.161
		Euro IV	30.694	42.051	237	250
	Gasolina 1,4 - 2,0 l	Total	971.202	946.820	5.326	5.625
	Gasolina >2,0 l	ECE 15/03	1.194	1.028	6	6
		ECE 15/04	10.556	9.401	53	56
		Euro I	11.122	11.640	65	69
		Euro II	17.865	24.340	137	145
		Euro III	12.322	18.018	101	107
		Euro IV	5.240	7.945	45	47
	Gasolina >2,0 l	Total	58.379	72.374	407	430
	Gasolina	Total	2.768.586	2.865.803	16.120	17.025
	Gasóleo <2,0 l	Convencional	33.307	30.786	173	183
		Euro I	114.200	109.475	616	650
		Euro II	228.636	240.679	1.354	1.430
		Euro III	254.875	292.465	1.645	1.737
		Euro IV	78.521	461.984	2.599	2.745
	Gasóleo <2,0 l	Total	709.538	1.135.390	6.386	6.745
	Gasóleo >2,0 l	Convencional	5.305	4.580	26	27
		Euro I	9.663	10.792	61	64
		Euro II	49.178	61.664	347	366
		Euro III	91.743	116.497	655	692
		Euro IV	48.126	81.981	461	487
	Gasóleo >2,0 l	Total	204.015	275.514	1.550	1.637
	Gasóleo	Total	913.553	1.410.904	7.936	8.382
	LPG	Convencional	5.087	5.087	29	30
		Euro I	6.585	6.585	37	39
		Euro II	3.730	3.730	21	22
		Euro III	578	578	3	3
		Euro IV	1	90	1	1
LPG	Total	15.981	16.070	90	95	
Híbrido Gasolina >2,0 l	Euro IV	0	4.337	24	26	
Outros	Total	0	4.337	24	26	
	Total	3.696.055	4.297.114	24.171	25.528	
Gasóleo <3,5 t	Convencional	167.560	105.362	358	392	
	Euro I	371.988	231.709	788	863	
	Euro II	406.046	310.142	1.055	1.155	
	Euro III	289.247	351.098	1.195	1.307	

Anexo I – Estudio de Casos

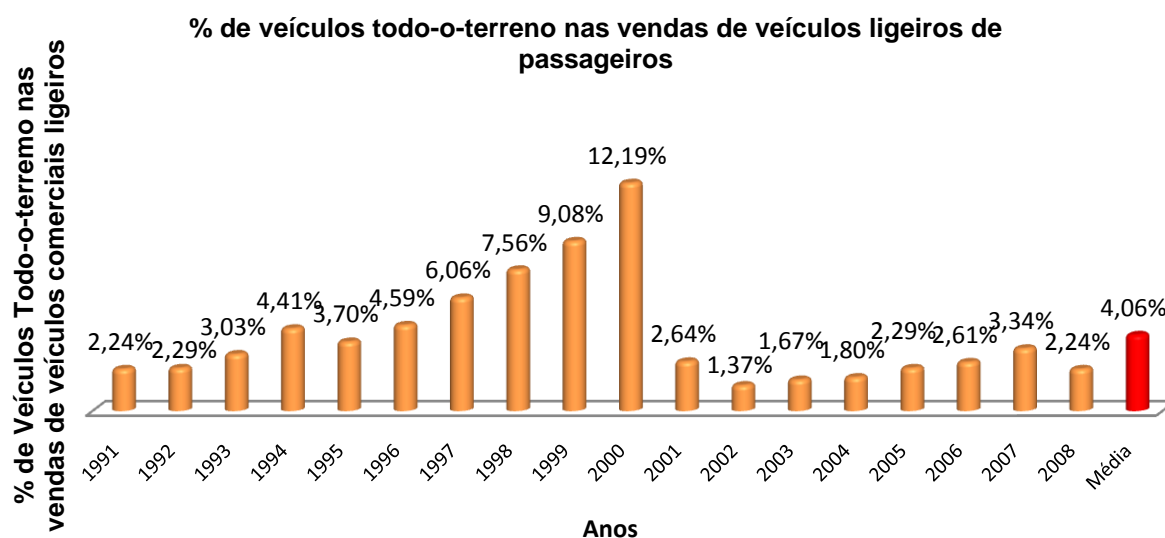
	Subsector	Tecnología	COPERT	Frota	A1 S/N	A1 N/S
			2005	2008		
Pesados de Mercaderías		Euro IV	0	201.689	686	751
	Gasóleo	Total	1.234.841	1.200.000	4.083	4.469
	LPG	Convencional	1.318	1.318	4	5
		Euro I	2.366	2.366	8	9
		Euro II	1.078	1.078	4	4
	LPG	Total	4.857	4.857	17	18
		Total	1.239.698	1.204.857	4.099	4.487
	Rígido <=7,5 t	Convencional	4.599	3.269	64	75
		Euro I	3.573	2.382	47	55
		Euro II	4.135	4.172	82	96
		Euro III	3.519	3.026	60	70
		Euro IV	0	2.326	46	54
	Rígido <=7,5 t	Total	15.827	15.157	299	349
	Rígido 7,5 - 12 t	Convencional	6.849	4.863	96	112
		Euro I	5.324	3.544	70	82
		Euro II	6.222	6.277	124	144
		Euro III	5.241	4.505	89	104
		Euro IV	0	729	14	17
	Rígido 7,5 - 12 t	Total	23.635	19.890	392	458
	Rígido 12 - 14 t	Convencional	6.849	4.862	96	112
		Euro I	5.326	3.547	70	82
		Euro II	6.223	6.279	124	144
		Euro III	5.241	4.505	89	104
		Euro IV	0	327	6	8
	Rígido 12 - 14 t	Total	23.639	19.491	384	448
	Rígido 14 - 20 t	Convencional	8.005	5.679	112	131
		Euro I	6.254	4.170	82	96
		Euro II	7.299	7.364	145	169
		Euro III	6.126	5.264	104	121
		Euro IV	0	917	18	21
Rígido 14 - 20 t	Total	27.684	23.360	460	537	
Rígido 20 - 26 t	Convencional	1.157	824	16	19	
	Euro I	910	611	12	14	
	Euro II	1.008	1.017	20	23	
	Euro III	885	762	15	18	
	Euro IV	0	1.672	33	38	
Rígido 20 - 26 t	Total	3.960	4.882	96	112	
Rígido 26 - 28 t	Convencional	1.157	824	16	19	
	Euro I	910	611	12	14	
	Euro II	1.016	843	17	19	

	Subsector	Tecnologia	COPERT	Frota	A1 S/N	A1 N/S	
			2005	2008			
Pesados de Mercadorias	Rígido 26 - 28 t	Euro III	885	944	19	22	
		Euro IV	0	655	13	15	
	Total	3.968	3.872	76	89		
	Rígido 28 - 32 t	Convencional	1.157	824	16	19	
		Euro I	910	611	12	14	
		Euro II	1.014	1.023	20	24	
		Euro III	885	762	15	18	
		Euro IV	0	655	13	15	
		Total	3.966	3.870	76	89	
	Articulado 14 - 20 t	Convencional	8.005	5.678	112	131	
		Euro I	6.258	4.174	82	96	
		Euro II	7.298	7.363	145	169	
		Euro III	6.126	5.264	104	121	
		Euro IV	0	6.492	128	149	
	Total	27.687	28.938	570	666		
	Articulado 20 - 28 t	Convencional	1.157	823	16	19	
		Euro I	909	610	12	14	
		Euro II	1.019	1.029	20	24	
		Euro III	885	761	15	18	
		Euro IV	0	1.045	21	24	
	Total	3.971	4.264	84	98		
	Articulado 28 - 34 t	Convencional	1.157	824	16	19	
		Euro I	910	612	12	14	
		Euro II	1.008	1.017	20	23	
		Euro III	885	762	15	18	
		Euro IV	0	1.043	21	24	
	Total	3.960	4.254	84	98		
	Total			138.296	127.979	2.522	2.944
	Pesados <=18 t	Passageiros	Convencional	2.627	2.827	13	15
			Euro I	790	990	5	5
Euro II			1.464	1.464	7	8	
Euro III			811	811	4	4	
Euro IV			0	782	4	4	
Total	5.693	6.874	32	36			
Pesados >18 t	Passageiros	Convencional	2.627	2.827	13	15	
		Euro I	790	990	5	5	
		Euro II	1.464	1.464	7	8	
		Euro III	811	811	4	4	
		Euro IV	0	782	4	4	
Total	5.693	6.874	32	36			

	Subsector	Tecnologia	COPERT	Frota	A1 S/N	A1 N/S
			2005	2008		
			Veículos 2 rodas			
	>18 t	Total	15.174	13.748	65	72
	4-tempos <250 cm ³	Convencional	32.422	32.422	186	196
		Euro I	33.261	33.261	190	201
		Euro II	0	11.951	68	72
	4-tempos <250 cm ³	Total	65.684	77.635	445	469
	4-tempos 250 - 750 cm ³	Convencional	18.264	18.264	105	110
		Euro I	18.737	18.737	107	113
		Euro II	0	12.839	74	78
	4-tempos 250 - 750 cm ³	Total	37.001	49.840	285	301
	4-tempos >750 cm ³	Convencional	12.253	12.253	70	74
		Euro I	12.570	12.570	72	76
		Euro II	0	8.294	47	50
	4-tempos >750 cm ³	Total	24.823	288.067	1.650	1.741
		Total	537.539	288.067	1.650	1.741
Total			5.626.762	5.931.764	32.507	34.771

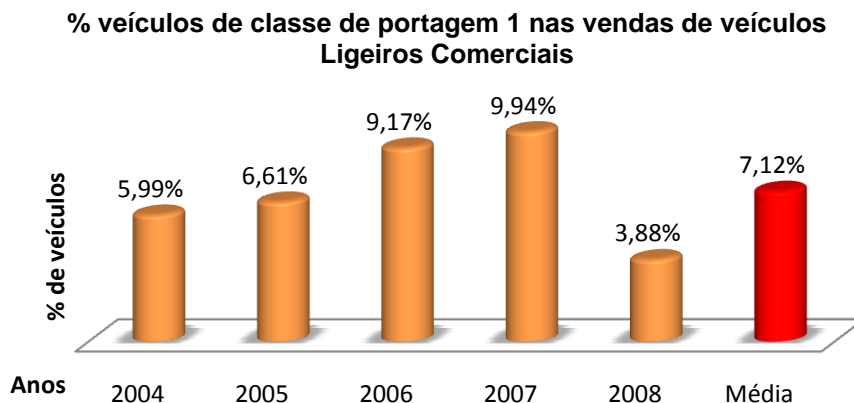
Fonte: (Laboratory of applied thermodynamics, 2005)

Figura 62 - Frota Média de veículos todo-o-terreno na classe de veículos ligeiros de Passageiros



Fonte: (ACAP, 2009)

Figura 63 - Frota média de comerciais Ligeiros de classe de portagem 1 inseridos dentro da classe dos veículos comerciais ligeiros



Fonte: (ACAP, 2009)

Após a recolha de dados e tratamento dos mesmos, com vista à melhoria da qualidade dos dados inseridos no modelo de emissões, alcançaram-se os seguintes resultados para a frota automóvel nacional representados nas Figuras 64/65.

Figura 64 - Percentagem de veículos classe 2 no universo do grupo de veículos ligeiros de passageiros



Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

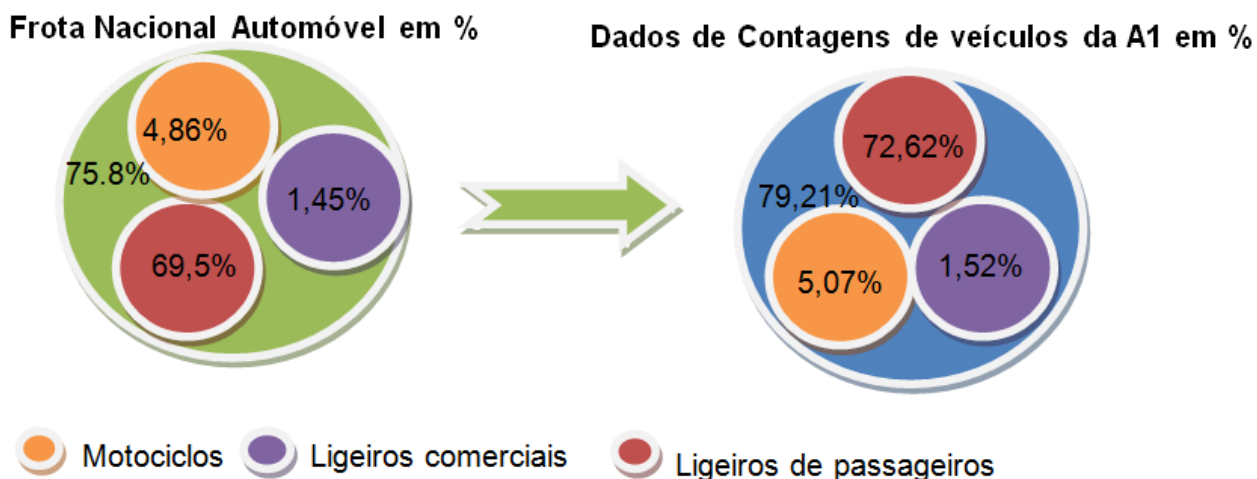
Figura 65 - Percentagem de veículos classe 1 no universo do grupo dos veículos ligeiros comerciais



Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

Através destes resultados, consegue requalificar-se a base de dados da frota nacional na forma de classe de portagem. A base de dados da frota automóvel nacional e os dados de tráfego da AE Norte têm de ser combinados, para resultar numa frota automóvel modelo que usa a infra-estrutura em estudo. A combinação é feita através da classificação da frota nacional por classes de portagem. Após esta classificação estar feita, é necessário transformar as contagens de tráfego da AE Norte. Como é perceptível, os dados de tráfego da A1, em termos de percentagens de veículos de classe 1, diferem com os dados de percentagem de veículos de classe 1 da frota automóvel nacional. É necessário aplicar as características dos veículos da base de dados nacional ao volume de tráfego da AE Norte, para se conseguir uma frota de veículos com motorizações, tecnologias de emissões, tara e tipo de combustível usado. Por exemplo, a percentagem de veículos de classe 1 nos ligeiros de passageiros da frota automóvel nacional é de 91,69%, nas contagens de veículos sabemos que 79,21% dos veículos são de classe 1. Para saber, no universo dos veículos de classe 1 das contagens da AE Norte, quantos ligeiros de passageiros existem, basta simplesmente multiplicar os 91,69% por 79,21% obtendo-se uma frota de veículos ligeiros de passageiros de 72,62% (Figura 66).

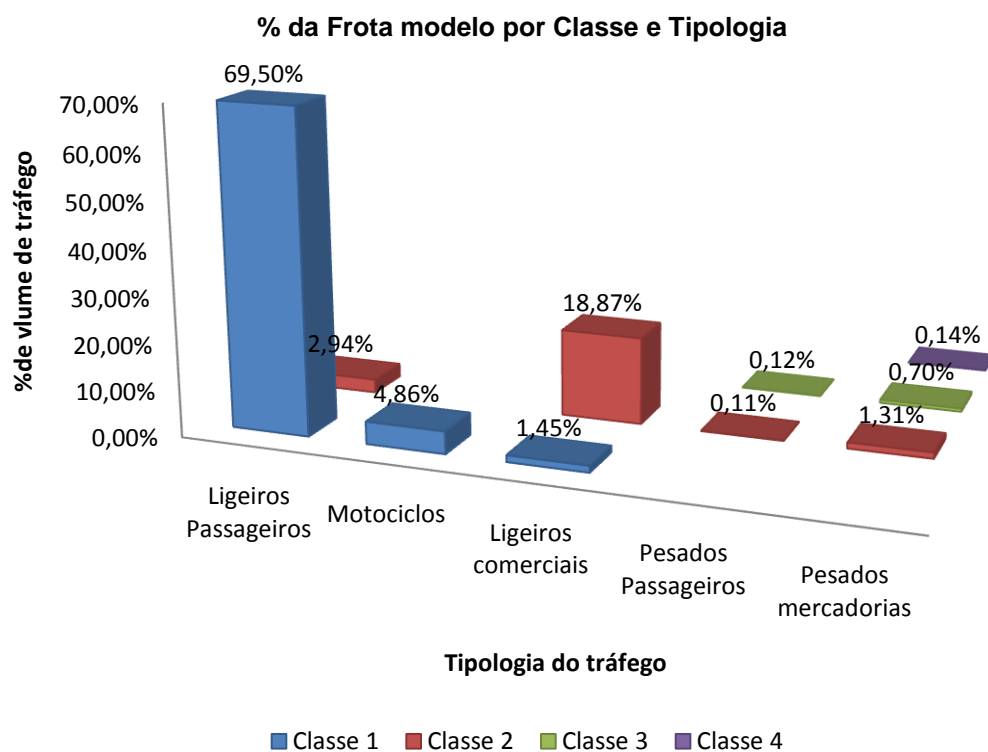
Figura 66 - Frota nacional de veículos por classes de tipologia de veículos



Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

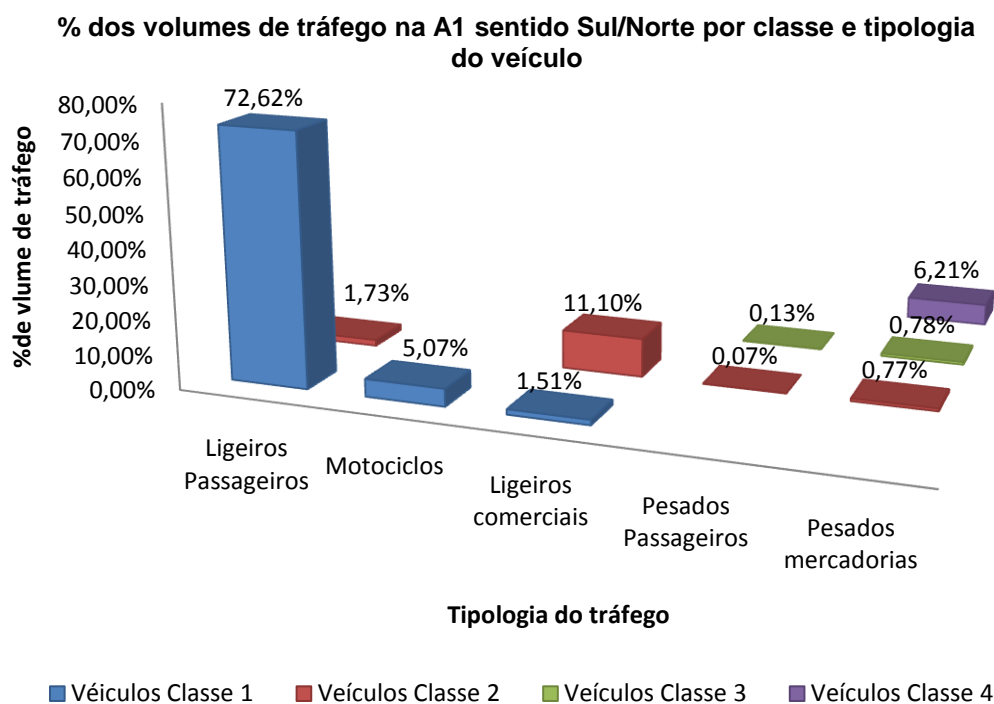
Os resultados estão dispostos entre as Figuras 67 a 71.

Figura 67 - Frota de veículos por Classe e Tipologia



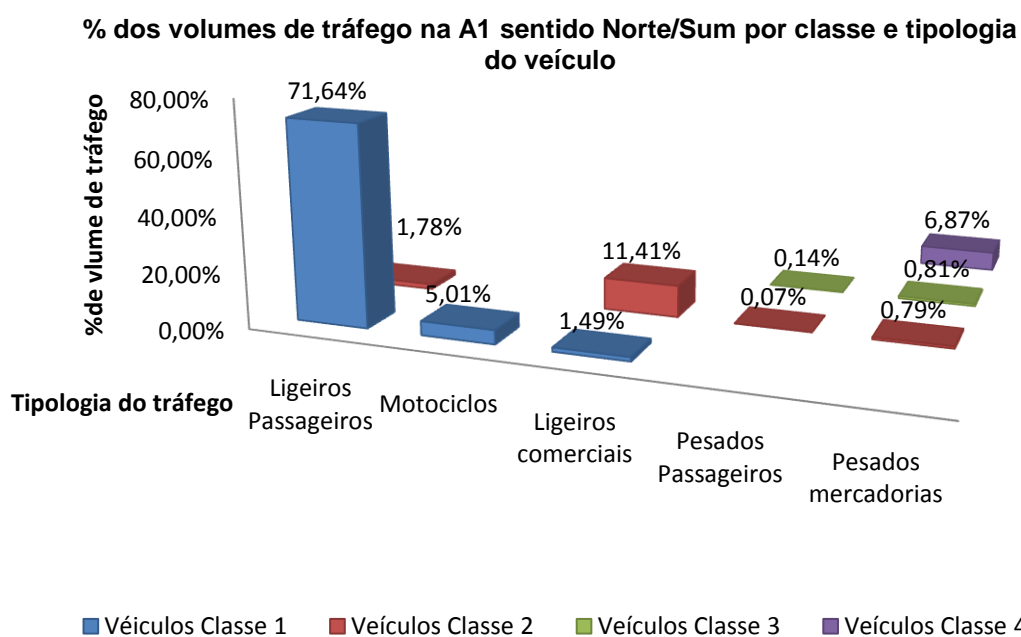
Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

Figura 68 - Frota de veículos em percentagem da A1 por classe e tipologia no sentido Sul/Norte



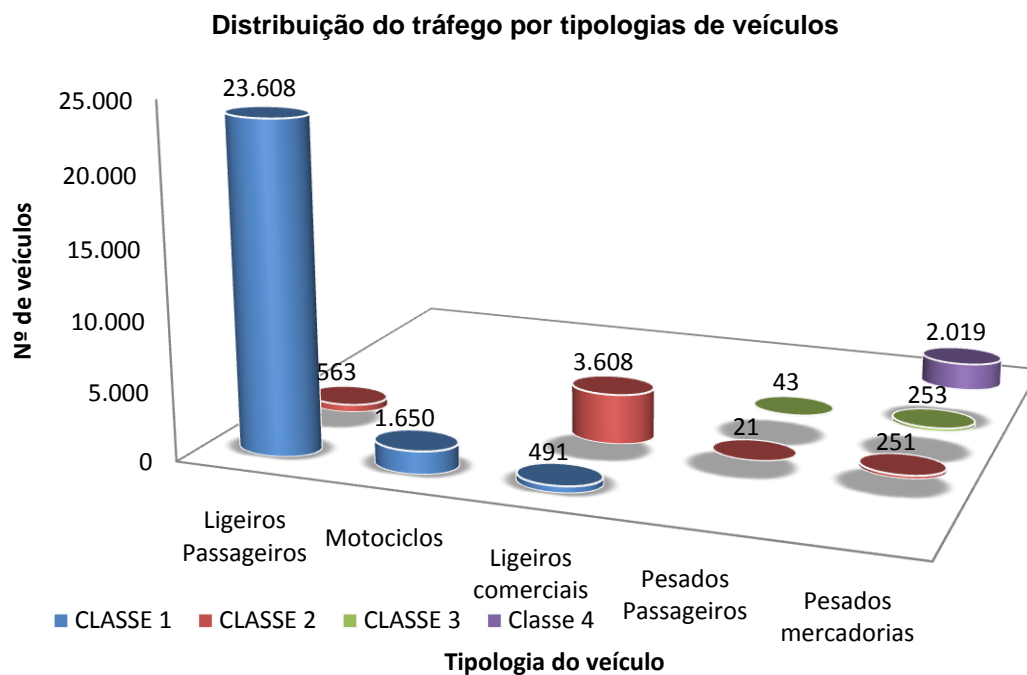
Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

Figura 69 - Frota de veículos em percentagem da A1 por classe e tipologia no sentido Norte/Sul



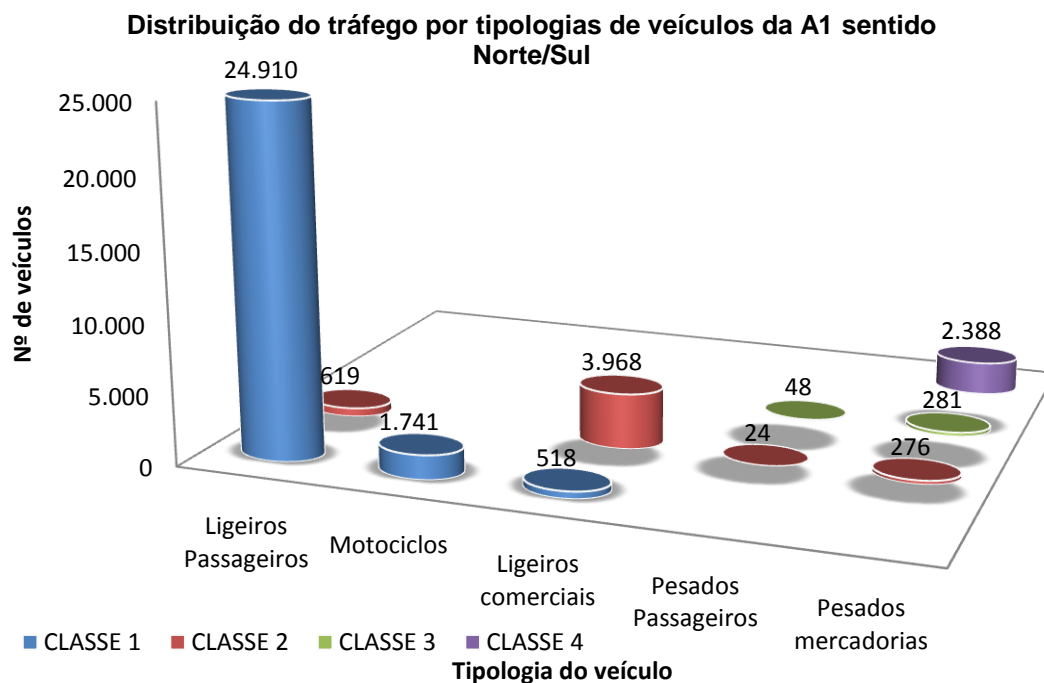
Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

Figura 70 - Tráfego na A1 por classe e tipologia de veículos no sentido Sul/Norte



Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

Figura 71 - Tráfego na A1 por classe e tipologia de veículos no sentido Norte/Sul



Fonte: Autor com base em (ACAP, 2009)

AI.1.4 Dados de Mobilidade

Os dados de mobilidade são responsáveis por fornecer ao modelo a produção de transportes efectuada pela frota modelo, sendo representativa da grandeza “a” da equação base de cálculo de emissões ($E=e.a$).

