



Projeto

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Modelação do Impacto da Circulação Rodoviária da
N1 na Qualidade do Ar em Leiria***

Jorge Manuel da Silva Soares

Leiria, *Março* de 2015



Projeto

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Modelação do Impacto da Circulação Rodoviária da
N1 na Qualidade do Ar em Leiria***

Jorge Manuel da Silva Soares

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Luís Miguel Igreja Aires,
Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Março* de 2015

Dedicatória

***Aos meus pais,
como expressão da minha enorme gratidão***

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já têm forma do nosso corpo e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-lo, teremos ficado para sempre à margem de nós mesmos” (Fernando Pessoa)

A TODOS os que tiveram comigo nos melhores e nos piores momentos desta travessa e que não me deixaram ficar à margem.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

A realização deste trabalho no âmbito do Mestrado foi uma experiência rica de aprendizagem que se tornou possível graças à colaboração, disponibilidade e ao contributo de várias pessoas, a quem gostaria de expressar o meu reconhecimento e agradecimento, em particular:

Ao meu orientador professor Doutor Luís Aires, pela grande disponibilidade que sempre demonstrou durante todo o acompanhamento na realização deste trabalho e pela partilha de conhecimentos e análise crítica.

Ao professor Doutor Nelson Oliveira, coordenador do Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, pelas informações importantes sobre regras de redação do trabalho.

A todos os meus amigos, pelo companheirismo, que me acompanharam nesta caminhada.

Aos meus pais, irmãos e namorada, pela paciência, incentivo, sacrifícios, suportados para o meu crescimento a nível pessoal e desenvolvimento profissional.

A todos os meus colegas de Faculdade e aos demais que contribuíram de alguma forma para que fosse possível realizar o trabalho.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Atualmente o setor dos transportes é responsável por uma emissão significativa de poluentes para a atmosfera originando consequências graves ao nível da degradação da qualidade do ar e na saúde pública, com maior intensidade em meios urbanos onde o tráfego automóvel é maior. Nesse sentido é importante determinar as emissões que resultam dos transportes rodoviários para auxiliar nas medidas que visem a redução dos impactes resultantes dessas emissões.

Neste trabalho foi determinada a contribuição das emissões provenientes dos transportes rodoviários resultantes da estrada nacional N1 para a qualidade do ar em Leiria. Esta estimativa teve como base dados reais do tráfego automóvel registado num local de estudo situado na N1.

O tráfego rodoviário do local de estudo foi caracterizado em termos de volume, cilindrada, tipo de combustível, ano de fabrico e categoria (ligeiro, pesado, mercadorias, motociclo, etc...), culminando na modelação da emissão de poluentes e gases com efeito de estufa (GEE), com recurso a um *software* de emissões, o *copert*, da Agência Europeia do Ambiente.

Com base nos dados de emissão foram estimadas as concentrações dos poluentes em estudo, nomeadamente o NO₂, PM₁₀ e CO, em vários recetores localizados em Leiria, usando o *software* de dispersão *caline*. Para avaliar o impacto das emissões na qualidade do ar do local de estudo foram efetuados vários cenários possíveis, caracterizados por diferentes condições atmosféricas.

Com o objetivo de validar os resultados obtidos no modelo de dispersão *caline*, foram efetuadas medições dos poluentes no local para estudo, aferindo assim os resultados da modelação da dispersão. Foram ainda efetuadas medições meteorológicas que serviram como dados de *input* para os cálculos.

Os resultados permitiram verificar que as contribuições das emissões obtidas nos vários cenários simulados provenientes