Distância média percorrida

A distância média percorrida está disposta na Tabela 34.

Tabela 34 – Distância entre pontos inicial e final da A1 em estudo

Local	Distância (km)
Portagem Alverca	12 km
Portagem V.F.X.	

Fonte: (Google, 2010)

Tabela 35 – Tempo médio entre pontos inicial e final do estudo da A1

Local	Tempo (m)
Portagem Alverca	6
Portagem V.F.X.	

Fonte: (Google, 2010)

Quilometragem efectuada anualmente

Dado que o estudo apenas se resume à via inter-regional, a quilometragem anual efectuada está representada na seguinte equação:

$$\text{Quilometragem anual (km/ano)} = 365 \text{ dias} \times 12 \text{ km} = 4380 \text{ km/ano} \quad [\text{Eq.8}]$$

Os dados aconselhados pelo LAT, no uso de quilometragem anual feita para países europeus, estão dispostos na Tabela 36 que classifica a quilometragem anual consoante o tipo de veículo, pois cada tipo de veículo, devido às suas características, tem maior ou menor uso por parte dos condutores.

Tabela 36 – Quilometragem média na Europa

Veículo	Quilometragem anual média na Europa
Ligeiro Passageiros	11 – 15 Mkm*/ano
Ligeiro Comercial	15 – 25 Mkm/ano
Pesado Mercadorias	50 – 80 Mkm/ano (nível nacional)
Pesado Passageiros	50 – 70 Mkm/ano
Ciclomotores	2 - 5 Mkm/ano
Motociclos	2 – 8 Mkm/ano

*Mkm - corresponde a milhares de quilómetros

Fonte: (Laboratory of applied thermodynamics, 2008)

Quilometragem média da Frota

A quilometragem média da frota é um parâmetro que tem implícito que, ao longo do tempo de vida útil de um veículo, a sua distância percorrida anualmente diminui (Figura 72). A duração da quilometragem média total é compreendida entre a idade média de abate do veículo e o ano em que foi comprado. O veículo tipo tem idade correspondente ao ano intermédio do intervalo de tempo em que a tecnologia de emissão esteve em vigor.

O cálculo da média anual, em função da idade do veículo, tem por base a equação n.º9, em que, através da equação de regressão ($Y=14901.e^{-0,0509.x}$), se consegue calcular a quilometragem anual, desde a entrada do veículo no mercado até ser abatido. A média de quilometragem em função da idade é calculada a partir da seguinte equação:

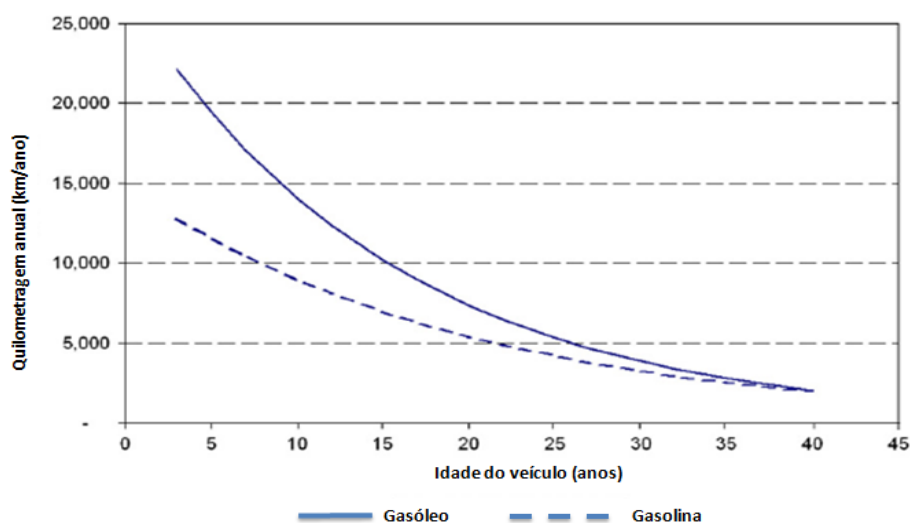
$$MQI = \frac{\sum_{i=1}^n QPA_i}{n} \quad [\text{Eq. 9}]$$

- ✓ MQI – Média de quilometragem consoante a idade;
- ✓ Quilometragem percorrida no ano i;
- ✓ n – idade do veículo tipo.

Para os motociclos foi utilizado o mesmo raciocínio, recorrendo, no entanto, aos valores médios percorridos pelos motociclos anualmente, fornecidos pela base de dados do LAT para o ano de 2005.

A Tabela 37 traduz os resultados obtidos. A quilometragem média de frota é apenas necessária para veículos ligeiros de passageiros a gasolina, ligeiros comerciais a gasolina e motociclos.

Figura 72 - Quilometragem efectuada pelo veículo anualmente em função da idade



Fonte: (Caserinia, Giuglianoa, & Pastorello, 2006)

Tabela 37 – Quilometragem média total dos veículos da frota nacional

	Motorização da frota	Tecnologias de emissões	Média anual em função da idade do veículo (km/ano)	Anos do veículo (anos)	Quilometragem média total Percorrida pela frota (km)
Ligeiros de passageiros	Gasolina <1,4 l	ECE 15/03	7.882	28	216.746
		ECE 15/04	8.923	21	187.373
		Euro I	10.158	15	152.375
		Euro II	11.652	11	122.345
		Euro III	13.654	6	75.099
		Euro IV	18.414	2	27.620
	Gasolina 1,4 - 2,0 l	ECE 15/03	7.882	28	216.746
		ECE 15/04	8.923	21	187.373
		Euro I	10.158	15	152.375
		Euro II	11.652	11	122.345
		Euro III	13.654	6	75.099
		Euro IV	18.414	2	27.620
	Gasolina >2,0 l	ECE 15/03	7.882	28	216.746
		ECE 15/04	8.923	21	187.373
		Euro I	10.158	15	152.375
		Euro II	11.652	11	122.345
		Euro III	13.654	6	75.099
		Euro IV	18.414	2	27.620
Motociclos	4-tempos <250 cm ³	Convencional	5.438	25	135.942
		Euro I	5.423	10	54.232
		Euro II	5.287	4	21.147

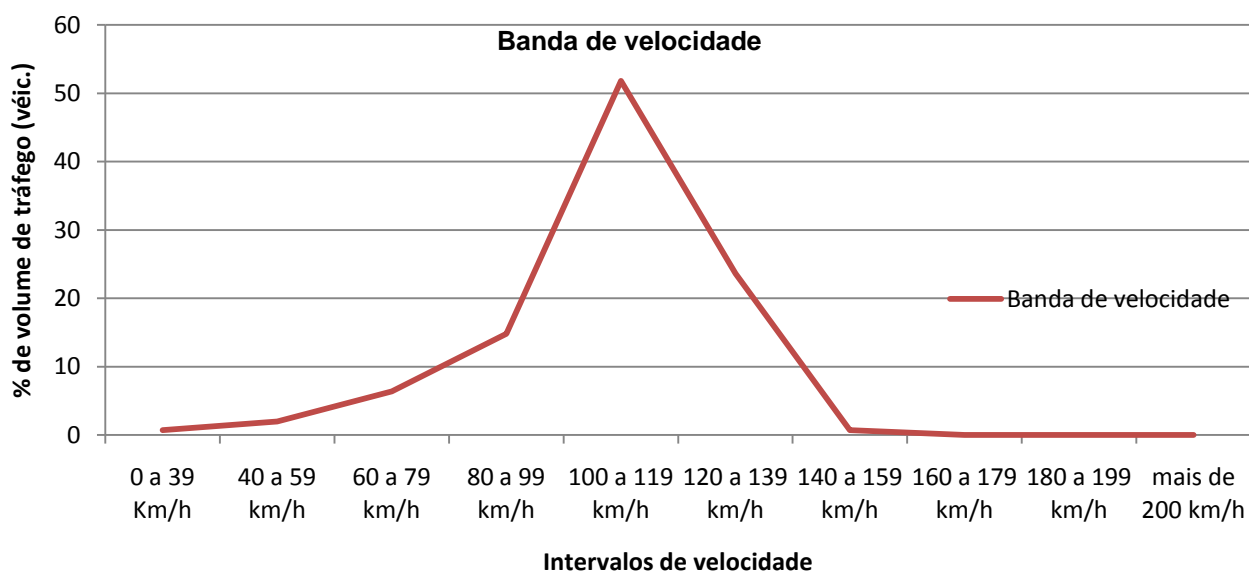
Motorização da frota	Tecnologias de emissões	Média anual em função da idade do veículo (km/ano)	Anos do veículo (anos)	Quilometragem média total Percorrida pela frota (km)
4-tempos 250 - 750 cm ³	Convencional	5.647	25	141.185
	Euro I	5.697	10	56.966
	Euro II	5.567	4	22.270
4-tempos >750 cm ³	Convencional	5.766	25	144.142
	Euro I	5.848	10	58.481
	Euro II	5.713	4	22.851

Fonte: Autor com base em (Caserinia, Giuglianoa, & Pastorello, 2006)

Velocidade média

Para a condução em AE, a metodologia EMEP/CORINAIR aconselha ao uso de velocidades entre o intervalo [70;130]. No presente estudo admite-se o uso da velocidade de **110 km/h** para os veículos ligeiros e de **90 km/h** para os pesados. O uso destes valores tem por base a banda de velocidades praticadas (Figura 73) o sublanço a montante do sublanço em estudo, os limites legais de velocidade e o intervalo de velocidade média aconselhado pela metodologia. Como se pode observar, a velocidade média ronda os 102 km/h para todos os veículos. A velocidade média consiste numa grandeza que não diferencia as velocidades entre ligeiros e pesados, apenas a velocidade média da corrente de tráfego. A análise à figura indica que o intervalo em que circulam mais veículos é entre o intervalo [100; 119] km/h, sendo que a velocidade mais verificada se situa nos 110 km/h. Esta velocidade corresponde aos veículos ligeiros, que representam cerca de 91% do tráfego no sublanço a jusante do sublanço em estudo. No caso dos pesados, foi usado o limite legal dos pesados de mercadorias (Tabela 38), dado que a banda de velocidades não permite concluir acerca da velocidade destes veículos na via.

Figura 73 - Banda de velocidades verificadas no sublanço Santa Iria - Sacavém



Fonte: (Estradas de Portugal S.A., 2009)

Tabela 38 – Limites legais para as diferentes classes de veículos de acordo com o código da estrada

Limites legais	Velocidade (km/h)
Ligeiros Passageiros e motociclos	120
Ligeiros Mercadorias	110
Pesados Mercadorias	90
Pesados Passageiros	100

Fonte: Decreto-Lei 113/2008

Quotas de quilometragem por ambiente de condução

As quotas de quilometragem em função do tipo de ambiente de condução, neste caso específico, não se efectuam. Esta situação deve-se ao facto de a mobilidade ser estudada apenas na via do caso de estudo.

O caso de estudo desenvolve-se totalmente em ambiente de AE, sendo que, o dado de entrada segue a Tabela 39.

Tabela 39 – Quotas de quilometragem em função do tipo de ambiente de condução no estudo

Tipo de via	Urbana	Rural	Auto-estrada
Quotas de quilometragem (%)	0%	0%	100%

AI.1.5. Parâmetros específicos do país

Os parâmetros associados às características singulares de cada país dizem respeito às condições climáticas e legais de cada país.

Dados de temperatura

Os dados de temperatura foram obtidos para a zona de estudo através do IM para o ano de 2008. A Tabela 40 representa as temperaturas da área de estudo para o ano de 2008.

Tabela 40 – Temperaturas máximas e mínimas na zona de estudo

Meses (2008)	Temperatura Máxima (°c)	Temperatura Mínima (°c)
Janeiro	15	8
Fevereiro	16	8
Março	17	8
Abril	19	11
Maio	19	13
Junho	27	16
Julho	26	16
Agosto	26	16
Setembro	26	16
Outubro	21	13
Novembro	17	7
Dezembro	12	6

Fonte: (Instituto de Meteorologia, IP, 2008)

Pressão de vapor de Reid (RVP)

Estes valores da pressão de vapor de *Reid* representam os limites legais aceitáveis, segundo o Decreto-Lei nº 104/2000. A Tabela 41 é representativa dos valores adoptados no estudo.

Tabela 41 – Pressão de valor de *Reid*

Meses (2008)	Pressão de vapor de Reid (kPa)
Janeiro	78
Fevereiro	78
Março	78
Abril	63
Maio	63
Junho	53
Julho	53

Meses (2008)	Pressão de vapor de Reid (kPa)
Agosto	53
Setembro	53
Outubro	65
Novembro	78
Dezembro	78

Fonte: Decreto-Lei nº 104/2000

Declive

Através das características dos pontos altimétricos (Tabela 42) onde se situam as portagens, foi possível calcular o declive médio da auto-estrada através das seguintes equações:

Tabela 42 – Altitude dos pontos inicial e final do troço da A1-Norte

Local	Altitude (m)
Portagem Alverca	25 m
Portagem V.F.X.	4 m

Fonte: (Google, 2010)

$$\text{Declive sentido S/N} = \frac{\Delta \text{Altitude}}{\text{Distância}} = \frac{(4-25) \text{ m}}{12.000 \text{ m}} = -0,00175 = -0,175\% \quad [\text{Eq. 10}]$$

$$\text{Declive sentido N/S} = \frac{\Delta \text{Altitude}}{\text{Distância}} = \frac{(25-4) \text{ m}}{12.000 \text{ m}} = 0,00175 = +0,175\% \quad [\text{Eq. 11}]$$

A altitude e a distância entre portagens, são dados de entrada importantes para a análise do modelo de emissões.

O desnível admitido foi de +2% no sentido Norte/Sul e de -2% no sentido Sul/Norte.

Carga

A carga usada por veículo foi admitida como metade do peso que o veículo pode transportar. Este factor tem influência no caso dos veículos pesados de mercadorias.

Factores de degradação derivado ao aumento da quilometragem

Nesta dissertação os factores de degradação devido ao aumento da quilometragem dos veículos são um factor a ter em conta para as estimativas de emissões.

Efeito do combustível

O efeito do combustível vai ter por base as especificações dos combustíveis para o ano de 2005. Este ano foi o de referência, pois foi o último, em que ocorreram modificações na composição dos combustíveis no mercado de combustíveis para o sector rodoviário com o

estabelecimento de limites para a gasolina (benzeno, teor de enxofre, teor de chumbo), gasóleo (índice de cetano, PAHs e teor de enxofre) e da introdução de uma percentagem de biocombustíveis nos combustíveis. É de salientar que a dissertação compromete-se em avaliar as emissões de poluentes e GEE, até ao fim do ano de 2008. As estimativas a partir de 2009 terão que obedecer ao Dec. Lei 89/2008 que regula o teor de enxofre para gasolina e gasóleo para 10 ppm e que entrou em vigor a 1 de Janeiro de 2009. O programa **COPERT IV** regista as especificações para os combustíveis desde 1996 até 2009.

AI.1.6. Resultados

Quantificação de emissões

O Figura 74 ilustra as quantidades de poluentes atmosféricos calculados para a zona de estudo.

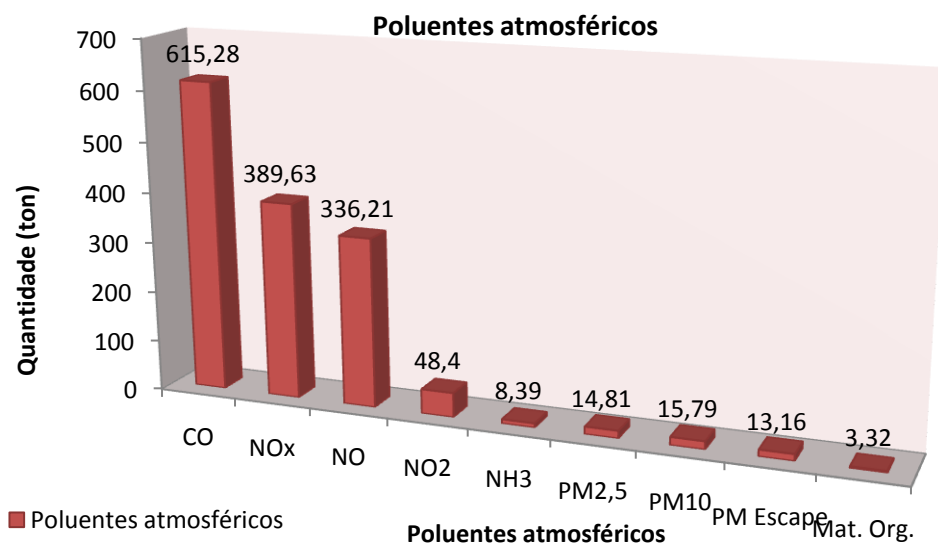
A Tabela 43 ilustra os factores de emissão na área de estudo para os diferentes poluentes calculados e dispõe os factores de emissão de poluentes para a cidade de Lisboa e AML (Tchepele O. , 2005).

Tabela 43 – Factores de emissão do estudo de caso interurbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999

Estudo de Caso	VKT [veic.km]	FE _{CO2} [g/VKT]	FE _{CO} [g/VKT]	FE _{NOx} [g/VKT]	FE _{PM10} [g/VKT]	FE _{COV} [g/VKT]
Interurbano	294.677.640	210	2,09	1,32	0,011	0,186
AML		250	7,11	1,24	0,044	1,11
Lisboa		287	9,7	1,15	0,045	1,46

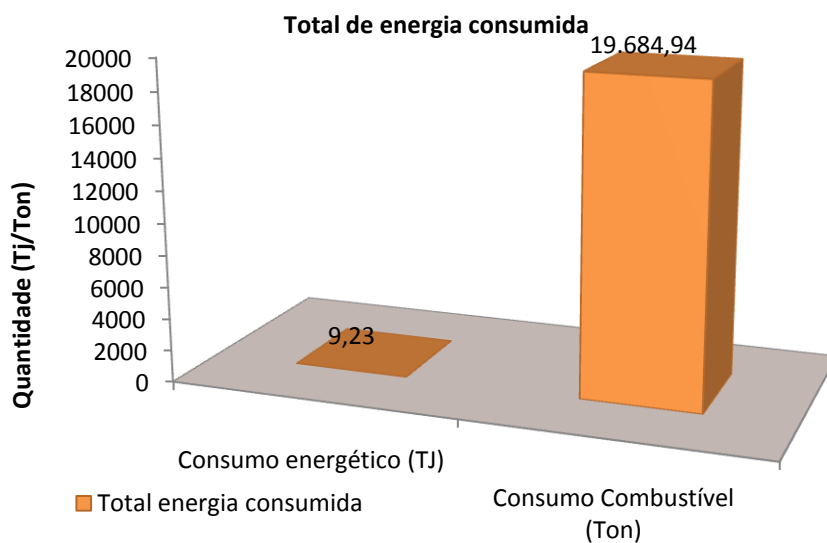
Fonte: Autor e (Tchepele O. , 2005)

Figura 74 - Resultado das emissões de poluentes atmosféricos



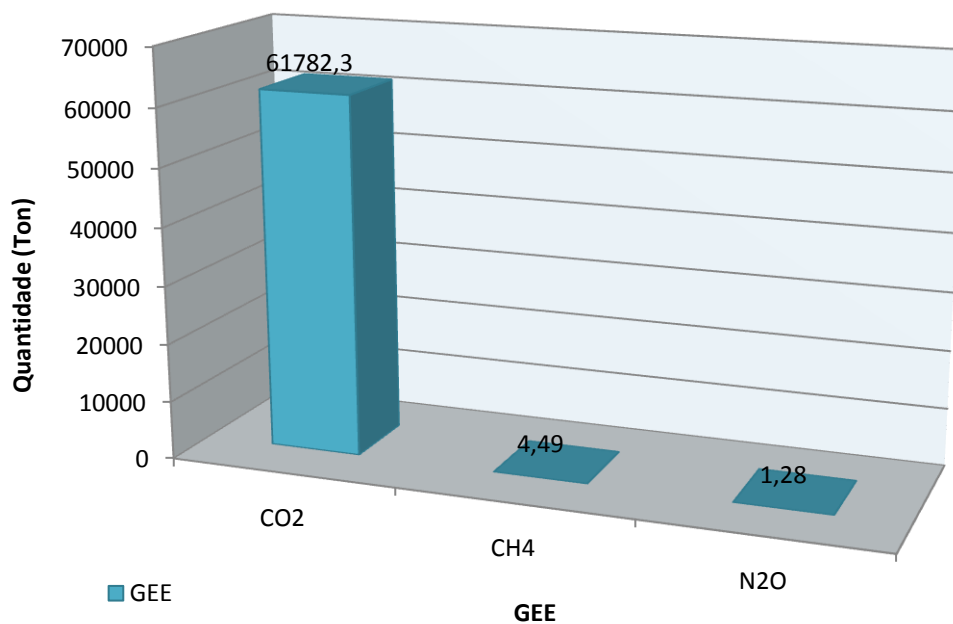
O Figura 75 ilustra resultados dos consumos energéticos e de combustível, calculados para a zona de estudo.

Figura 75 - Consumo total de energia



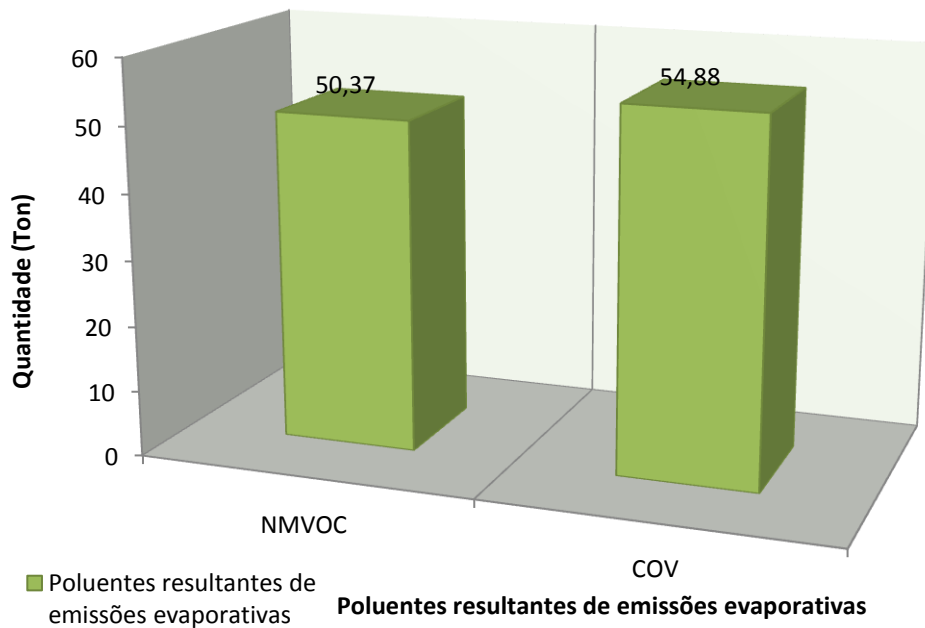
O Figura 76 ilustra as quantidades de GEE determinados para a zona de estudo.

Figura 76 - Resultados das emissões de GEE



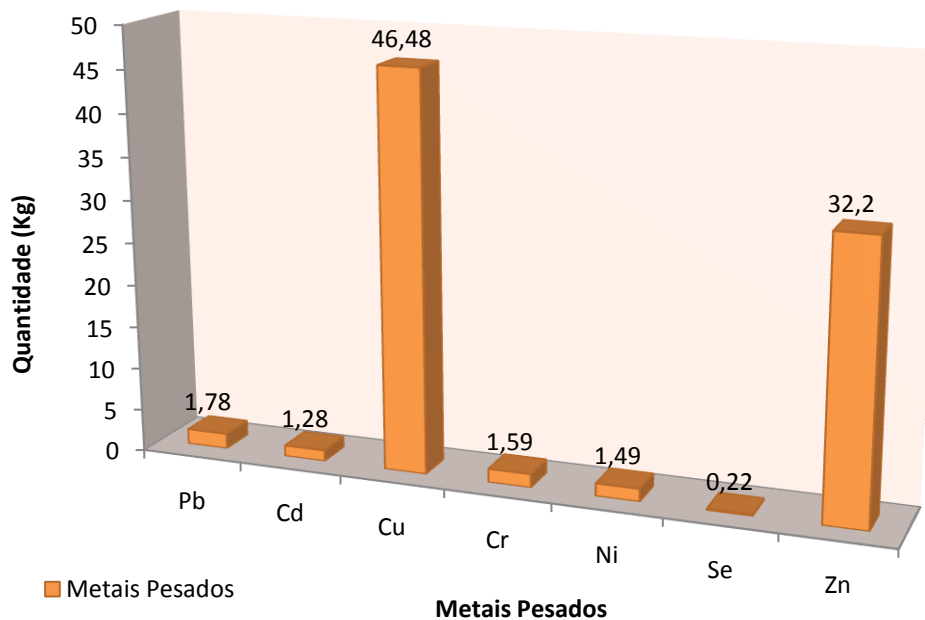
O Figura 77 ilustra as quantidades de poluentes resultantes de emissões evaporativas modelados para a zona de estudo.

Figura 77 - Resultados das emissões evaporativas



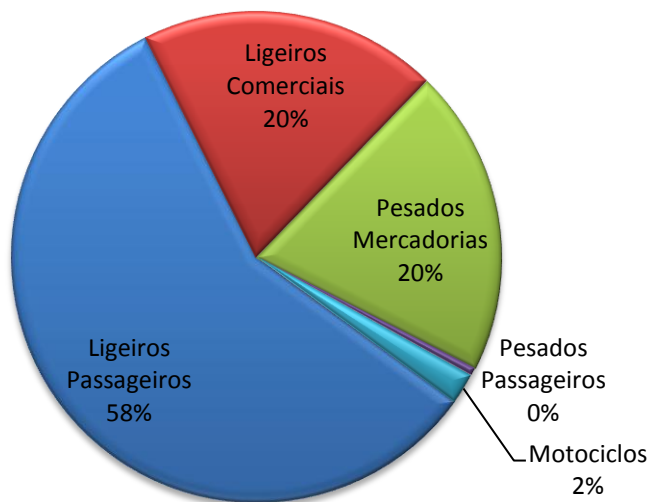
O Figura 78 ilustra as quantidades de poluentes resultantes de metais pesados modelados para a zona de estudo.

Figura 78 - Resultado das emissões de Metais Pesados



O Figura 79 ilustra a contribuição de emissões consoante a categoria do veículo na HPM para o poluente CO₂ obtidos para a zona de estudo.

Figura 79 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel



Indicadores ambientais

A Tabela 44 ilustra os indicadores ambientais calculados para a zona de estudo.

Tabela 44 – Indicadores ambientais

Indicadores ambientais	
Total de CO ₂ eq (ton)	62.273
Nº Árvores a plantar (1 árvore absorve 1,1 ton/CO ₂ eq/ano)	56.612
Preço (1 crédito de carbono ²⁰ = 13€ ²¹)	809.554 €
Área árvores (1 ha =1200 árvores)	47,2
% das emissões da área em relação ao universo de emissões de CO ₂ eq no país (Emissões CO ₂ eq totais dos transportes terrestres em Portugal = 1,88.10 ⁷ ton CO ₂ eq (APA, 2008))	0,33%

²⁰ 1 crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente

²¹ Valor segundo pointcarbon.com na seguinte data 24/02/2010

AI.2 - Caso de Estudo

Urbano

Os inventários de emissões urbanas rodoviárias descrevem, de uma forma detalhada, a contribuição da poluição da frota automóvel numa área e tempo específicos. As áreas urbanas são caracterizadas por uma grande densidade populacional, uma intensa actividade económica e grandes áreas edificadas. As emissões de poluentes, consequentes destas actividades, resultam numa pressão na qualidade do ar nestas áreas. No passado, a actividade industrial e aquecimento doméstico eram os principais responsáveis pelos gases poluentes. Nos dias de hoje, o paradigma mudou, resultado do aumento da mobilidade, que fez do tráfego o principal agente da poluição urbana. Dados da OMS indicam que a poluição do ar é responsável por 1,4% do total de mortes e a diminuição de 0,8% no total dos anos de vida global. Estes dados indicam claramente que a degradação da qualidade do ar provoca danos severos na saúde pública. Por estes motivos, é necessário quantificar e qualificar as fontes de emissão do tráfego, para fornecer, às autoridades competentes, elementos que levem à implementação de políticas de melhorias da qualidade do ar em zonas urbanas.

Durante os últimos anos, a metodologia para a quantificação de emissões de poluentes tem-se desenvolvido rapidamente. O programa EMEP/CORINAIR surge com a intenção de fornecer uma metodologia coerente e independente, que seja capaz de estimar emissões oriundas do tráfego rodoviário. As metodologias baseiam-se em ensaios laboratoriais e estudos elaborados sobre o tema de emissões associadas ao tráfego rodoviário, nos quais os cálculos dos modelos de emissões são baseados.

AI.2.1 Estudo de caso

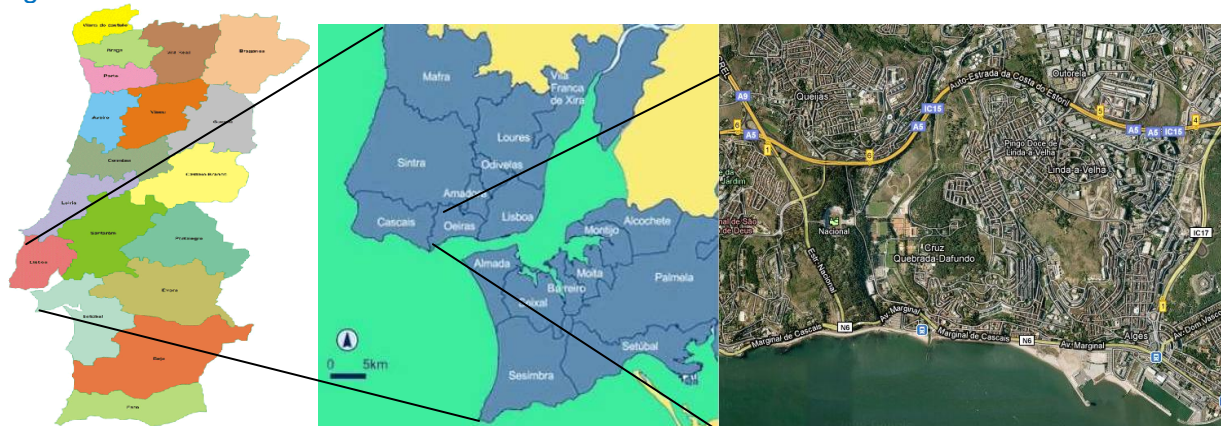
O estudo de caso urbano consiste na aplicação da metodologia de cálculo de emissões para os transportes rodoviários que circulam numa zona urbana do município de Oeiras, usando a integração entre o modelo de transportes e o modelo de emissões. As estimativas efectuadas neste capítulo podem servir de base a um processo de avaliação das emissões na área de estudo. É feita uma análise à quantidade de poluentes emitidos, tendo em conta a distribuição espacial e temporal estudada

AI.2.2 Área de estudo

O domínio de estudo escolhido para esta dissertação foi o município de Oeiras. A opção por esta área prende-se com o facto de ter sido elaborado um estudo de mobilidade e acessibilidades no Concelho de Oeiras. O estudo foi executado, durante o ano de 2007, pela empresa **TIS.PT**, que amavelmente disponibilizou ao autor alguns dados base do mesmo.

O estudo desenvolve-se na zona a Sudoeste do concelho de Oeiras e abrange as freguesias de Algés, Linda-a-Velha, Carnaxide, Cruz Quebrada e Dafundo. A zona de estudo encontra-se no distrito de Lisboa, localizando-se na região de Lisboa (NUT II), na Grande Lisboa Norte (NUT III) e na margem direita do Tejo. Esta área é limitada pelas freguesias de Caxias a Oeste, Queijas, Carnaxide a Norte, Santa Maria de Belém e S. Francisco Xavier a Este. Esta estende-se por uma área com coordenadas geográficas entre os 38°43'31.71" e os 8°41'56.26" de latitude Norte e os 9°12'51.13" e 9°15'49.48" de longitude Oeste. A Figura 80 representa a área de estudo analisada.

Figura 80 - Área de estudo Urbana



Fonte: (Cuco Autogas, 2007)

A zona urbana de estudo situa-se a 9 km de Lisboa, a 22 km de Cascais e 9 km da Amadora. A proximidade de Oeiras a Lisboa, os centros empresariais que se instalaram no concelho, e os estabelecimentos de ensino fazem desta zona, uma área de grande geração/atracção de viagens. O concelho de Oeiras é um importante eixo rodoviário e está servido por diversas vias estruturantes como: a A9 CREL, a A5, o IC17 CRIL e a EN 6. Na zona Sul do Concelho existe uma importante via ferroviária (linha de Cascais), sendo a estação ferroviária de Oeiras um interface muito importante nas viagens em TC.

AI.2.3 Características Demográficas

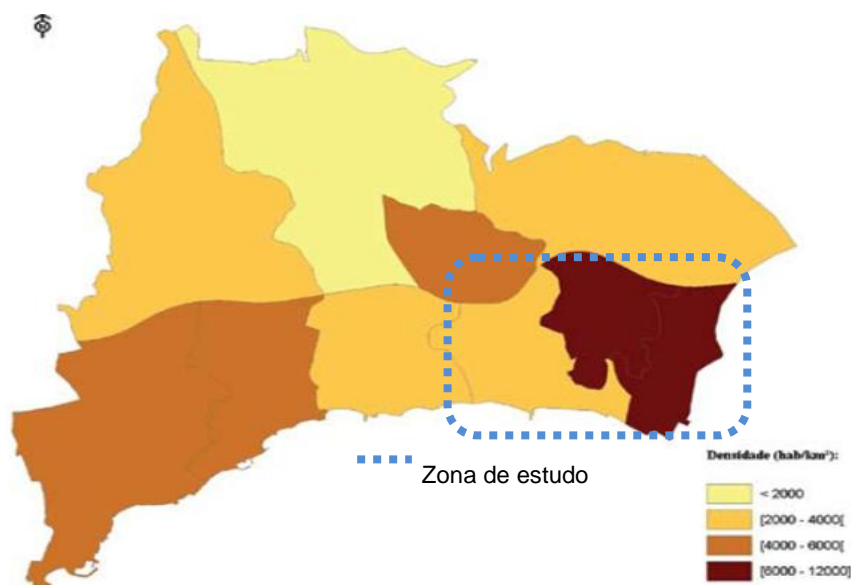
O concelho de Oeiras apresenta uma densidade populacional elevada (3572 hab/km²), um total de 171.472 habitantes (INE, 2007), e um crescimento demográfico desde 2001 de 5,8%. A distribuição etária dos indivíduos residentes é maioritária na classe dos indivíduos entre os 25 e 64 anos (57,3%). Este dado é revelador da mobilidade, pois representa a

população activa, que é responsável pelo maior número de viagens ao longo do dia, para sustentar as actividades humanas que estão interligadas com a necessidade de transportes. A população empregada distribui-se principalmente pelo sector dos serviços (46,9%), seguido pelo sector primário (34,8%) e por fim pelo secundário (17,7%).

Na zona de estudo habitam cerca de 32.044 indivíduos (2007). A população divide-se em duas zonas demográficas distintas: as freguesias de Algés e Linda-a-Velha com maior densidade populacional (> 9.600 hab/km²) e as demais com menor densidade populacional (> 3200 hab/km²). A Figura 81 ilustra as densidades populacionais das freguesias do Concelho de Oeiras.

A população distribui-se de forma desigual no território e reparte-se em residências isoladas e em grandes aglomerados urbanos com grandes densidades populacionais.

Figura 81 - Densidade populacional na área de estudo

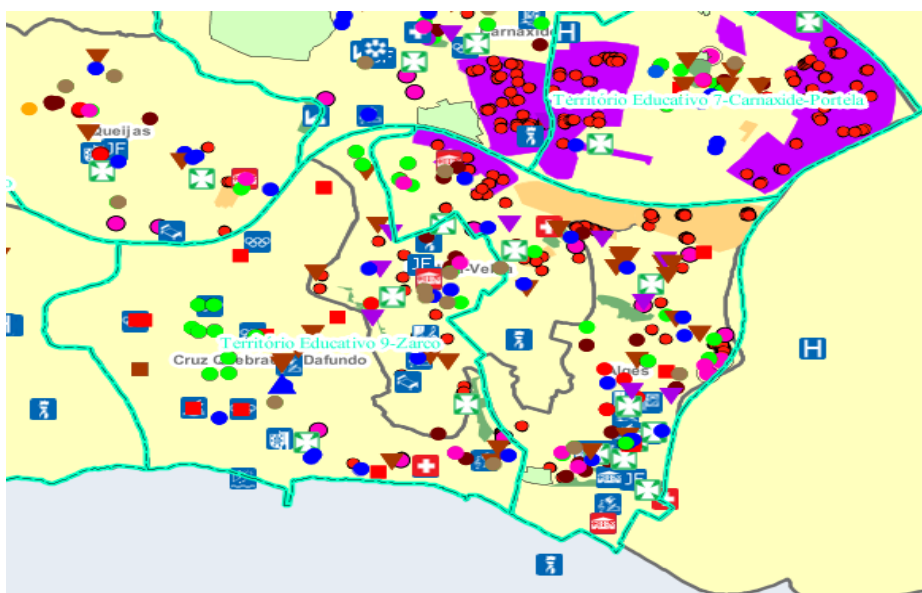


Fonte: (Gabinete do Desenvolvimento Municipal de Oeiras, 2009)

AI.2.4 Características da Mobilidade

A zona de estudo é repleta de equipamentos das mais variadas naturezas (Figura 82) que contribuem para uma grande mobilidade de pessoas residentes em viagens internas e de pessoas não residentes em viagens interconcelhias para esta área. A dinâmica proporcionada por estes equipamentos origina/atrai um grande número de viagens. Um dos objectivos desta dissertação consiste em integrar a mobilidade gerada pela população nas suas actividades humanas e quantificar as emissões de poluentes decorrentes destas actividades.

Figura 82 - Equipamentos existentes na área de estudo



Fonte (CMO, 2010):

Tabela 45- Legenda dos equipamentos existentes na área de estudo

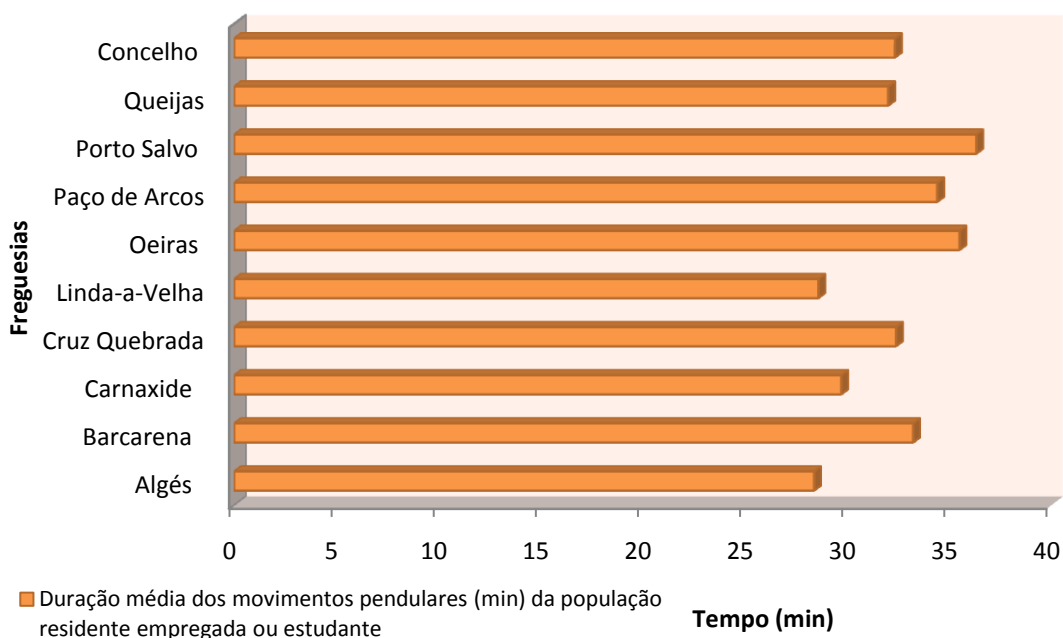
Equipamentos educativos	Equipamentos desportivos	Equipamentos de saúde	Equipamentos sociais
<ul style="list-style-type: none"> EB/S - Público EB/S - Particular EB - IPSS Ensino Superior - Público Ensino Superior - Privado Ensino Profissional Territórios Educativos 	<ul style="list-style-type: none"> Complexo Desportivo Espaços ao Ar Livre Espaços Cobertos Equip. Desportivos Especiais Ginásios e Health Clubs Outros Espaços Desportivos 	<ul style="list-style-type: none"> Hospital Centro de Saúde Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados, SNS Casa de Saúde Gabinete de Saúde, Segurança e Prevenção Social, GSSPS/CMO Farmácia 	<ul style="list-style-type: none"> Idosos Família e Comunidade Infância e Juventude Deficientes Toxicodependentes Imigrantes
Áreas e edifícios empresariais	Equipamentos culturais		
<ul style="list-style-type: none"> Edifício Empresarial Ninho Empresarial Maiores Empresas Parque de Ciência e Tecnologia Office Park Área Empresarial Zona Industrial e Empresarial 	<ul style="list-style-type: none"> Informação Turística Centro de Ensino, IeD Biblioteca Galeria de Arte Teatro/Audatório Instituições Militares e de Segurança Instituições Públicas e Privadas Centro de Desporto 	<ul style="list-style-type: none"> Centro Hípico Museu Palácio Igreja Forte Aqueduto Estação Eneolítica Património - Outro 	<ul style="list-style-type: none"> Jacto de Água Piscina Praia Junta de Freguesia Hotel Ciclovía Passeio Marítimo Passeio Marítimo - Prolongamento

Fonte: (CMO, 2010)

As deslocações pendulares nas freguesias do Concelho de Oeiras demoram aproximadamente 32 minutos (Figura 83). Este indicador mostra que grande parte das deslocações são interconcelhias, o que é habitual na AML, em que existe um fenómeno de migração pendular diária entre os vários concelhos da AML e a capital, sendo neste caso, de 50% de viagens interconcelhias com a capital e de 40% com Cascais, Amadora e Sintra. Este fenómeno gera, em termos ambientais, uma grande insustentabilidade energética e ambiental que necessita de reflexão política e social capaz de intervir sobre os impactes

decorrentes da actividade rodoviária. A população de Oeiras tem o maior índice de formação académica e média do país, o que pode ajudar à mudança deste paradigma, pois as populações com estas características têm maior facilidade de mudar comportamentos.

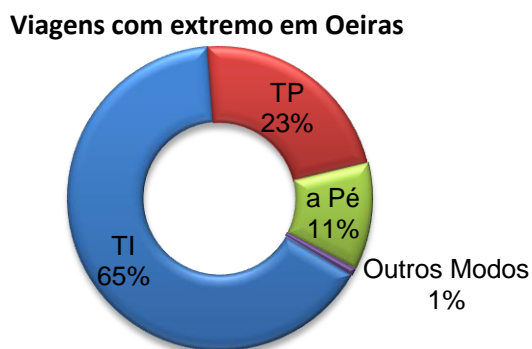
Figura 83 - Duração média dos movimentos pendulares (min) da população residentes empregada ou estudante



Fonte: (Gabinete do Desenvolvimento Municipal de Oeiras, 2009)

A mobilidade no concelho de Oeiras tem aumentado drasticamente, desde a década de 90. Estima-se que, num dia útil, sejam realizadas cerca de 478,3 mil viagens, sendo que, destas, 300 mil são feitas por residentes. Esta mobilidade é suportada, principalmente, pelo modo de TI que está presente em 65% das viagens iniciadas e concluídas em Oeiras (Figura 84). A taxa de motorização é o símbolo da massificação do modo de TI, pois estima-se uma taxa de 417 hab/km² nos residentes do concelho.

Figura 84 - Viagens com extremo em Oeiras



Fonte: (TIS.PT, 2008)

Após a definição da área de estudo em termos populacionais, geográficos e de mobilidade é importante definir como esta informação irá ser usada para complementar a metodologia usada.

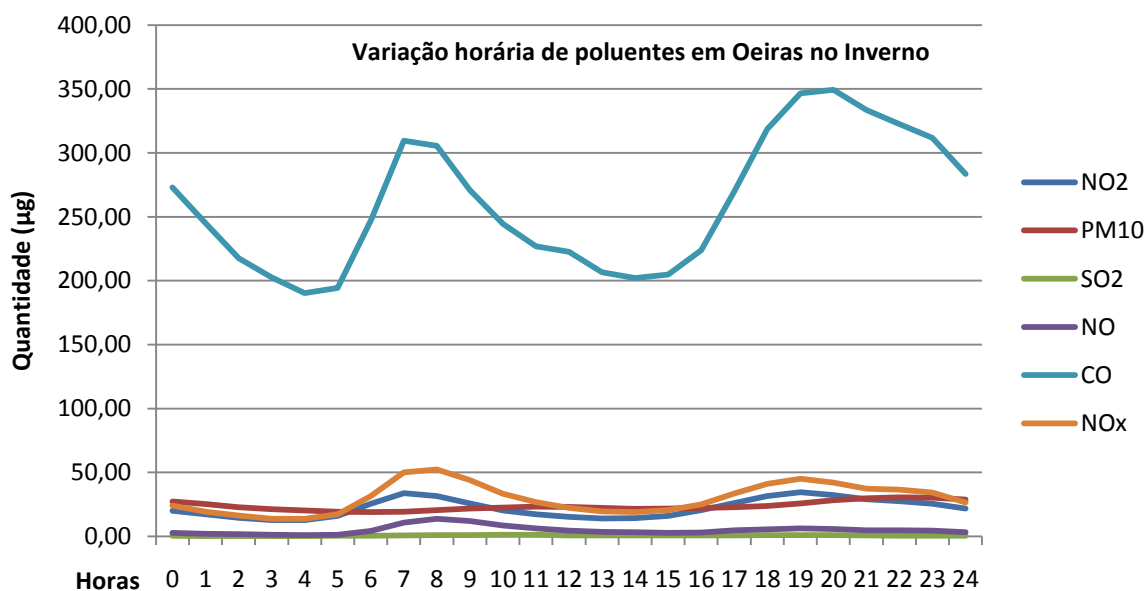
AI.2.5 Emissões no Concelho de Oeiras

As emissões no concelho de Oeiras são monitorizadas por diversas estações de monitorização da qualidade do ar espalhadas por todo o território, com o intuito de fornecer informação ao público e entidades competentes do estado diário da qualidade do ar.

Existe um grupo de poluentes atmosféricos que são monitorizados diariamente, responsáveis por afectar a saúde. As estações ajudam no cálculo do índice de qualidade do ar, e fornecem dados a entidades competentes para avaliar a situação actual e encontrar medidas que minorem a degradação da qualidade do ar.

Perto da zona de estudo existe uma estação de monitorização da qualidade do ar que fornece informação sobre a zona de estudo, em que se pode observar a relação entre as horas de ponta e os aumentos das concentrações de poluentes atmosféricos representados na Figura 85.

Figura 85 - Dados estatísticos da estação da Quinta do Marquês em Oeiras para os meses de Inverno



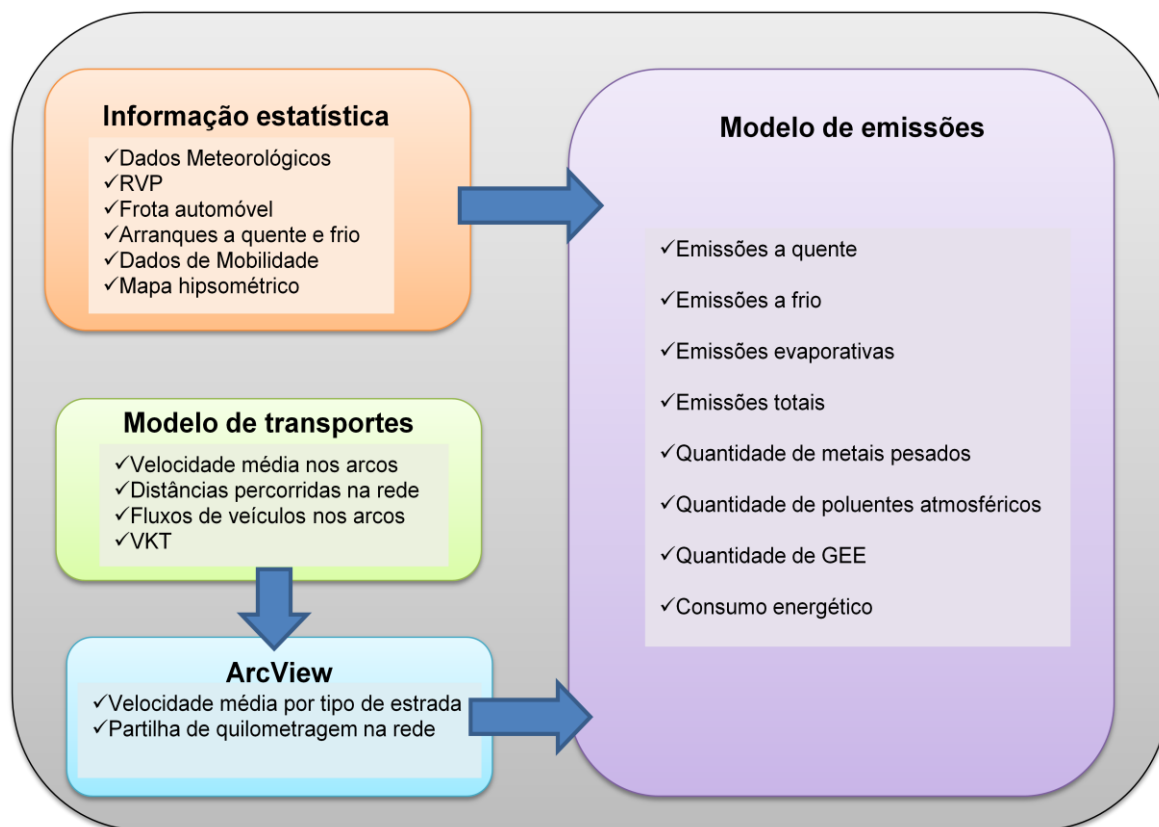
Fonte: (Agência Portuguesa do Ambiente, 2010)

AI.2.6 Aplicação do modelo de cálculo

O estudo de caso é uma etapa de aplicação inserida na dissertação em que se pretende usar a metodologia enunciada nos capítulos anteriores, para produzir resultados. Pretende-se discutir a informação que foi usada como dado de entrada no modelo, ainda que muita

dessa informação tenha de ter sido trabalhada de modo a ajustar os dados à realidade encontrada na zona de estudo. A Figura 86 resume a aplicação da metodologia adoptada, assim como os dados de entrada e de saída e os modelos usados.

Figura 86 - Esquema da metodologia de cálculo usada no estudo da zona interurbana

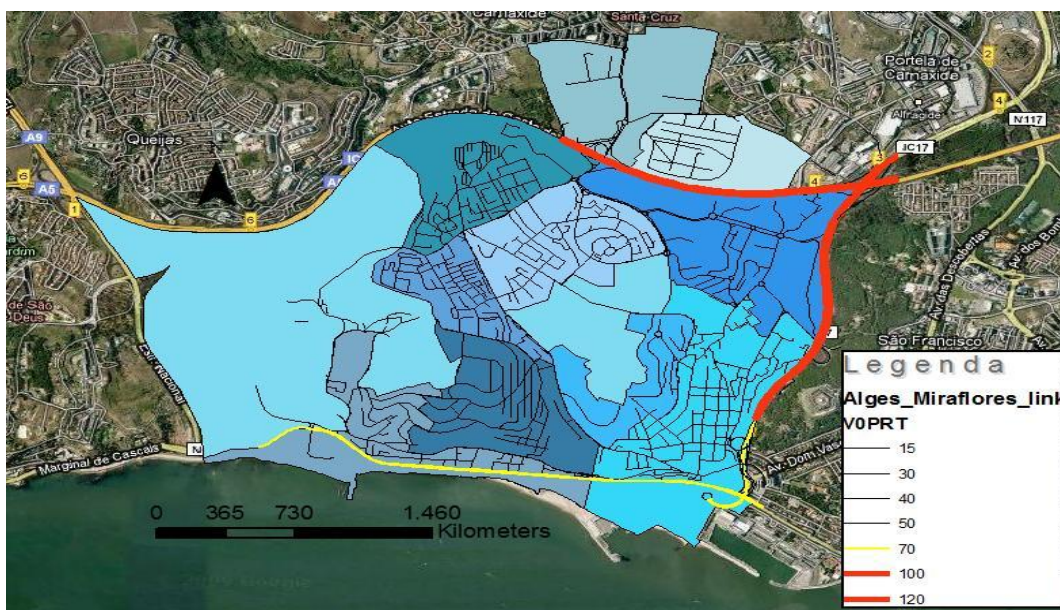


Fonte: Autor com base em (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AI.2.7 Zonas e rede viária da zona urbana

A área adoptada no estudo da mobilidade através da utilização do modelo de transportes (*Visum*) é ilustrada na Figura 87. Esta é constituída por 11 zonas internas, que abrangem toda a área de estudo.

Figura 87 - Zonas e rede viária da zona de estudo



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Os padrões de mobilidade são fornecidos pela matriz O/D (ver Tabela 74 Anexo IV, página A.101) obtida através de processos de afectação de tráfego, processados pelo modelo de transportes Visum. A matriz teve por base o inquérito feito à população na zona de estudo, em virtude do Estudo de Mobilidade e Acessibilidades do Concelho de Oeiras. A análise à Matriz O/D permite avaliar os fluxos de veículos que ocorrem na zona de estudo. A matriz O/D foi fornecida gentilmente pela Empresa **TIS.PT**, empresa de renome nacional e internacional na área de transportes. A matriz foi feita para a hora de ponta da manhã (HPM), que encerra os fluxos de veículos entre as 7:00 e as 10:59 horas.

A análise à matriz permite identificar que as zonas internas são zonas em que os fluxos dos destinos são inferiores aos fluxos das origens. Este factor indicia que estas zonas são de maior geração de viagens do que atracção, esta situação ocorre nas freguesias de Linda-a-Velha e Algés e reflecte o carácter residencial destas áreas, principalmente nas deslocações residência/trabalho.

Existem zonas só com fluxos de destino e nenhum fluxo de origem, estas zonas localizam-se junto dos centros empresariais na zona sudeste da zona de estudo, o que é indicativo que existem pólos de atracção de viagens nestas zonas por motivos laborais.

O tráfego de atravessamento indica que um grande número de viagens é feito por não residentes, para os principais centros de atracção de emprego, situados a sudeste da zona de estudo. O maior fluxo é constituído por viagens externas, ou seja, aquelas em que só um dos extremos se encontra dentro da zona de estudo, o que indica existe uma grande dinâmica de tráfego entre a zona de estudo e os concelhos limítrofes e vice-versa,

produzindo o movimento pendular reconhecido na AML entre a Capital e os seus concelhos limítrofes.

Tabela 46 - Dados das principais viagens efectuadas no Concelho de Oeiras

Viagens	Veíc	% de tráfego
Internas	5.590	16%
Atravessamento	14.964	42%
Externas	15.041	43%
Total	35.595	

Fonte: (TIS.PT, 2008)

AI.2.7 Caracterização funcional da rede de estradas

A área de estudo é constituída por uma rede estruturante importante e muito densa, nos aglomerados urbanos, e pouco densa, nos aglomerados menos povoados. As principais vias são definidas como:

- ✓ **Rede supra concelhia** da zona de estudo desenvolve-se no perímetro da zona de estudo e têm a função de permitir as ligações interconcelhias e assegurar os principais acessos à zona de estudo;
- ✓ **Rede de distribuição secundária** desenvolve-se através de vias internas aos aglomerados urbanos que têm a função de assegurar a distribuição próxima, bem como o encaminhamento dos fluxos de tráfego para as vias de nível superior;
- ✓ **Rede distribuição local** compõe-se por vias estruturantes da área urbana, com alguma capacidade de escoamento, mas onde o elemento principal é já o peão.

A rede rodoviária do concelho está organizada em função das ligações de orientação **Este – Oeste**:

- ✓ **EN6**, a qual estabelece as ligações entre Lisboa e Cascais;
- ✓ **IC15/A5**, estabelece as ligações Lisboa – Cascais (TIS.PT, 2008);

Vias com orientação **Norte – Sul**:

- ✓ **IC17/CRIL** (Circular Regional Interior de Lisboa) que desenvolve as ligação Norte – Sul;

IC18/CREL (Circular Regional Exterior de Lisboa).

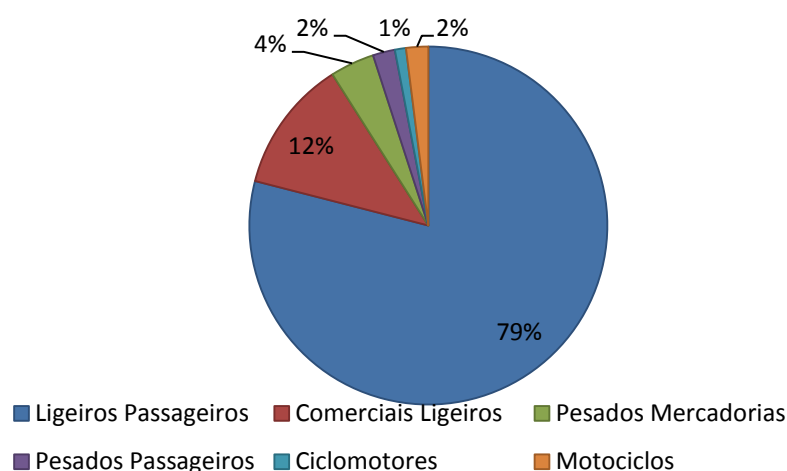
AI.2.8 Dados de Frota

A frota de veículos da HPM está descrita na Tabela 47 e foi obtida com base na matriz O/D elaborada para o Estudo de Mobilidade e Acessibilidades no Concelho de Oeiras.

Frota de veículos para a HPM

A composição de veículos foi estabelecida por um inquérito extensivo na zona da Grande Lisboa, através de uma base de dados de 17.800 veículos, correspondendo a 5,4 % da frota total do distrito de Lisboa em 2006 (Gois, et al., 2006). A frota automóvel, resultante do inquérito feito em Lisboa, está representada no Figura 88. Esta referência vai servir de base de cálculo à frota de estudo, através do cálculo da frota nacional já efectuado no estudo interurbano. Esta simplificação adoptou-se para possibilitar o dimensionamento da frota representativa dos veículos que circulam na área de estudo. São precisas informações relativas às motorizações dos veículos, às tecnologias de emissão, às classes de veículos e à idade dos veículos, que se conseguem utilizando a simplificação adoptada, que possibilite aproximar a realidade da zona urbana ao estudo elaborado. A frota automóvel, base do estudo, está representada na Tabela 47.

Figura 88 - Proporções das diferentes classes de veículos da frota de estudo



Fonte: (Gois, et al., 2006)

Tabela 47 - Frota de estudo por classe, categoria, idade e tecnologia de emissões

Subsector	Tecnologia	Frota Oeiras	
Ligeiros de Passageiros	Gasolina <1,4 l	ECE 15/03	376
		ECE 15/04	2.961
		Euro I	2.446
		Euro II	2.863
		Euro III	2.021
		Euro IV	1.417

Anexo I – Estudo de Casos

	Subsector	Tecnologia	Frota Oeiras
Comerci ais Ligeiros	Gasolina <1,4 l	Total	12.084
	Gasolina 1,4 - 2,0 l	ECE 15/03	63
		ECE 15/04	1.177
		Euro I	1.512
		Euro II	1.890
		Euro III	1.279
		Euro IV	275
		Total	6.196
	Gasolina >2,0 l	ECE 15/03	7
		ECE 15/04	62
		Euro I	76
		Euro II	159
		Euro III	118
		Euro IV	52
		Total	474
	Gasolina	Total	18.754
	Gasóleo < 2,0 l	Convencional	201
		Euro I	716
		Euro II	1.575
		Euro III	1.914
		Euro IV	3.023
	Gasóleo <2,0 l	Total	7.430
	Gasóleo >2,0 l	Convencional	30
		Euro I	71
		Euro II	404
		Euro III	762
		Euro IV	536
	Gasóleo >2,0 l	Total	1.803
	Gasóleo	Total	9.233
	LPG	Convencional	33
		Euro I	43
		Euro II	24
Euro III		4	
Euro IV		1	
LPG	Total	105	
Híbrido Gasolina >2,0 l	Euro IV	28	
Outros	Total	28	
	Total	28.121	
Gasóleo <3,5 t	Convencional	374	
	Euro I	821	
	Euro II	1.100	

	Subsector	Tecnologia	Frota Oeiras
Pesados de Mercadorias		Euro III	1.245
		Euro IV	715
	Gasóleo	Total	4.254
	LPG	Convencional	5
		Euro I	8
		Euro II	4
	LPG	Total	17
		Total	4.272
	Rígido <=7,5 t	Convencional	36
		Euro I	26
		Euro II	46
		Euro III	34
		Euro IV	26
	Rígido <=7,5 t	Total	169
	Rígido 7,5 - 12 t	Convencional	54
		Euro I	39
		Euro II	70
		Euro III	50
		Euro IV	8
	Rígido 7,5 - 12 t	Total	221
	Rígido 12 - 14 t	Convencional	54
		Euro I	39
		Euro II	70
		Euro III	50
		Euro IV	4
	Rígido 12 - 14 t	Total	217
	Rígido 14 - 20 t	Convencional	63
		Euro I	46
		Euro II	82
		Euro III	59
		Euro IV	10
	Rígido 14 - 20 t	Total	260
Rígido 20 - 26 t	Convencional	9	
	Euro I	7	
	Euro II	11	
	Euro III	8	
	Euro IV	19	
Rígido 20 - 26 t	Total	54	
Rígido 26 - 28 t	Convencional	9	
	Euro I	7	
	Euro II	9	

Anexo I – Estudo de Casos

	Subsector	Tecnologia	Frota Oeiras
Pesados de Passageiros		Euro III	11
		Euro IV	7
	Rígido 26 - 28 t	Total	43
	Rígido 28 - 32 t	Convencional	9
		Euro I	7
		Euro II	11
		Euro III	8
		Euro IV	7
	Rígido 28 - 32 t	Total	43
	Articulado 14 - 20 t	Convencional	63
		Euro I	46
		Euro II	82
		Euro III	59
		Euro IV	72
	Articulado 14 - 20 t	Total	322
	Articulado 20 - 28 t	Convencional	9
		Euro I	7
		Euro II	11
		Euro III	8
		Euro IV	12
	Articulado 20 - 28 t	Total	47
	Articulado 28 - 34 t	Convencional	9
		Euro I	7
		Euro II	11
		Euro III	8
		Euro IV	12
	Articulado 28 - 34 t	Total	47
	Total	1.424	
Autocarros urbanos <=15 t	Convencional	20	
	Euro I	7	
	Euro II	12	
	Euro III	6	
	Euro IV	7	
Autocarros urbanos <=15 t	Total	52	
Autocarros urbanos <=15 t 15 - 18 t	Convencional	20	
	Euro I	7	
	Euro II	12	
	Euro III	6	
	Euro IV	7	
Autocarros urbanos <=15 t 15 - 18 t	Total	52	
Autocarros urbanos <=15 t >18 t	Convencional	20	

	Subsector	Tecnologia	Frota Oeiras	
Veículos de 2 rodas		Euro I	7	
		Euro II	12	
		Euro III	6	
		Euro IV	7	
		Total	52	
		Pesado Passageiro <=18 t	Convencional	114
			Euro I	40
			Euro II	59
			Euro III	33
			Euro IV	32
		Total	278	
		Pesado Passageiro <=18 t	Convencional	114
			Euro I	40
			Euro II	59
			Euro III	33
			Euro IV	32
		Total	278	
		Autocarro articulado >18 t	Convencional	114
			Euro I	40
			Euro II	59
			Euro III	33
			Euro IV	32
		Total	278	
		Total	712	
		<50 cm ³	Convencional	279
			Euro I	58
			Euro II	18
		Total	356	
		2 tempos >50 cm ³	Convencional	43
			Euro I	51
	Total	94		
	4 tempos <250 cm ³	Convencional	115	
		Euro I	135	
		Euro II	48	
	Total	297		
	4 tempos 250 - 750 cm ³	Convencional	65	
		Euro I	76	
		Euro II	52	
	Total	193		
	4 tempos >750 cm ³	Convencional	43	
		Euro I	51	
		Euro II	34	
	Total	128		
	Total	712		
Total			35.596	

Fonte: Adaptado de (Laboratory of Applied Thermodynamics, 2005)

AI.2.8 Dados de Mobilidade

Variação diária do tráfego

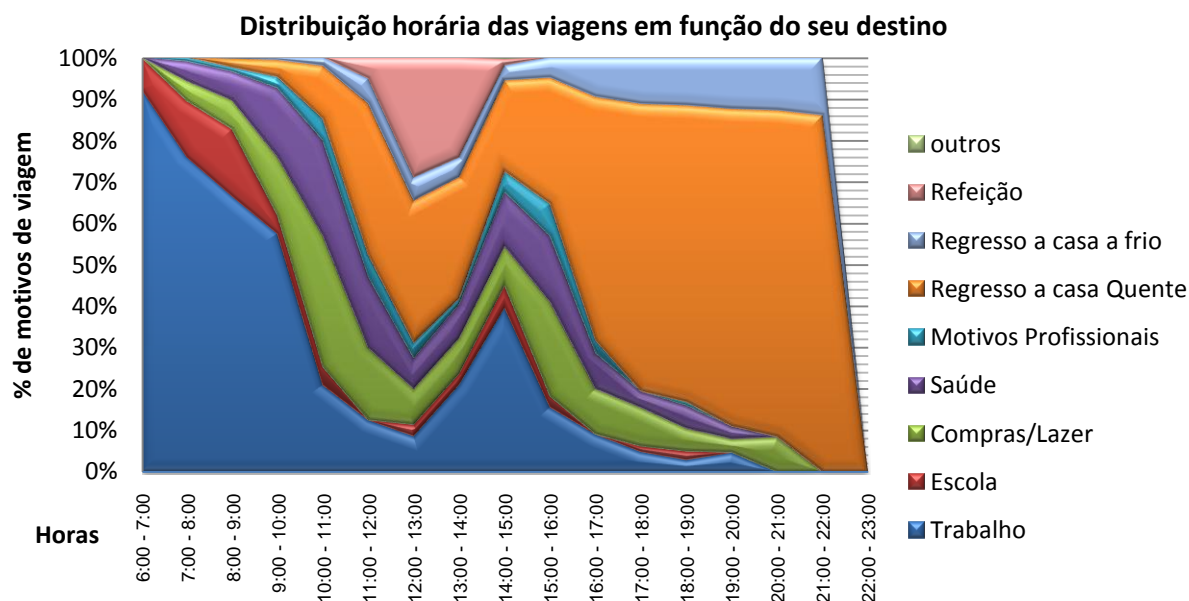
A variação diária do tráfego na área de estudo é de suma importância, pois pretende-se perspectivar a quantificação de emissões ao longo de um dia.

As emissões variam conforme a tipologia das viagens dos utilizadores, estas são determinantes na avaliação das emissões a quente e a frio dos veículos, que são um factor importante para a estimativa de emissões.

A variação do tráfego diário está relacionada principalmente com os motivos de regresso a casa e idas para o trabalho e escola.

A área de estudo, estando situada no concelho de Oeiras, adopta o padrão de mobilidade verificado no Estudo de Mobilidade e Acessibilidades no concelho de Oeiras, efectuado no ano de 2008 (TIS.PT, 2008). A Figura 89 ilustra, durante um período temporal entre as 6:00 e as 22:00 horas, os principais motivos de deslocação dos viajantes.

Figura 89 - Distribuição horária das viagens em função do seu destino

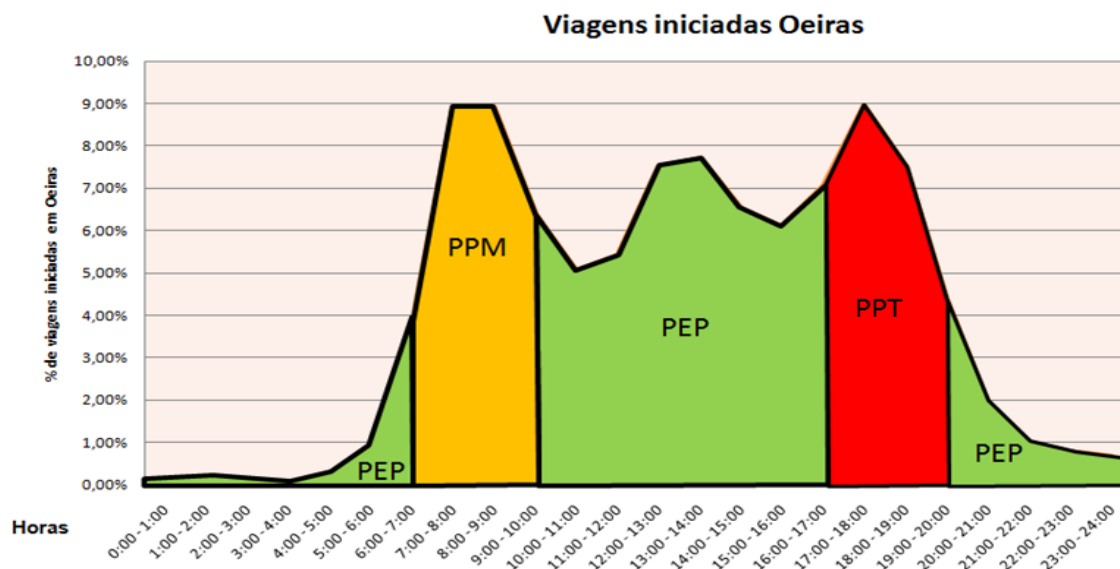


Fonte: Adaptado (TIS.PT, 2008)

A variação horária do tráfego segue o comportamento ilustrado pela Figura 90, em que se verifica a ocorrência de dois períodos de tempo em que existe maior carga de viagens: o período de ponta da manhã (PPM das 7:00 às 10:00) e o período de ponta da tarde (PPT das 17:00 às 20:00). Existem períodos com menor carga de mobilidade que quantificam as restantes fases de emissões, estes períodos são os períodos entre pontas (PEP) e são caracterizados como o período entre as pontas de manhã, da tarde e da noite, ou seja, todos os períodos que preenchem os padrões de mobilidade dos utilizadores entre os

períodos de ponta matinal e da tarde. Os períodos estudados são representados na Figura 90. Assumiu-se que as viagens em TI e TC rodoviário seguem a tendência verificada para todas as viagens realizadas na zona de estudo.

Figura 90 - Viagens iniciadas em Oeiras durante o dia



Fonte: (TIS.PT, 2008)

A análise aos motivos de mobilidades dos utilizadores permitiu identificar os comportamentos dos residentes e não residentes nas suas viagens dentro do concelho e nas viagens com pelo menos um extremo no concelho de Oeiras durante um dia. Esta informação é relevante para a estimação do número de arranques médio nos períodos de ponta de estudo analisados.

Para o período mais relevante de estudo da mobilidade do Concelho de Oeiras, apenas foi considerado o intervalo entre as **6:00 e as 23:00** horas.

Os dados de mobilidade do concelho de Oeiras são os apresentados na Tabela 48:

Tabela 48 – Principais deslocações em TI de não residentes e residentes no Concelho de Oeiras

	Viagens em TI	% de viagens	Tipo de viagem
Não Residente	8.025	2,6%	Internas
Residentes	82.404	26,3%	Internas
Não Residente	152.475	48,7%	Viagem com extremo em Oeiras
Residentes	70.196	22,4%	Viagem com extremo em Oeiras
Total	313.100	100,0%	

Fonte: (TIS.PT, 2008)

Para efeitos de cálculo foi usada a Tabela 49 que especifica a mobilidade diária na zona de estudo onde foi feita uma simplificação, que consiste na atribuição da variação de tráfego diária na HPM ao fluxo de veículos disponibilizado pela Matriz O/D (ver AIV.10 - Matriz O/D da zona urbana na HPM

Tabela 74 - Anexo IV, pág. A.101), sendo assim, as 35.956 viagens realizadas são repartidas pelas 3 horas da HPM, com a correspondente percentagem de viagens para cada hora. Os demais períodos do dia foram baseados neste período e, por analogia, foram calculados da mesma forma, com base nas viagens feitas na HPM e distribuídas, ao longo do dia, através das diferentes percentagens de tráfego atribuídas a cada hora específica. Outra simplificação adoptada foi a transformação das viagens feitas na HPM em veículos, para que o modelo avalie cada viagem como se de um veículo se tratasse.

Tabela 49 - Períodos de análise do estudo e variação horária das viagens realizadas na zona de estudo ao longo de um dia.

Período	Hora	% de viagens	% viagens/período	Nº de viagens	Total Viagens/período
PEP _M	0:00 - 1:00	0,14%		203	7.797
	1:00 - 2:00	0,15%		220	
	2:00 - 3:00	0,08%		115	
	3:00 - 4:00	0,00%	5%	2	
	4:00 - 5:00	0,25%		366	
	5:00 - 6:00	0,88%		1.290	
PPM	6:00 - 7:00	3,81%		5.602	35.596
	7:00 - 8:00	8,92%		13.104	
	8:00 - 9:00	8,92%	24%	13.111	
PEP _T	9:00 - 10:00	6,38%		9.381	66.540
	10:00 - 11:00	5,03%		7.394	
	11:00 - 12:00	5,41%		7.947	
	12:00 - 13:00	7,50%	45%	11.019	
	13:00 - 14:00	7,70%		11.314	
	14:00 - 15:00	6,52%		9.576	

Período	Hora	% de viagens	% viagens/período	Nº de viagens	Total Viagens/período
PPT	15:00 - 16:00	6,08%	21%	8.929	30.600
	16:00 - 17:00	7,05%		10.360	
	17:00 - 18:00	8,95%		13.151	
	18:00 - 19:00	7,51%		11.043	
	19:00 - 20:00	4,36%		6.406	
PEPN	20:00 - 21:00	1,91%	4%	2.814	6.436
	21:00 - 22:00	1,01%		1.484	
	22:00 - 23:00	0,78%		1.148	
	23:00 - 24:00	0,67%		990	

Arranques a frio e a quente

Os arranques a frio e a quente são um importante dado da metodologia, a sua estimação consegue melhorar consideravelmente as incertezas relacionadas com a quantificação das emissões, isto consegue-se através da definição dos motivos de viagem dos utilizadores e a relação desses motivos com a variação horária do tráfego na zona de estudo.

A distância a frio é quantificada nos principais grupos de veículos como a distância que um carro tem de vencer, até que o motor e o catalisador, nos veículos que dispõem deste sistema, estejam num estado de desempenho térmico tal, que não existam sobre-emissões de poluentes atmosféricos. A Tabela 50 demonstra as diferentes distâncias necessárias para um veículo funcionar com condições estabilizadas de temperatura do catalisador e motor. É de salientar que as distâncias entre pares O/D nunca ultrapassam os 8 km de distância, pelo que é admitido que todas as viagens iniciadas na zona de estudo, até sair desta, circulam sempre em condições transientes de temperatura do motor e catalisador, ou seja, apenas são consideradas emissões a frio.

Tabela 50 - Distâncias a frio percorridas por tipo de veículo

Tipo de veículo	Poluente	Distância a frio (km)
Veículos a gasolina sem catalisador	CO ₂	8,83
	CO	7,06
	HC	5,63
	NO _x	3,65
	FC	11,89
	CO ₂	9,93
Veículos a gasóleo sem catalisador	CO	8,11
	HC	8,11
	NO _x	4,63
	FC	8,75
	CO ₂	11,84

Tipo de veículo	Poluente	Distância a frio (km)
Veículos a gasóleo com catalisador	CO	9,7
	HC	4,65
	NO _x	11,19
	FC	10,38
Média		8,29

Fonte: (André, Hammarstöm, e Reynaud, 1999):

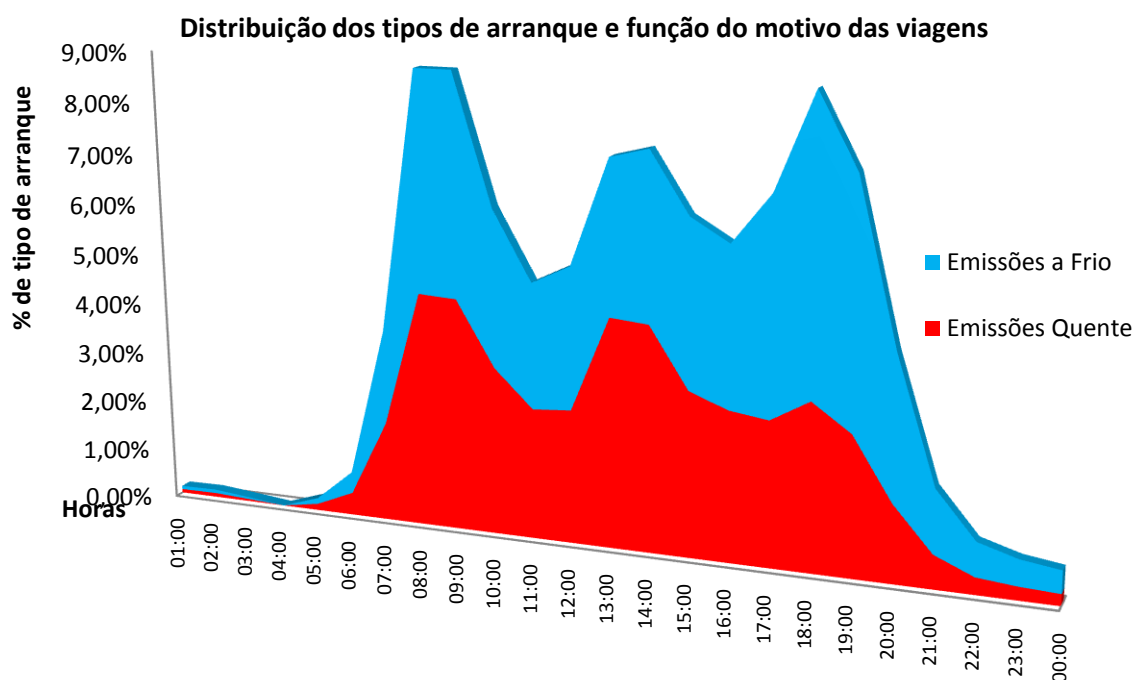
A relação entre distribuição do tráfego diário e os motivos de viagem, com vista à definição dos indicadores de arranque a frio e a quente, tem implícitas estimações que se baseiam na natureza das viagens feitas pelos residentes e não residentes da área de estudo. Foram admitidas apreciações que se baseiam nos comportamentos dos veículos, nas viagens realizadas pelos condutores que tentam corresponder o mais próximo possível da realidade da zona de estudo.

Foram feitas as seguintes considerações:

- Foram analisadas as viagens internas e com pelo menos um extremo no Concelho dos residentes e não residentes;
- O período de estacionamento tem de ser superior a 4 horas para ser considerado viagem a frio;
- Foi considerado que os regressos a casa com motor quente representam 14% do total de regressos a casa dos não residentes, pois os condutores nem sempre regressam a casa, podem entretanto ir às compras, à escola ou tratar de assuntos pessoais;
- Considerou-se que as viagens dos residentes com um extremo na zona de estudo se fazem a quente no PPT e a frio no PPM, pois o regresso a casa faz-se em condições térmicas estáveis do motor, principalmente os residentes que iniciam as viagens fora da zona de estudo;
- Apenas são consideradas emissões a quente todas as viagens dos residentes por motivos profissionais, regresso a casa a quente e refeições;
- Apenas são consideradas emissões a frio, todas as viagens dos não residentes, por motivos de regresso a casa a frio, pois estas ocorrem, em condições em que os veículos estiveram estacionados num período superior a 4 horas;
- Pressupõe-se que as viagens efectuadas pelo grupo dos não residentes sejam a quente, pois, quando chegam ao concelho, o veículo já apresenta condições térmicas estáveis do motor e catalisador, exceptuando o regresso a casa a frio;
- O grupo dos residentes inicia as suas viagens dentro do concelho, com isto, os veículos não atingem condições térmicas estáveis de temperatura.

O Figura 91 faz a síntese de todos os movimentos dos residentes e não residentes nas deslocações operadas na zona de estudo durante todo o dia.

Figura 91 - Distribuição dos tipos de arranque em função do motivo das viagens



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Os indicadores pretendidos foram obtidos através da média de emissões nos períodos de estudo, sendo adoptados os seguintes valores da Tabela 51:

Tabela 51 - Viagens iniciadas por tipo de arranque nos diferentes períodos de estudo

Período	Total de viagens iniciadas com motor a quente	Total de viagens iniciadas com motor frio
PPM	51,6%	48,4%
PEP	50,9%	49,1%
PPT	36,2%	63,8%

Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Através da análise da Matriz O/D, verifica-se que, para a HPM, os dados de tipos de arranque (Tabela 52) diferem um pouco dos dados calculados para o PPM, esta diferença pode dever-se ao cálculo feito para a totalidade do concelho e não somente a uma área do concelho, como especifica a Matriz O/D de estudo. Esta situação acontece devido aos diferentes tipos de mobilidade que ocorrem em diferentes zonas do concelho de Oeiras e a generalização desta situação pode levar a ligeiros desacertos, como o verificado. No entanto, para os outros períodos do dia foram adoptados os valores decorrentes da estimação dos tipos de arranques no concelho de Oeiras.

Tabela 52 - Viagens iniciadas por tipo de arranque na HPM

Período	Total de viagens iniciadas com motor a quente	Total de viagens iniciadas com motor frio
HPM	61,8%	39,2%

Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Os dados dos tipos de arranque vão ser importantes para a quantificação das emissões a frio e a quente da área de estudo. Estes indicadores são usados nos diferentes períodos de tráfego, sendo assim, vão ser feitas duas estimativas de emissões em cada período de tráfego ao longo do dia. Este tipo de abordagem de cálculo tem por base os pressupostos:

- ✓ Frota automóvel dos períodos estudados tem proporcionalidade directa com a frota calculada para a HPM;
- ✓ Velocidades médias alteram-se entre períodos de ponta e períodos entre pontas;
- ✓ Velocidades médias mantêm-se dentro dos períodos analisados;
- ✓ As quotas de Mobilidade dos veículos na área de estudo pelos arcos em estudo mantêm as mesmas características que as quotas de mobilidade da HPM;
- ✓ Os dados de arranque a frio e a quente alteram-se entre períodos de tempo analisados por razões de motivos de viagem.

As emissões a frio e a quente devem ser separadas do cálculo, pelos motivos que encerram a metodologia de cálculo de emissões enunciados no capítulo 3. O método baseia-se no cálculo de emissões a frio como uma emissão extra em relação às emissões que seriam espectáveis na eventualidade de todos os veículos operarem em condições estáveis de temperatura do motor e catalisador. Um dos factores relevantes corresponde ao rácio entre emissões a frio sobre emissões a quente que é aplicado na fracção de quilómetros operada com motores a frio. Como tal, apesar de o cálculo das emissões ser feito com recurso ao cálculo de todo o tipo de emissões, no caso dos arranques a quente a parcela relativa às emissões a frio será retirada, pois não está de acordo com a metodologia de emissões usada.

Dados de tráfego

Os dados de tráfego servem para compreender a natureza do tráfego na região estudada. Através da análise dos dados da Matriz O/D na HPM, é notório o congestionamento natural das horas de ponta, onde o tráfego tem uma elevada carga sobre as vias que o suportam, originando filas de espera e constrições ao tráfego. A zona de estudo à hora de ponta, apresenta índices de congestionamento elevado nas estradas de características rurais e de AE. O congestionamento foi adoptado para os períodos de ponta e o regime de tráfego livre (ausência de tráfego) foi escolhido para os PEP.

Tabela 53 – Índice de congestionamento por tipo de ambiente de condução (>100%) indica que as velocidades de afectação são mais lentas que as de regime livre

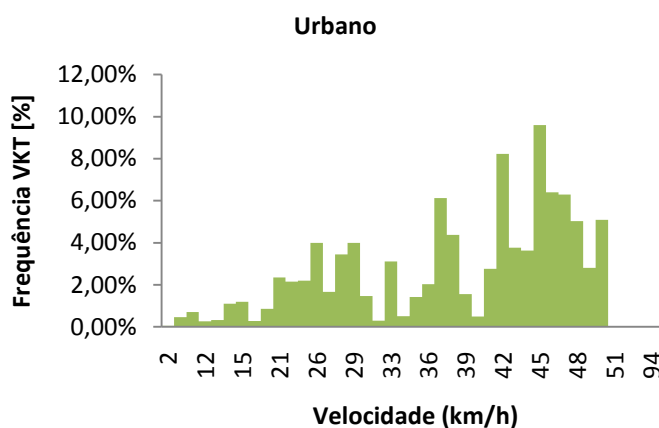
Ambiente de condução	Urbano	Rural	A.E.
Índice médio de congestionamento	121%	221%	210%

Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Velocidades nos diferentes ambientes de condução nos períodos de ponta

Os dados relativos às velocidades são elaborados para os veículos ligeiros de passageiros. A análise aos dados do gráfico fornecido pelo modelo de transporte indica que mais de 50% dos veículos, ao longo da viagem, viajam no intervalo [40;50], sendo o valor médio de **41 km/h** para a área urbana na HPM. No entanto, esta velocidade aparenta não revelar as reais condições de velocidade do tráfego, quando cruzada esta informação com estudos *in loco* (Gois, et al., 2006). A metodologia do modelo de emissões aconselha a usar um intervalo entre [17 e 23] km/h. O estudo feito no local (Figura 92) revela que as velocidades médias em estradas com estas características são de 28 km/h. O valor usado para a metodologia é de **25 km/h**, pois revela ser um valor indicado para esta área, devido a encontrar-se entre o valor aconselhado e estimado em estudos concluídos na área de estudo.

Figura 92 - Velocidade modelada para vias urbanas na HPM

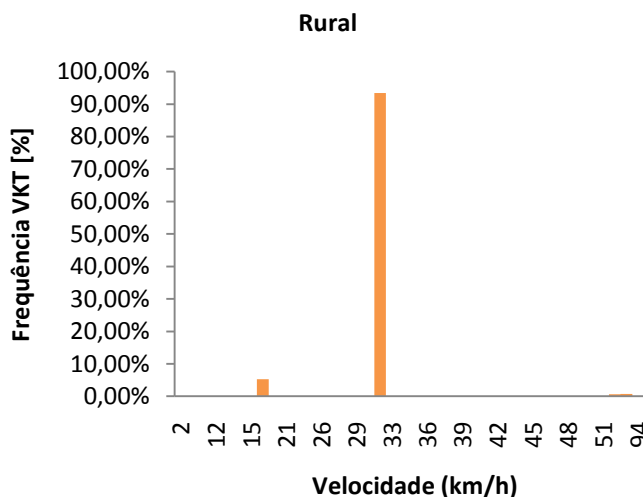


Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

A velocidade estimada pelo modelo de transportes é de **33 km/h** (Figura 93), para a área rural. Este valor assinala que, neste ambiente de condução, o processo de afectação de tráfego sugere congestionamento nas vias com estas características, dado que, em relação à velocidade em regime livre (70 km/h), existe uma degradação de mais de 50% da velocidade. A metodologia do modelo de emissões recomenda o uso de velocidades entre [50; 65] km/h. O estudo feito na área aponta que a velocidade estimada é de

aproximadamente 49 km/h. A estrada marginal à HPM tem um grande congestionamento associado, como é de conhecimento empírico, isto revela que a velocidade do modelo de transportes é provavelmente a mais realista, motivo pelo qual vai ser usado o valor de **33 km/h**.

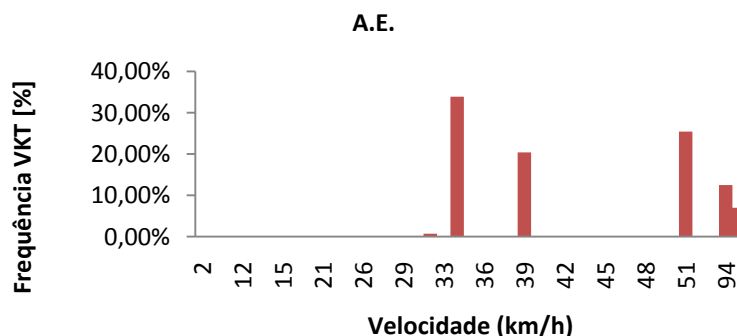
Figura 93 - Velocidade modelada para vias rurais na HPM



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

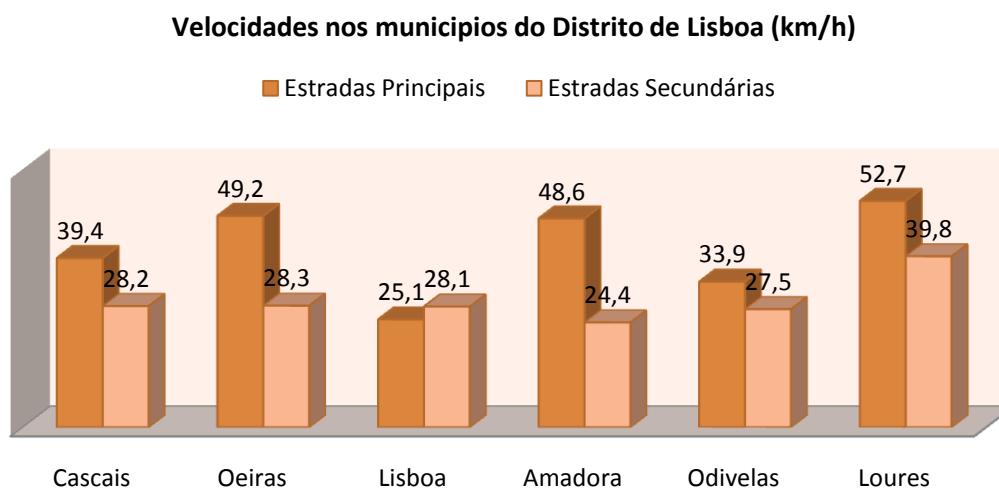
A velocidade nas vias com características de AE apresenta valores muito baixos (Figura 94), em relação ao regime de velocidade livre (120 km/h), sendo a degradação da velocidade quatro vezes inferior à específica do de regime de tráfego livre, o que constitui um indicador de congestionamento nestas vias na HPM. O valor adoptado foi o de **39 km/h**, este valor é inferior ao valor aconselhado pela metodologia do modelo de emissões [80;100]. O valor está muito abaixo do valor aconselhado, mas a especificidade da A5 e da CRIL indiciam que, durante o período de ponta matinal e da tarde, esta via é muito congestionada, motivo pelo qual o valor do modelo de tráfego foi o adoptado.

Figura 94 - Velocidade modelada para vias AE na HPM



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Figura 95 - Velocidades nos municípios do Distrito de Lisboa (km/h)



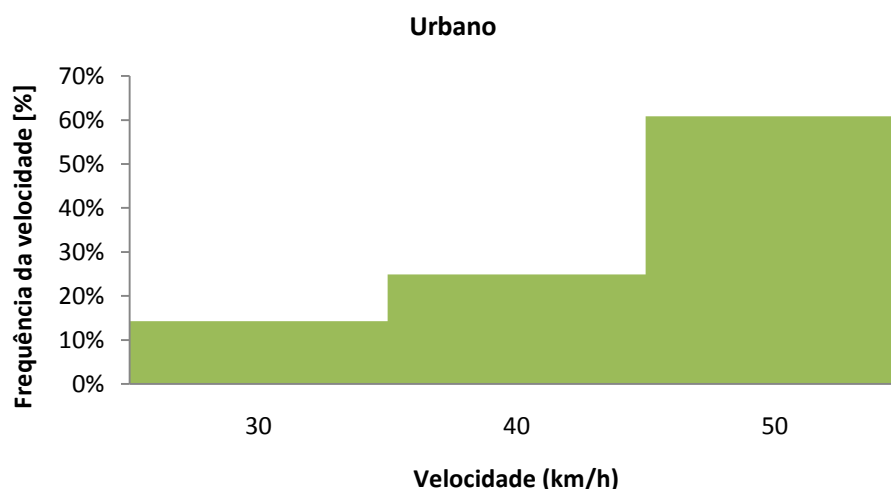
Fonte: (Gois, et al., 2006)

Velocidade entre pontas (Velocidade em regime de tráfego livre)

A análise aos dados do modelo de transportes permite avaliar a velocidade na área de estudos nos períodos fora de ponta. Nestes períodos, os veículos circulam, normalmente, sem muitos constrangimentos ao tráfego, pois a maioria da mobilidade é proporcionada pelos regressos a casa dos trabalhadores e estudantes e pelas idas para o trabalho e para a escola, que não ocorrem nestes períodos do dia. Assim, foram adoptadas as velocidades, em regime livre, consoante as características da estrada em que as viagens ocorrem.

Quando registam regimes de tráfego livre, as vias com características urbanas têm vários valores associados, sendo que a maioria das deslocações se processa a 50 km/h, que corresponde à velocidade máxima em áreas urbanas para ligeiros de passageiros. No entanto, estas vias têm constrangimentos associados, como passadeiras, sinais luminosos, rotundas e lombas que degradam a velocidade dos veículos. O valor de 50 km/h é um pouco sobre estimado, visto que estudos *in loco* estimam a velocidade em cerca de **28** km/h. Esta velocidade média foi escolhida, pois encerra as características de mobilidade que se processam nas zonas urbanas da zona de estudo. A metodologia baseia-se numa distribuição normal $N [20;3]$ e, apesar da velocidade média não se encontrar dentro deste intervalo, optou-se por usar esta velocidade média pelo motivo anteriormente explicado.

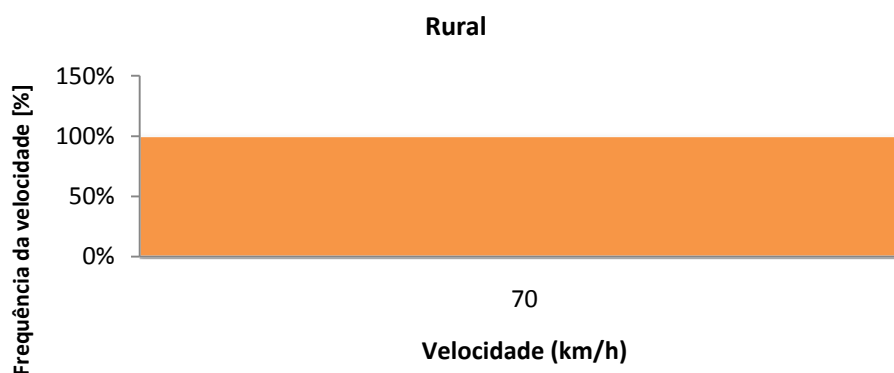
Figura 96 - Velocidade modelada para vias urbanas no PEP



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

A velocidade média em vias com características rurais, em regime livre, é de 70 Km/h como comprova a análise dos dados fornecidos pelo modelo de transportes. A natureza da estrada marginal e as suas características de mobilidade sugerem que este valor esteja sobre estimado, pois conhecem-se todos os sinais de controlo de velocidade e sinais luminosos de sinalização de cruzamentos que existem na zona. A velocidade adoptada foi a de **50** km/h, visto que reflecte a velocidade que os estudos *in loco* verificaram em vias como esta. A metodologia baseia-se numa distribuição normal $N [65;9,75]$.

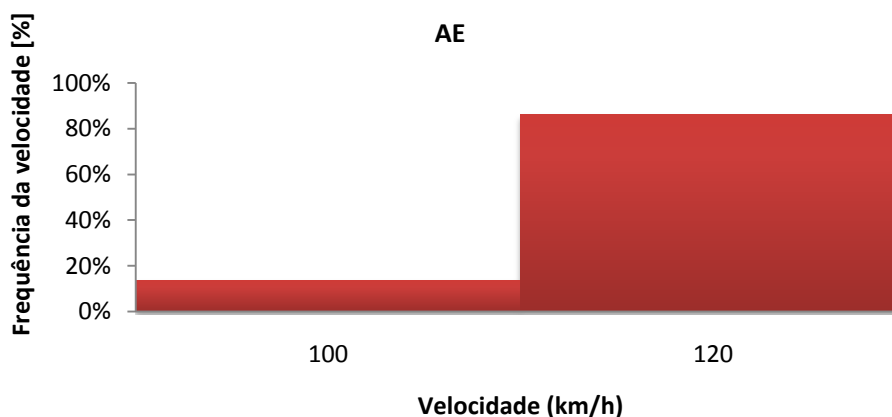
Figura 97 - Velocidade modelada para vias rurais no PEP



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

As vias com características de AE têm velocidades médias de 120 km/h, segundo o modelo de afectação de tráfego em regime de tráfego livre. Mais uma vez, esta velocidade aparenta ser sobre estimada, pelo que a velocidade adoptada é de **100** km/h, pois é a aconselhada pela metodologia do modelo de emissões através da distribuição normal $N [100;15]$.

Figura 98 - Velocidade modelada para vias AEs no PEP



Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

A Tabela seguinte faz uma síntese dos valores adoptados no modelo de emissões.

Tabela 54 - Velocidades segundo tipo de via e períodos de estudo analisados

Tipos de vias	Velocidades do modelo de transportes na HPM (km/h)	Velocidades do modelo de transportes PEP (km/h)	Velocidades adoptadas em períodos de ponta (km/h)	Velocidades adoptadas em períodos entre pontas (km/h)
Rural	39	50	33	50
A.E.	33	120	39	100
Urbano	41	50	25	28

Fonte: Autor com base em (TIS.PT, 2008)

Valores aconselhados pelo modelo de emissões:

Tabela 55 - Velocidade por tipo de via e valores adoptados nos períodos de estudo analisados

Velocidades por tipo de via (Km/h)	Distribuição estatística	Valores adoptados (km/h)	
		Períodos entre pontas (km/h)	Períodos de ponta (km/h)
Velocidade média (urbano)	Normal (20, 3)	28	25
Velocidade média (rural) de LP	Normal (65, 9.75)	65	33
Velocidade média (AE) de LP	Normal (100, 15)	100	39
Velocidade média (rural) de CL	Normal (60, 9)	60	33
Velocidade média (AE) de CL	Normal (90, 13.5)	90	19
Velocidade média (rural) de PM	Normal (50, 7.5)	50	33
Velocidade média (AE) de PM	Normal (80, 12)	80	39
Velocidade média (rural) de PP	Normal (50, 7.5)	50	33

Velocidades por tipo de via (Km/h)	Distribuição estatística	Valores adoptados (km/h)	
		Períodos entre pontas (km/h)	Períodos de ponta (km/h)
Velocidade média (rural) de M	Normal (65, 9.75)	65	33
Velocidade média (AE) de M	Normal (100, 15)	100	39

Fonte: (Kioutsioukis e Tarantola, s.d.)

Distância média percorrida

A distância média, dentro da área de estudo, foi elaborada através do cálculo das distâncias entre pares O/D pelos fluxos entre pares O/D (eq.12). Com este dado consegue-se calcular a mobilidade desejada, o VKT (veículos.quilómetros.percorridos), dividindo esta produção de mobilidade pelo número de viagens total consegue-se calcular a distância média percorrida dentro da área de estudo.

$$\text{Distância média percorrida} = \frac{\text{Distância pares O/D} \times \text{Fluxo veículos pares O/D}}{\text{Número total de viagens}} \quad [\text{Eq.12}]$$

O estudo elaborado pela empresa **Oeinerge** (Oeinerge, 2008), no concelho onde a área de estudo se encontra, quantificou a distância média dentro de concelhos de **4,6 km**. O valor obtido na área de estudo foi de **3,78 km**.

O tráfego do estudo baseia-se no volume médio diário anual, pelo que, para quantificar a distância percorrida por um veículo anualmente, é necessário fazer a seguinte equação:

$$\text{Quilometragem anual (km/ano)} = 365 \text{ dias} \times 3,78 \text{ km} \approx 1380 \text{ km/ano} \quad [\text{Eq.13}]$$

Quotas em função do ambiente de condução

A mobilidade feita nas diferentes vias da rede rodoviária segue a disposição mencionada na Tabela 56, foi feita a consideração de se atribuir uma distribuição de viagens, igual entre períodos de pontas e períodos entre pontas. É de notar que certos veículos não podem circular nas AE, como é o caso dos ciclomotores, e, no caso de veículos pesados de passageiros de características urbanas, a quilometragem percorrida em meio urbano aumenta de 45% para 85%, dado que estes veículos não circulam em vias com características de AE.

Tabela 56 - Distribuição das viagens por ambiente de condução em períodos de ponta por tipo de ambiente de condução

Tipo de ambiente de condução	Distribuição das viagens por ambiente de condução nos períodos de pontas (%)	Distribuição estatística
Rural	17%	Normal [0;50]
AE	38%	Normal [15;50]
Urbano	45%	Normal [35;75]

Fonte: (A) (TIS.PT, 2008) / (B)(Kioutsioukis e Tarantola, s.d.)

Quilometragem média da Frota

Os valores adoptados seguem a mesma metodologia do estudo interurbano.

AI.2.9 Dados específicos do país

Temperatura

As temperaturas seguem o método do estudo interurbano, diferenciando-se em relação à zona de estudo que se localiza em Oeiras. Os valores estão representados Tabela 57.

Tabela 57 - Temperaturas registadas na zona de estudo

Meses (2008)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Janeiro	17	8
Fevereiro	16	8
Março	17	8
Abril	19	11
Maio	19	11
Junho	25	16
Julho	26	16
Agosto	26	17
Setembro	24	16
Outubro	21	13
Novembro	17	7
Dezembro	14	8

Fonte: (Instituto de Meteorologia, IP, 2008)

Pressão de vapor de Reid (RVP)

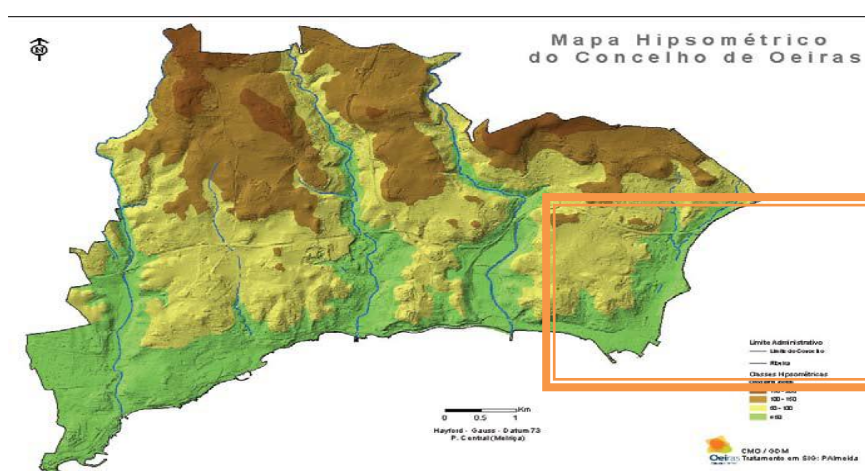
Valores de RVP são os mesmos calculados para o estudo interurbano.

Declive

A orografia do concelho de Oeiras, representada no Figura 99, identifica que a zona de estudo está estabelecida entre altitude junto ao mar de 10 m até 99 m junto à AE A5. A zona urbana desenvolve-se dentro das altitudes mais elevadas da zona de estudo, assinaladas pela cor amarela do mapa hipsométrico do concelho de Oeiras. As auto-estradas desenvolvem-se em duas zonas distintas a Norte e a Este da zona de estudo, sendo que o declive médio é de 2%. As estradas rurais desenvolvem-se a Sul da zona de estudo e o declive médio é de 0%.

O declive adoptado para este estudo foi de 2%, apesar de a metodologia aconselhar o uso de 0%. Contudo, este é um caso evidente em que se está perante uma área muito marcada pela orografia elevada, os principais fluxos de tráfego das vias de hierarquia inferior para a AE são executados com acentuada inclinação das estradas.

Figura 99 - Mapa hipsométrico da zona de estudo



Fonte: (Gabinete do Desenvolvimento Municipal de Oeiras, 2009)

Carga

A carga usada por veículo foi admitida conforme os pressupostos do estudo interurbano.

Factores de degradação devido à quilometragem

Nesta dissertação utilizar-se-ão os factores de degradação devido ao aumento da quilometragem dos veículos.

Efeito do combustível

O efeito do combustível vai ter por base as especificações dos combustíveis para o ano de 2005 com base nos mesmos pressupostos referidos no estudo interurbano.

AI.2.10 Resultados

Quantificação de emissões

Os resultados obtidos neste estudo serão disponibilizados pelas Figuras 100 a 107.

Os resultados do modelo de emissões, relativamente aos poluentes atmosféricos, são representados na Figura 100.

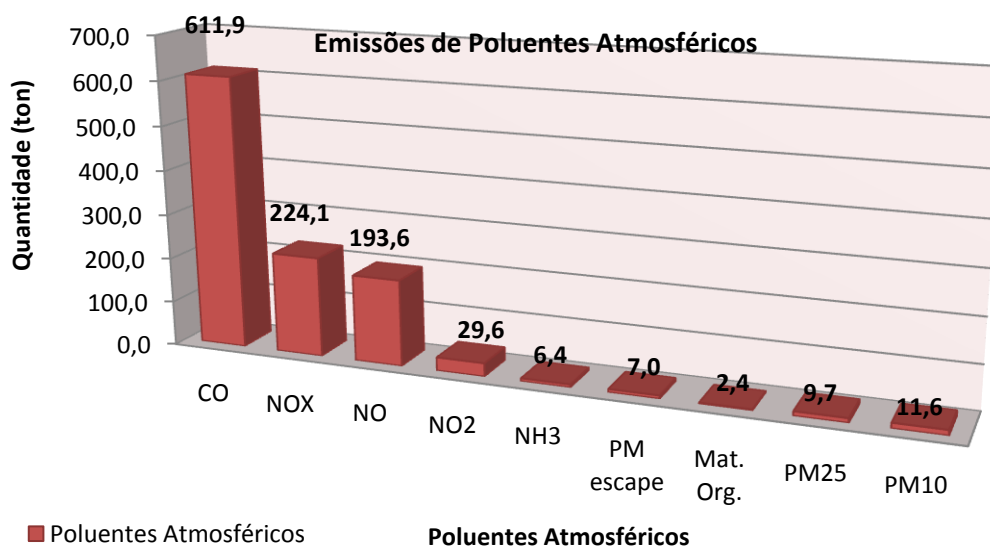
A Tabela 58 ilustra os factores de emissão na área de estudo para os diferentes poluentes calculados e dispõe os factores de emissão de poluentes para a cidade de Lisboa e AML (Tchepele O. , 2005).

Tabela 58 – Factores de emissão do estudo de caso urbano e de um estudo feito na AML e Lisboa no ano de 1999

Estudo de Caso	VKT [veic.km]	FE _{CO2} [g/VKT]	FE _{CO} [g/VKT]	FE _{NOx} [g/VKT]	FE _{PM10} [g/VKT]	FE _{COV} [g/VKT]
Urbano	206.080.920	201	2,97	1,09	0,056	0,266
AML		250	7,11	1,24	0,044	1,11
Lisboa		287	9,7	1,15	0,045	1,46

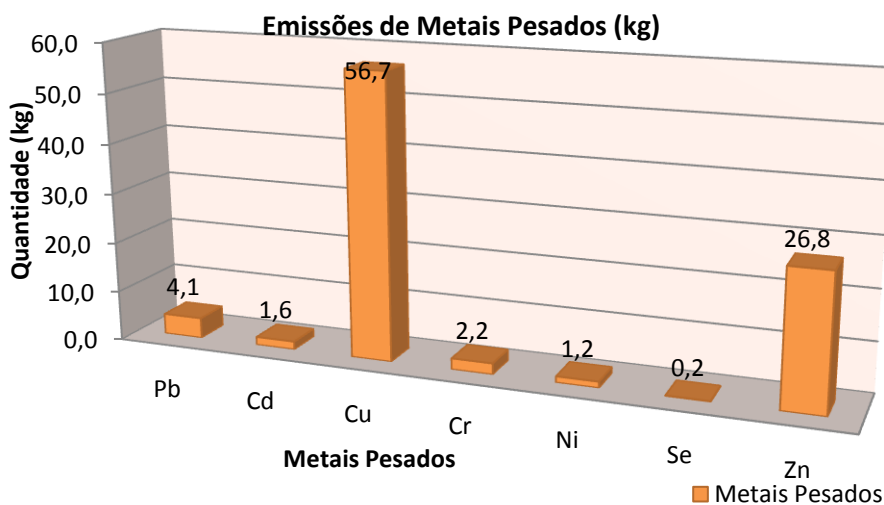
Fonte: Autor e (Tchepele O. , 2005)

Figura 100 - Total de emissões de Poluentes Atmosféricos



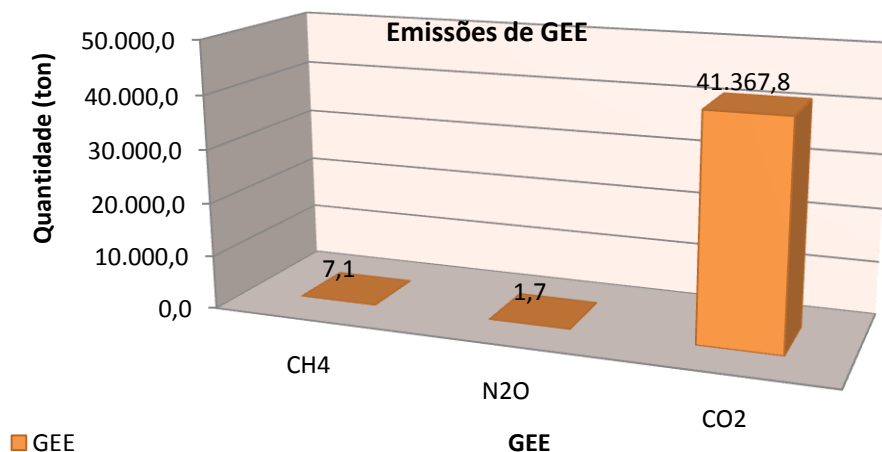
Os resultados do modelo de emissões, relativamente a metais pesados, são expressos no Figura 101.

Figura 101 - Total de emissões de metais pesados



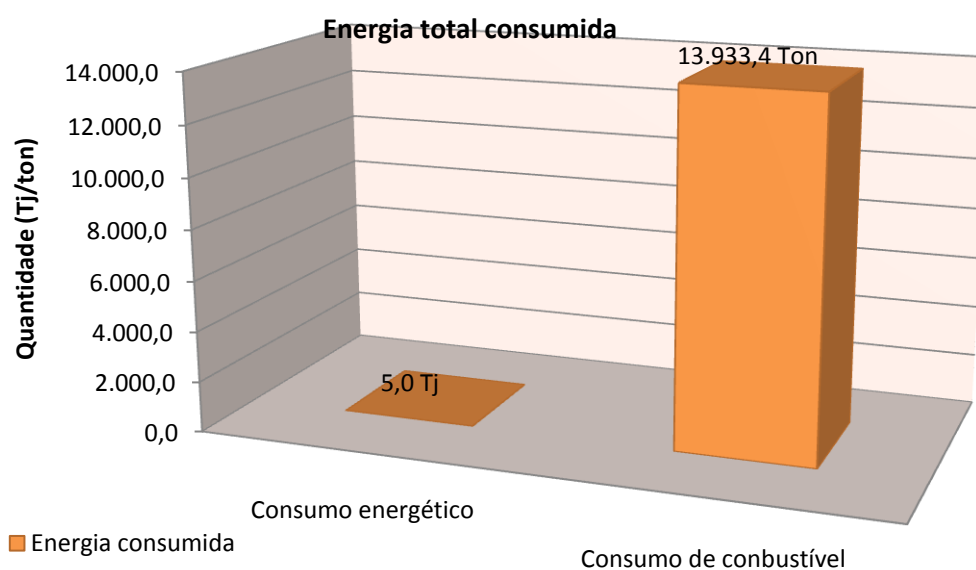
Os resultados do modelo de emissões, relativamente emissões de GEE, são explícitos no Figura 102.

Figura 102 - Total de emissões de GEE



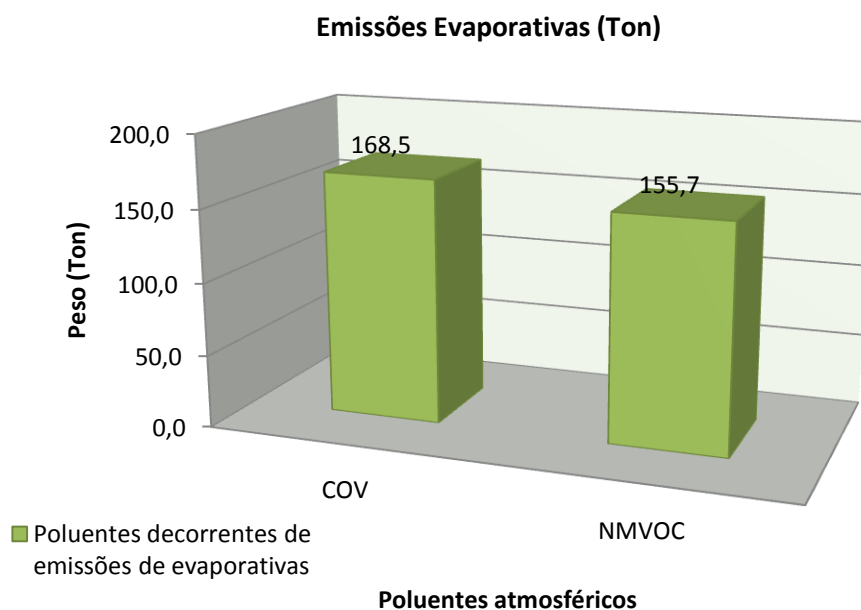
Os resultados do modelo de emissões, relativamente á energia consumida, são expressos no Figura 103.

Figura 103 - Total de emissões de energia consumida



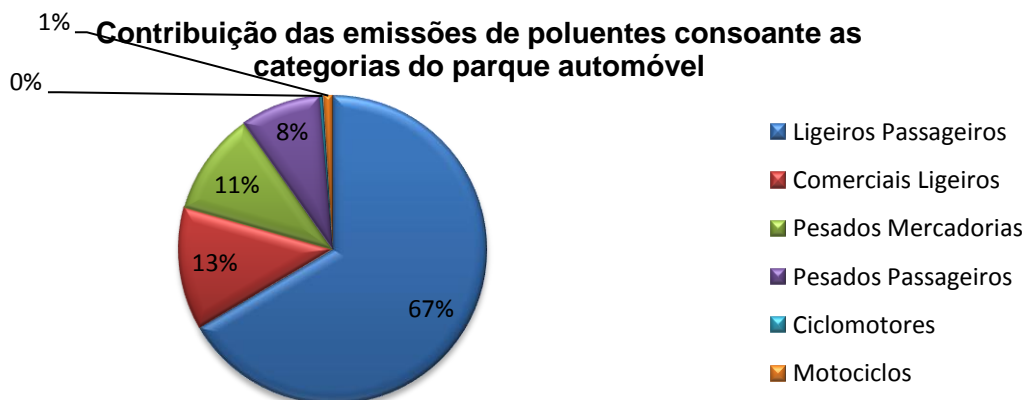
Os resultados do modelo de emissões, relativamente a emissões evaporativas, são explícitos na Figura 104.

Figura 104 - Total de emissões evaporativas



Os resultados do modelo de emissões, relativamente à contribuição das emissões de poluentes, consoante as categorias do parque automóvel, são explícitos no Figura 105.

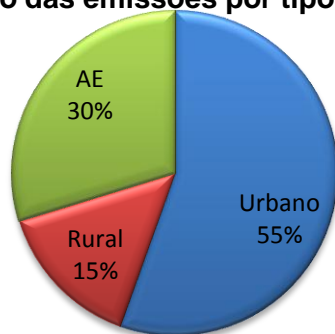
Figura 105 - Contribuição das emissões de poluentes consoante as categorias do parque automóvel



Os resultados do modelo de emissões, relativamente a contribuição das emissões, por tipo de via na HPM, são explícitos no Figura 106.

Figura 106 - Contribuição das emissões por tipo de via na HPM

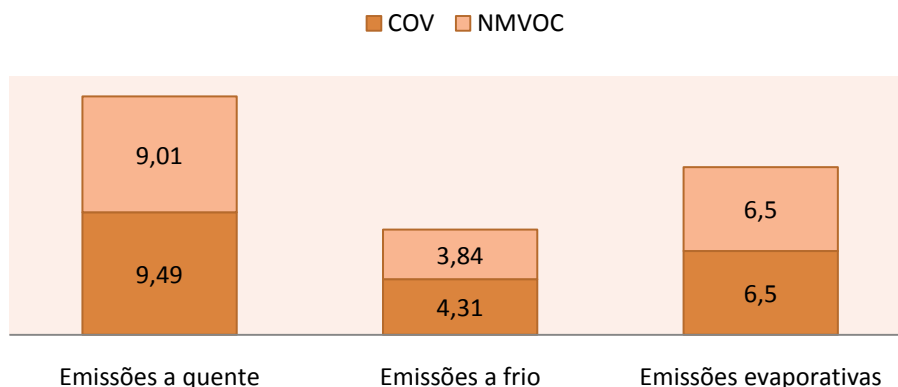
Contribuição das emissões por tipo de via na HPM



Os resultados do modelo de emissões, relativos à emissão de poluentes evaporativos, consoante o tipo de emissão, são explícitos no Figura 107.

Figura 107 - Emissões evaporativas consoante tipo de emissão

Emissões evaporativas consoante tipo de emissão



AI.2.11. Validação

A validação de uma metodologia é muito importante, pois confere coerência científica a uma metodologia experimentada. Sem a validação é impossível garantir o rigor científico de uma metodologia e, no caso dos modelos de emissão e transporte, garantir se estes modelos conseguem ser representativos da realidade que o modelo pretende simular.

Os dois aspectos importantes na validação dos modelos são (Beldring, 2002):

- ✓ Avaliação, isto é, em que medida o comportamento do modelo é coerente com a teoria científica. Esta avaliação está ligada à especificidade do modelo, pelo que nem sempre é fácil avaliar.
- ✓ Avaliação do desempenho operacional, isto é, o grau em que as previsões pelo modelo se aproximam de um conjunto correspondente de observações fiáveis, obtidas de uma forma independente.

Validação a partir dos dados de consumo

A representatividade dos dados obtidos através deste modelo foi verificada pela comparação desses mesmos dados com informação estatística de consumo de combustíveis verificados na área de estudo. A abordagem de cálculo foi feita através da proporção entre a área das freguesias e os dados de consumo que a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) disponibiliza para o Concelho de Oeiras.

Tabela 59 – Inventário do consumo de combustíveis no Concelho de Oeiras

Validação combustível	Ton
Gasolina Aditivada	12
Gasolina IO 95	34.213
Gasolina IO 98	3.565
Gasóleo Rodoviário	72.662
Total do Concelho	110.451

Fonte: (DGEG, 2008)

As freguesias da zona de estudo e a sua proporção em relação ao Concelho de Oeiras estão explicitas na Tabela 60.

Tabela 60 – Consumo de combustíveis na área de estudo

Freguesias	% da área
Algés	1,9%
C. Quebrada/Dafundo	2,9%
Linda-a-Velha	2,3%
Total	

Fonte: (Gabinete do Desenvolvimento Municipal de Oeiras, 2009)

Os dados relativos ao consumo de combustível das freguesias que constituem a zona de estudo são cruzados com os dados obtidos pelo modelo. O modelo de emissões tem uma função que permite um ajuste estatístico, entre os dados fornecidos pela **DGEG** e os obtidos pelo modelo de emissões que não foi usada no modelo. É necessário efectuar uma comparação entre dados estatísticos e modelados para haver coerência da informação usada no modelo de emissões que seja o mais representativas possível da realidade da zona urbana.

Existe uma diferença entre valores que é natural, pois muito do tráfego abastece os depósitos de combustível fora dos concelhos, como é o caso dos não residentes, que têm uma influência muito grande nos padrões de mobilidade da zona de estudo. Ainda assim, apesar da diferença de cerca 19% (aproximadamente 3 toneladas de combustível), os valores estão próximos, mesmo com toda a carga de incerteza associada ao consumo de combustível obtido por dados estatísticos.

Tabela 61 – Comparação de consumo de combustíveis entre modelo de emissões e dados estatísticos da DGEG

Consumo de combustível determinado pelo modelo de emissões (ton)	Consumo de combustível obtido através das estatísticas da DGEG (ton)
13.933	17.120

Validação da metodologia com base em estudos realizados na área de estudo

O processo de validação da metodologia com base em estudos realizados com os mesmos fins na área de estudo é muito importante, já que, através deste processo, consegue validar-se a metodologia adoptada. Na eventualidade de existirem resultados díspares, entre o estudo desenvolvido na área de estudo e estudos realizados por entidades idóneas com corpos técnicos altamente especializados, consegue formar-se uma conclusão crítica aos resultados obtidos no estudo realizado. A fase seguinte consiste em, depois de se chegar à conclusão de que existem dados díspares entre estudos, fazer uma nova abordagem à metodologia e à informação recolhida desde o início, de forma a conseguir melhorar os resultados obtidos.

Análise entre dados modelados e dados da APA

A validação do modelo de transportes passa pela comparação do tráfego esperado pelo modelo com o observado nas vias da zona urbana. Não é do âmbito desta dissertação avaliar a validação do modelo de transportes usado.

A validação das emissões de poluentes atmosféricos pretende ponderar se os dados modelados são representativos e coerentes com a realidade da área de estudo. No entanto, a validação de emissões de poluentes atmosféricos e poluentes locais para uma zona urbana pode ser difícil ou mesmo impossível. Existem diferentes métodos que são usados como estudos em túnel ou estudos de detecção remota que não são objecto desta dissertação. Sendo assim, optou-se por fazer uma validação simplista com o objectivo de avaliar se as emissões modeladas são coerentes com as estimativas de emissões no concelho de Oeiras elaboradas pela APA.

O processo de validação define a qualidade dos dados do modelo criado nesta dissertação. Este processo consiste numa avaliação entre dados de um estudo feito por uma entidade independente, idónea e transparente e os dados modelados do estudo da zona urbana.

Os dados do estudo da APA constam do relatório nacional de alocação espacial de poluentes atmosféricos (Boavida e Perez, 2008). Os dados relativos aos poluentes produzidos em Portugal mencionam a contribuição do concelho de Oeiras para a poluição atmosférica. Este estudo contempla os poluentes: NO_x , NH_3 , NMVOC, CO, PM_{10} , Pb, CH_4 , CO_2 e NO_2 . As origens dos poluentes são efectuadas para o território nacional e contemplam todas as origens pontuais em linha e em área verificadas a nível nacional. No entanto, o relatório (Boavida e Perez, 2008), não especifica as origens de emissões de poluentes por Concelho. Para avaliar de uma forma coerente os dados resultantes deste estudo, é necessário estipular as fontes que realmente contribuem para as emissões na zona urbana analisada. As fontes de emissão de sectores, como agricultura, pecuária, produção de energia, uso de solventes e combustão industrial foram eliminadas, pelo facto de as suas actividades serem inexistentes ou pouco relevantes na área analisada. Apesar de simplista, esta análise permite identificar se as emissões modeladas se encontram dentro dos valores adoptados por outras entidades responsáveis por inventários de emissões de poluentes.

Com a eliminação de sectores que não existem na zona estudada, as fontes de emissão que participam nas emissões de poluentes na zona urbana precisam de ser reajustadas estatisticamente, para se conseguir uma representatividade próxima do real de cada sector na zona urbana. Esta dificuldade foi ultrapassada, assumindo que existe proporcionalidade directa entre as fontes de emissão. Sendo assim, assumindo como exemplo um sector com

quatro fontes de emissão de produção igual de emissões (25% para cada fonte), se um dos sectores é eliminado, os restantes absorvem a cota parte do mesmo proporcionalmente (6,25%) para cada fonte). A Tabela 62 representa as fontes de emissão nacional por poluente.

Tabela 62 – Percentagem de poluente em função da fonte de emissão

Fontes de emissão	NO _x	NH ₃	NMVOC	CO	PM ₁₀	Pb	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Fontes naturais				25,0%			5,2%		
Deposição de resíduos no solo		3,3%		2,0%		12,3%	47,0%		
Agricultura*		41,5%	8,2%		2,8%		3,3%		44,7%
Produção de energia	21,0%				2,0%	2,6%			
Uso de solventes			37,2%		1,5%				
Transporte Rodoviário	34,4%	2,3%	17,5%	32,0%	5,8%	56,1%	0,6%	40,9%	8,4%
Outro Tipo transporte	1,8%		0,9%	1,6%	0,3%	3,0%	0,03%	2,2%	0,4%
Pecuária		39,3%					12,4%		20,1%
Águas Residuais		6,6%					25,2%		9,2%
Comercio serviços								17,0%	
Outros	8,6%	1,1%	4,7%		2,8%	0,4%	1,1%	8,0%	7,6%
Residencial								17,0%	
Processos industriais		5,9%	12,1%	7,0%	46,1%			15,0%	9,7%
Combustão industrial	20,2%		4,3%	3,0%	20,8%	13,2%			
Fontes móveis	3,6%								
Pequenas Fontes de combustão	10,4%		7,3%	29,0%	17,9%	12,6%	3,4%		
Fugitivas			7,7%				1,8%		

*as actividades a *bold* são aquelas que não se encontram na área de estudo

Fonte: (Boavida e Perez, 2008)

Para serem comparados com os dados do estudo, os dados do modelo de emissões necessitam de ser calculados por unidade de área (km²). Sabe-se que a área da zona urbana é de 7,2 km², pelo que, dividindo as quantidades de poluentes em toneladas pela área, obtêm-se os valores dos poluentes por área.

A percentagem do valor real das emissões provenientes do sector dos transportes ajusta a contribuição deste sector do nível nacional para o nível regional. A comparação entre dados permitiu verificar que existem poluentes em que há grande diferença entre os valores, caso do NH₃, N₂O e do Pb. Para os demais poluentes, as diferenças são aceitáveis, dado o grau associado de incerteza da frota que circula na zona urbana, das velocidades médias e da variação do tráfego durante o dia. O rácio entre dados do estudo realizado pela APA (Boavida e Perez, 2008) e os dados do modelo de emissões permite analisar as diferenças entre valores. Como existe um grande número de poluentes em que as diferenças são

inferiores a 20%, o que é aceitável, dado o número de variáveis envolvidas e a representatividade da informação recolhida. A modelação concluída mostra ser consistente e capaz de modelar zona urbana numa forma coerente com a realidade, apesar de ter uma incerteza associada o que é comum em todos os modelos.

Com este pressuposto, consegue validar-se a metodologia adoptada e torna-se desnecessária uma nova abordagem à informação usada e à metodologia adoptada.

Tabela 63 – Inventário de emissões da APA para o Concelho de Oeiras

Poluentes (Ton/km ²)	NO _x	NH ₃	NMVOG	CO	PM ₁₀	Pb	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Poluentes Totais	60,4	3,4	65,7	254,0	20,3	0,064	116,2	11.696,0	1,7
Poluentes Modelados	31,13	0,89	21,62	84,98	1,62	0,0057	0,98	5.745,53	0,23
% Real de Transporte rodoviário	58%	12%	35%	33%	8%	66,56%	0,75%	41%	24%
Poluentes Transportes Estudo	35,34	0,41	22,840	83,797	1,618	0,043	0,866	4.777,81	0,400
Rácio	88%	218%	95%	101%	100%	13%	114%	120%	57%

Fonte: (Agência Portuguesa do Ambiente, 2009)

AI.2.12 Indicadores ambientais

Os indicadores ambientais calculados para identificar os impactes reais no ambiente, decorrentes da actividade de mobilidade rodoviária, são explícitos na Tabela 64.

Tabela 64 – Indicadores ambientais calculados para a zona de estudo

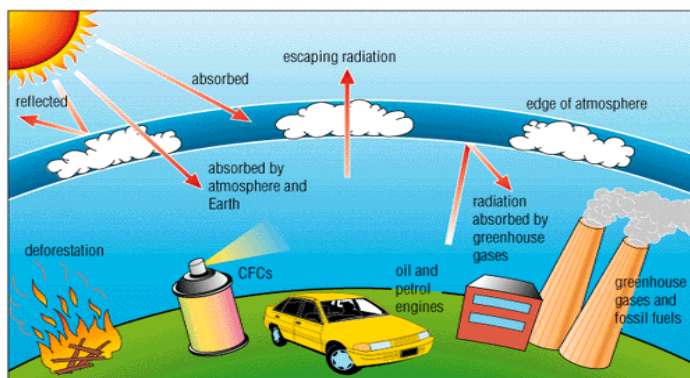
Indicadores ambientais	
Total de CO ₂ eq (ton)	42.028
Nº Árvores a plantar (1 árvore absorve 1,1 ton/CO ₂ eq/ano)	38.207
Preço (1 crédito de carbono = 13€)	546.364€
Área árvores (1 ha =1200 árvores)	31,8 ha
% das emissões da área em relação ao universo de emissões de CO ₂ eq no país (Emissões CO ₂ eq totais dos transportes terrestres em Portugal = 1,88.10 ⁷ ton CO ₂ eq (APA, 2008))	0,23%

ANEXO II - Figuras

AII.1 - Efeito de Estufa

O sol intervém no clima do planeta através da radiação de energia, com a radiação de comprimentos de onda muito pequenos predominantemente no espectro visível ou perto do visível (ex. ultravioleta). Perto de um terço da energia solar que alcança o topo da atmosfera terrestre é reflectida directamente de volta ao espaço. Os restantes dois terços, são absorvidos pela superfície e a um menor grau pela atmosfera. Para balancear a energia absorvida, o planeta tem por média de irradiar a mesma quantidade de energia de volta para o espaço. Como a Terra é muito mais fria que o Sol, esta irradia ondas, com comprimentos de onda bem maiores, principalmente na parte infra-vermelha do espectro. Muita desta radiação térmica emitida pela superfície terrestre e pelo oceano é absorvida pela atmosfera, incluindo as nuvens, e é novamente irradiada de volta à terra. Este efeito é denominado **Efeito de Estufa**. As paredes de vidro de uma estufa reduzem o fluxo de ar e aumentam a temperatura do ar interior. Por analogia, mas por diferentes processos físicos, o Efeito de Estufa aumenta a temperatura na terra. Sem o efeito de estufa natural a temperatura média terrestre seria inferior à temperatura de fusão da água. Assim, os gases mais abundantes como o azoto e oxigénio, não exercem quase nenhum Efeito de Estufa, pelo contrário, o vapor de água e o dióxido de carbono, são os principais responsáveis pelo Efeito de Estufa. O metano, óxido nítrico, ozono e outros gases presentes na atmosfera em menor percentagem, também contribuem para o Efeito de Estufa. O aumento das concentrações de GEE aquece a atmosfera, que faz aumentar a concentração de vapor de água intensificando o Efeito de Estufa. Por sua vez esta intensificação causa mais aquecimento, o que faz um aumento adicional de vapor de água fortalecendo o ciclo (IPCC, 2007). Este efeito, é muito importante para o equilíbrio ambiental terrestre pelo que tem sido alvo de medidas de que diminuam a concentração dos gases responsáveis pela sua génese. A cimeira de Copenhaga em 2009 foi o último esforço feito pela Organização Nações Unidas neste sentido.

Figura 108 - Efeito de Estufa



Fonte: (Farlex, 2009)

AII.2 - Laboratórios de ensaio de motores numa plataforma de serviço

O uso de laboratórios nos testes de motores numa plataforma de serviço é realizado para analisar parâmetros de motores (gasolina e gasóleo). Os motores em plataforma estão equipados com um travão que absorve e mede a potência mecânica transmitida pelo motor. A taxa de transferência mecânica e assim como a potência fornecida pelo combustível são calculadas pela quantificação da taxa de fluxo de combustível e da composição dos gases de escape a cada procedimento testado. Os balanços de energia do sistema de arrefecimento, circuito de óleo e do tubo de escape são calculados com a medição de pressões, temperaturas e taxas de fluxo de massa em cada circuito. As perdas de calor por radiação e convecção do motor são medidas através de variações da temperatura do ar na sala de teste.

A investigação com uso destes testes baseia-se principalmente em domínios como:

- A recuperação de energia térmica nos tubos de escape;
- A conversão da energia térmica em energia mecânica;
- A despoluição de gases de escape.

Figura 109 – Laboratórios de ensaio de motores numa plataforma de serviço



Fonte: (KK SCV Tokyo, 2003)

AII.3 - Testes de emissões em dinamómetro de chassis

Os testes de emissões em dinamómetro de chassis são usados para simular a condução numa estrada dentro de um laboratório sobre condições controladas. O veículo é conduzido sobre rolamentos, enquanto o dinamómetro simula a inércia do veículo assim com a fricção e resistência no veículo. Como o veículo é testado na sua totalidade, ao contrário de outros testes que usam apenas partes de veículos como o motor. Os controlos do condutor do veículo são operados por uma pessoa, ao contrário de outros testes que utilizam o computador como comando de operação dos controlos do veículo. Com estes procedimentos o uso do dinamómetro de chassis permite a avaliação de condições reais de emissões. Esta capacidade permite um melhor uso dos benefícios de novos tipos de combustíveis assim como tecnologias de emissões. É preponderante na avaliação de performance de veículos pesados híbridos.

Figura 110 - Laboratório de testes de emissões com um dinamómetro de chassis



Fonte: (National Renewable Emissions Laboratory, 2009)

AII.4 - Medição de emissões na estrada através de sistemas a bordo do veículo

Os sistemas portáteis com capacidade de medição de emissões de escape enquanto um veículo segue a sua marcha e sistemas de equipamentos móveis são recentes. Estes equipamentos têm vantagens como menor custo na medição de emissões de escape, capacidade de realizar a medição de emissões de escape em situações de condução realistas, e a capacidade de conseguir avaliar emissões onde os laboratórios não conseguem. Este sistema consiste num equipamento que está ligado ao sistema de escape do veículo, em que o fluxo de gases é extraído e diluído por um sistema que mede as emissões dos principais poluentes produzidos pelos veículos.

Figura 111 - Medição de emissões na estrada através de sistemas a bordo do veículo



Fonte: (Gonçalves e Farias, s.d.)

AII.5 - Medições de emissões na estrada

O uso de medição de emissões através de sensores que se encontram na estrada é um modo efectivo de monitorizar as emissões de escape dos veículos motorizados e condições normais de condução. Os sensores usam os feixes de radiação ultra-violeta e infra-vermelha, o módulo detector da fonte e o espelho de transferência vertical são posicionados nos lados opostos da via de tráfego. Assim que os veículos passam o feixe passa pelo fumo de escape do sistema de escape do veículo que absorve alguma luz. O volume de concentração dos poluentes é medido simultaneamente para cada veículo. Uma grande quantidade de concentrações de emissões de veículos, velocidade dos veículos e informação de aceleração e o impacto dos veículos que causam maiores emissões são obtidos e identificados num curto período de tempo numa via de tráfego estudada.

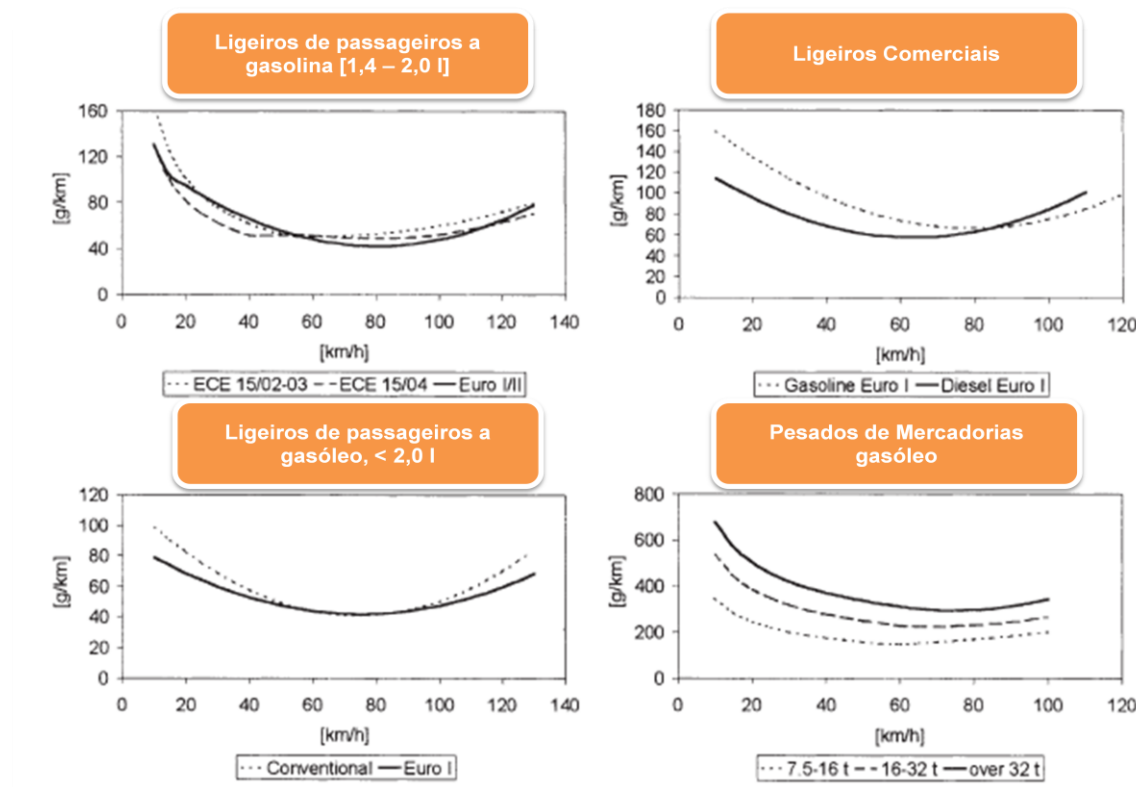
Figura 112 - Medições de emissões na estrada



Fonte: (Chana, et al., 2002)

AII.6 - Relação entre velocidade e emissões

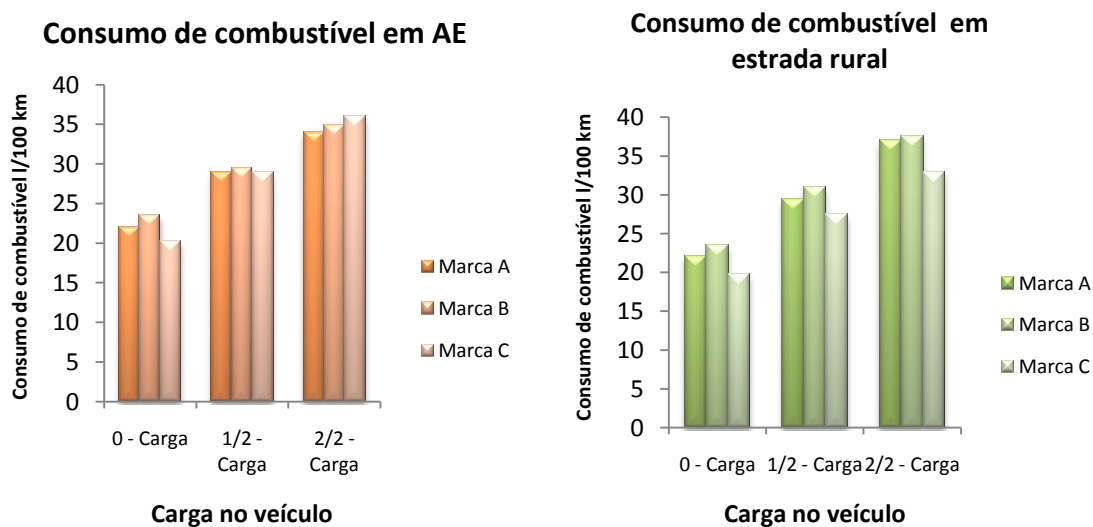
Figura 113 - Relação entre velocidade e emissões



Fonte: (Zachariadis e Samaras, 2000)

AII.7 - Consumo de combustível por carga do veículo

Figura 114 - Consumo de combustível por carga do veículo



Fonte: Adaptado (Joumard e Sérié, 1999)

ANEXO III - Legislação

Enquadramento da política comunitária

O cálculo de emissões provenientes do tráfego rodoviário é uma importante ferramenta no alcance dos objectivos definidos a nível nacional e internacional na procura por uma melhor qualidade do ar nos ambientes nacional e europeu.

Nesta perspectiva é necessário enquadrar os principais documentos orientadores legais de referência relativamente à qualidade do ar assim como os principais instrumentos legais que existem para o cumprimento de objectivos e compromissos nacionais e internacionais que abrangem o sector dos transportes rodoviários.

AIII.1 - Decreto-lei nº 111/2002

O decreto-lei nº 111/2002 estabelece os valores limite e os limiares de alerta para as concentrações de determinados poluentes no ar ambiente bem como os métodos e critérios de avaliação das respectivas concentrações e normas sobre informação do público, com vista a evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos dessas substâncias sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade e a preservar e a melhorar a qualidade do ar.

Os poluentes abrangidos pelo regime do presente diploma são o dióxido de enxofre, o dióxido de azoto e os óxidos de azoto, as partículas em suspensão, o chumbo, o benzeno e o monóxido de carbono.

AIII.2 - Decreto-Lei n.º 351/2007

O decreto-lei nº 351/2007 delibera um valor alvo para as concentrações de arsénio, cádmio, níquel e benzo(a)pireno no ar ambiente de modo a evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos do arsénio, cádmio, níquel e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos na saúde humana e no ambiente na sua globalidade.

Estabelece métodos e critérios comuns para a avaliação das concentrações de arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente, bem como da sua deposição;

AIII.3 - Decreto-lei nº 7/2002

O decreto-lei nº 7/2002 determina a ratificação por parte de Portugal do Protocolo de Quioto através da aprovação do Protocolo de Quioto na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

AIII.4 - Directiva 2001/81/CE

A directiva 2001/81/CE estabelece, para cada Estado-Membro, os valores-limite aplicáveis às emissões de dióxido de enxofre, de óxidos de azoto, de compostos orgânicos voláteis.

Define que os Estados-Membros devem limitar as suas emissões nacionais anuais de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COV) e amoníaco (NH₃) a quantidades não superiores aos valores-limite de emissão.

AIII.5 - Resolução do Conselho de Ministros 68/2005

A resolução do concelho de ministro nº 68/2005 emprega o adequado enquadramento legal e institucional de suporte à elaboração anual do inventário nacional de emissões antropogénicas por fontes e remoção por sumidouros de poluentes atmosféricos (INERPA)

Define a criação de um sistema fidedigno que assegure a transparência, a coerência, a comparabilidade, a exaustividade e o rigor do INERPA.

Define a elaboração do inventário nacional de emissões de poluentes atmosféricos no âmbito da protecção, controlo e gestão da qualidade do ar ambiente.

AIII.6 - Resolução do Concelho de Ministros 104/2006

A resolução do Concelho de ministros nº 104/2006 estabelece mediante a adopção do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2004), as medidas à época tidas como adequadas para que Portugal viesse a atingir as metas que lhe estão fixadas no âmbito do Protocolo de Quioto (PQ) e do Acordo de Partilha de Responsabilidades da União Europeia.

AIII.7 - Regulamento 715/2007

O regulamento nº 715/2007 define a homologação dos veículos a motor no que respeita às emissões dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais (Euro 5 e Euro 6) e ao acesso à informação relativa à reparação e manutenção de veículos.

AIII.8 - Decreto-lei nº 254/2001

O decreto-lei nº 254/2001 constitui a proibição da comercialização da gasolina com chumbo. Estabelece disposições relativas à qualidade das gasolinas e dos combustíveis para motores diesel e as pressões de vapor de Reid regulamentares.

AIII.9 - Directiva 2009/30/CE

A directiva nº 2009/30/CE refere as especificações da gasolina e do gasóleo rodoviário e não rodoviário e a introdução de um mecanismo de monitorização e de redução das emissões de gases com efeito de estufa.

AIII.10 - Decreto-lei 550/99

O decreto-lei nº 550/99 estabelece o regime jurídico da actividade de inspecção técnica de veículos a motor e seus reboques.

AIII.11 - Directiva 92/55/EC

A directiva nº 92/55/EC aproxima as legislações dos Estados-membros respeitantes ao controlo técnico dos veículos a motor e seus reboques (emissões do escape).

AIII.12 - Resolução de Conselho de Ministros n.º 1/2008

A resolução acima citada, aprova o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) relativo ao período de 2008-2012, designado por PNALE II, bem como as novas metas 2007 do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2006) e revoga a Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2005, de 3 de Março, que aprovou o PNALE relativo ao período de 2005-2007.

ANEXO IV - Tabelas

Grupos de poluentes quantificados pela metodologia COPERT IV

De acordo com o detalhe de informação disponível e com aproximação adoptada pela metodologia de cálculo de emissões os poluentes são distinguidos pelos seguintes grupos:

AIV.1 - Grupo 1

Tabela 65 – Grupo 1

Poluentes	Fórmula Química
Monóxido de carbono	CO
Óxidos de Azoto	NO ₂ ;NO _x ;NO
Compostos voláteis orgânicos (VOC)	CH _{1.85}
Metano	CH ₄
Não metano VOC (NMVOC)	VOC menos CH ₄
Partículas microscópicas	PM

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AIV.2 - Grupo 2

Tabela 66 – Grupo 2

Poluente	Formula Química
Dióxido de carbono	CO ₂
Dióxido de enxofre	SO ₂
Chumbo	Pb
Cádmio	Cd
Crómio	Cr
Cobre	Cu
Níquel	Ni
Selénio	Se
Zinco	Zn

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AIV.3 - Grupo 3

Tabela 67 – Grupo 3

Poluente	Formula Química
Amónia	NH ₃
Óxido nitroso	N ₂ O
Hidrocarbonetos poliaromáticos (PHAs) e poluentes persistentes orgânicos (POPs)	-
Dioxinas (PCDDs)	-
Furanos (PCDFs)	-

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AIV.4 - Grupo 4

Tabela 68 – Grupo 4

Poluente	Formula Química
Alcanos	C _n H _{2n+2}
Alcenos	C _n H _{2n}
Aldeídos	C _n H _{2n} O
Cetonas	C _n H _{2n} O
Cicloalcanos	C _n H _{2n}

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

Efeitos dos poluentes atmosféricos e GEE contemplados pela metodologia COPERT IV na saúde humana e ambiente

Os poluentes atmosféricos e GEE em concentrações elevadas podem causar problemas na saúde humana e no ambiente. Os efeitos nas pessoas podem ir de alergias a morte, pelo que, é urgente diagnosticar as áreas mais expostas a estes poluentes e encontrar formas de os mitigar. O ambiente tem sofrido, devido à acção humana, ao aumento de poluentes atmosféricos e GEE que provocam efeitos severos no clima, monumentos, terrenos, etc.

AIV.5 - Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 1

Tabela 69 – Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 1

Poluente	Características	Fontes principais	Efeitos na Saúde humana	Efeitos no ambiente
Monóxido de carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido	Combustão incompleta em veículos automóveis	Hipoxia, problemas cardiovasculares e coronários, aumenta risco de ataque cardíaco, diminui a capacidade de aprendizagem, sono e diminuição da capacidade de destreza	
Óxidos de Azoto ²² (NO ₂ , NO _x)	Gás castanho avermelhado com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos que usam motor de combustão interna.	Tóxico, prejudica aparelho respiratório, danifica o tecido pulmonar. Aumento da sensibilidade à asma e a bronquite, redução às infecções respiratórias	O NO ₂ é considerado com gás de efeito de estufa com poder de guardar calor 310 vezes mais que o dióxido de carbono.
Compostos voláteis orgânicos (VOC)	Gás incolor inflamável	Combustão incompleta do combustível	Contribuem para a formação de partículas finas, tóxicos e perigosos para a saúde humana pois podem causar cancro.	Causam a formação de <i>Smog</i>
Metano (CH ₄)	Gás incolor	Combustão de combustível principalmente gás natural. (Faiz, Weaver, & Walsh,	Só é preocupante em muito grandes quantidades onde pode ser tóxico e inflamável	Gás efeito de estufa com potencial 21 vezes superior ao CO ₂

²² Este poluente é bastante preocupante para a saúde humana e como reage com a atmosfera (com VOC) para produzir ozono através da luz solar.

		1996)		
Ozono	Gás incolor e inodoro	Não é emitido, é produzido fotoquimicamente pela acção solar sobre os óxidos de azoto e VOC	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O3 tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares	
Partículas Microscópicas (PM10 /PM2,5) ²³	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem	Processo de combustão dos veículos. Formado na atmosfera através de reacções secundárias de outros poluentes com a atmosfera.	Doenças respiratórias, cardiovasculares, alterações no sistema imunitário, destruição de tecidos pulmonares, cancro e morte prematura PM10 são as mais prejudiciais pois depositam-se nas unidades funcionais do sistema respiratório (C.M. Vila do Conde, 2009). As PM2,5 As partículas que resultam de processos de combustão ou de reacções químicas na atmosfera tendem a apresentar uma dimensão, em termos de diâmetro inferior, a 2,5 µm, sendo por isso consideradas como sendo a fracção fina das PM10. As partículas de diâmetro inferior a 2,5 micrómetros podem mesmo atingir os alvéolos pulmonares e penetrar no sistema sanguíneo. Refira-se também que as partículas absorvem hidrocarbonetos e metais pesados transportando-os até aos pulmões onde são transportadas pela corrente sanguínea.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade da contaminação do solo.

Fonte: (World Health Organization, 2007)

AIV.6 - Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 2

Tabela 70 – Poluentes e as suas consequências na saúde humana (Grupo 2)

Poluentes ²⁴	Principais fontes	Efeitos na Saúde	Efeitos no ambiente
Dióxido de carbono (CO ₂) ²⁵	Durante a combustão do combustível	Asfixiação, danos renais e coma mas só em grandes concentrações. Nota: Este composto químico não é	Principal gás de efeito de estufa.

²³ A classificação das partículas poluentes baseia-se no seu tamanho aerodinâmico. As partículas finas apresentam diâmetro aerodinâmico inferior a 2.5 mm e as partículas grossas diâmetros aerodinâmico superior a este limite e até 10 mm. A classificação das partículas segundo o seu diâmetro aerodinâmico é importante porque é desta propriedade que depende o seu transporte e remoção do ar, a sua deposição no sistema respiratório e a associação com as fontes emissoras e sua composição. A sua designação na literatura aparece frequentemente como PM2.5 para as primeiras e PM10 para as segundas, em que PM é o acrónimo de “*Particulate Matter*” (Oliveira e Matos, s.d.)

O sector dos transportes rodoviários assume um peso relativamente baixo quando comparado com as fontes industriais, sobretudo tendo em conta os resultados de campanhas de monitorização efectuados em diversas cidades europeias: os níveis de metais pesados em locais de tráfego são da mesma ordem de grandeza dos níveis de fundo urbano, ao passo que nas imediações de zonas industriais as concentrações de metais pesados podem ser até uma ordem de grandeza superiores (CE, 2000).

Anexo IV - Tabelas

		considerado um poluente mas um GEE.	
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel.	Asma, morte prematura, dificuldade respiratória, doenças respiratórias e cardíacas. (EPA, 2000)	Pode ser transformado em SO ₃ que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ sendo responsável pela chuva ácida. É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.
Chumbo (Pb)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Anemia, doenças renais, disfunções reprodutivas, perturbações neurológicas, afectam o seu sistema nervoso central e o normal crescimento, aumento da tensão arterial e, doenças cardíacas em homens de meia-idade, osteoporose pós-menopausa, morte (C.M. Vila do Conde, 2009).	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente.
Cádmio (Pb)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Pneumonia, problemas respiratórios crónicos, bronquite e insuficiência renal (WHO, 2000).	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente
Crómio (Cr)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Irritações da pele, problemas respiratórios, enfraquecem o sistema imunitário, danos nos rins e fígado, alteração no material genético, cancro do fígado e morte (Lenntech, 2009).	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente
Cobre (Cu)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Irritações do nariz, boca e olhos; enxaquecas; dor de estômago; vômitos e diarreia. (Lenntech, 2009)	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente
Níquel (Ni)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Cancro no nariz, próstata e laringe, tonturas, falha respiratória, defeitos à nascença, asma, bronquite crónica e desordens cardíacas. (Lenntech, 2009)	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente
Selénio (Se)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Tonturas, fadiga, irritações das membranas mucosas (Lenntech, 2009)	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente

²⁵ O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais gases de efeito de estufa que tem aumentado derivado ao consumo de combustíveis fósseis e diferentes usos do solo.

Zinco (Zn)	Processos de combustão que usam combustíveis fósseis	Perda de apetite, perda de sensação de gosto e olfacto, dificulta a cura de feridas, defeitos de fetos (Lenntech, 2009)	Contamina solos, água e é prejudicial para o ambiente
------------	--	---	---

Fonte: (World Health Organization, 2007)

AIV.7 - Efeitos dos poluentes na saúde humana grupo 3

Tabela 71 – Poluentes e as suas consequências na saúde humana (Grupo 3)

Poluentes	Fontes	Efeitos na Saúde	Efeitos no ambiente
PAHs	Combustão de combustíveis fósseis como o motor a explosão interna.	Produtos cancerígenos mutagénicos e teratogénico ²⁶ e dificultam a reprodução humana, prejudicar o sistema imunitário.	Contamina água e a vida marinha.
POPs	Combustão de combustíveis fósseis como o motor a explosão interna.	Tóxicos	Tóxicos para a vida selvagem
PCDD (dioxinas)	Combustão de combustíveis fósseis como o motor a explosão interna	Os efeitos da exposição a dioxinas na saúde humana envolvem alterações no sistema imunológico, reprodutor e endócrino e em maiores concentrações são cancerígenas.	
PCDF (furanos)	Combustão de combustíveis fósseis como o motor a explosão interna	Carcinogénico, mutagénico e citotóxico (Pinho & Ferreira, 2008)	

Fonte: (World Health Organization, 2007)

Dados usados na metodologia COPERT IV

Os dados usados na metodologia pretendem transmitir os comportamentos dos veículos nas áreas de estudo. O factor de carga resulta de estudos feitos com veículos pesados, em que

²⁶ Intervenção no desenvolvimento de um ser vivo, de modo a produzir deformações

se quantificou, o acréscimo de poluentes resultantes de veículos que transportam carga nas suas viagens.

As classes de veículos pretendem estruturar a frota de veículos nas suas diversas propriedades como: tecnologia de emissão, cilindrada, peso, tipo de combustível, etc.

Por fim a Matriz O/D corresponde a uma matriz representativa dos movimentos de veículos entre os pares O/D definidos no Estudo de Mobilidade e Acessibilidade no Concelho de Oeiras.

AIV.8 - Factor de carga

Tabela 72 – Factor de carga

Poluente	Factor de carga
CO	0,21
NOx	0,18
COV	0,00
PM	0,08
Consumo Combustível	0,18

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AIV.9 - Classes de veículos adoptadas em Portugal

Tabela 73 - Classes de veículos adoptadas em Portugal

	Gasolina	PRE ECE		Gasóleo	Convencional
Ligeiros de passageiros	< 1,4 l	ECE 15/00-01	Comerciais	< 2,5t	Euro 1
		ECE 15/02			Euro 2
		ECE 15/03			Euro 3
		ECE 15/04			Euro 4
		Improved Conv.			Convencional
		Open loop			Convencional
	1,4l . 2,0l	Euro 1	Pesados de mercadorias	< 7,5t	Euro 1
		Euro 2			Euro 2
		Euro 3			Euro 3
		Euro 4			Euro 4
Gasolina	PRE EDE			Euro 5	
1,4l . 2,0l	ECE 15/00-01		7,5t - 16t	Convencional	
	ECE 15/02			Euro 1	
	ECE 15/03			Euro 2	
	ECE 15/04			Euro 3	
	Improved Conv.			Euro 4	
	Open loop			Euro 5	

Ligeiros	Euro 1	Autocarros	Gasóleo	Convencional	
	Euro 2		16t - 32t	Euro 1	
	Euro 3			Euro 2	
	Euro 4			Euro 3	
	Gasolina PRE EDE			Euro 4	
	> 2,0l ECE 15/00-01			Euro 5	
	ECE 15/02		Gasóleo	Convencional	
	ECE 15/03		> 32t	Euro 1	
	ECE 15/04			Euro 2	
	Euro 1			Euro 3	
	Euro 2			Euro 4	
	Euro 3			Euro 5	
	Euro 4		Autocarros	Convencional	
	Gasóleo Convencional		Urbanos	Euro 1	
	< 2,0l Euro 1			Euro 2	
	Euro 2			Euro 3	
	Euro 3			Euro 4	
	Euro 4			Euro 5	
	Gasóleo Convencional		Expressos	Convencional	
	> 2,0l Euro 1			Euro 1	
	Euro 2			Euro 2	
	Euro 3			Euro 3	
	Euro 4			Euro 4	
	LPG Convencional			Euro 5	
	Euro 1		Ciclomotores	< 50 cm3	Convencional
	Euro 2				Estágio 1
	Euro 3				Estágio 2
	Euro 4			2 tempos	Convencional
2 tempos Convencional		> 50 cm3	Estágio2		
Gasolina Convencional		4 tempos	Convencional		
< 2,5t Euro 1	Motociclos	50 - 250 cm3	Estágio2		
Euro 2		4 tempos	Convencional		
Euro 3		250 - 750 cm3	Estágio2		
Euro 4		4 tempos	Convencional		
		> 750 cm3	Estágio2		

Fonte: (Ntziachristos e Samaras, 2000)

AIV.10 - Matriz O/D da zona urbana na HPM

Tabela 74 – Matriz O/D da zona urbana na HPM

Zonas	Nome	35596	9	10	11	14	34	37	43	121	122	123	131	1000000	1000001	1000002	1000003	1000004	1000005	1000006	1000007	1000008	1000009	1000010	1000011	1000012	1000013	1000014	1000015	1000016	1000017	1000018	1000019	1000020	1000021	1000022	1000023		
			Cruz Quebrada / Dafundo / CREL / A5	Algés - centro tradicional	Algés / Miraflores / Arquiparque	Carnaxide / Alto dos Barronhos / Smart Park	Dafundo e Santa Catarina	Alto de Algés	Quadrante SE	Linda-a-Velha: Zona Velha	Linda-a-Velha	Linda-a-Velha - Carolina Michaelis	Carnaxide Industrial																										
		Sums	1165	1287	1634	255	895	375	745	709																													
9	Cruz Quebrada / Dafundo / CREL / A5	1165	2	88	1	0	65	2	2	5	2	92	0	0	0	4	0	138	38	0	222	95	0	0	0	203	8	198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	Algés - centro tradicional	1287	2	191	26	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	93	153	0	263	3	0	333	0	172	5	27	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	Algés / Miraflores / Arquiparque	1634	2	116	2	1	17	1	2	0	2	2	1	0	0	51	1	391	511	0	348	0	4	0	5	4	0	133	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	Carnaxide / Alto dos Barronhos / Smart Park	255	2	6	2	2	2	0	0	1	4	2	2	0	0	13	5	3	27	0	0	0	2	0	70	0	0	2	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	Dafundo e Santa Catarina	895	55	2	53	0	2	2	2	5	2	2	0	0	0	3	1	34	73	0	276	6	0	0	0	161	38	159	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	Alto de Algés	375	2	38	15	0	2	2	1	5	2	0	0	0	0	0	0	47	58	0	63	0	0	44	0	56	36	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	Quadrante SE	745	2	2	1	0	2	2	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	694	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	Linda-a-Velha: Zona Velha	709	8	29	0	1	8	8	3	2	20	2	1	0	0	38	16	157	211	0	8	0	0	0	0	61	7	8	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Estimativas de emissões associadas a processos de afectação de tráfego rodoviário

122	Linda-a-Velha	1142	2	134	2	0	2	2	2	6	71	92	27	0	0	37	10	66	168	0	163	0	0	0	0	12	31	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
123	Linda-a-Velha - Carolina Michaelis	1255	38	94	2	1	2	0	3	23	27	101	11	0	0	69	1	199	225	0	1	0	15	6	0	0	18	57	21	20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
131	Carnaxide Industrial	241	2	1	2	2	2	0	0	1	4	2	2	0	0	23	5	4	64	0	0	0	8	0	12	0	0	2	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10000		3389	453	187	0	0	99	25	1	5	14	11	0	0	0	0	0	3	55	827	170	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10000		6872	0	19	22	21	0	0	0	30	79	179	13	1	0	12	2	21	669	519	1	0	0	18	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10000		161	0	0	0	0	2	0	0	1	5	0	0	0	0	0	9	0	66	0	0	0	1	0	7	0	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10000		866	2	0	2	8	2	0	0	56	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	5	0	42	6	0	0	0	97	0	10	9	2	3	0	0	0	0	0	0		
10000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		399	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		180	102	6	0	0	31	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		417	0	0	10	6	0	0	0	0	0	50	42	0	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0	11	9	0	0	0	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000		490	0	395	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		1235	0	0	33	23	0	0	0	0	0	0	0	0	17	40	6	0	572	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	0	31	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		618	7	78	0	0	32	25	0	64	14	0	86	0	0	0	0	0	66	0	14	0	0	0	0	12	0	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		428	0	69	11	1	67	4	0	5	17	162	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

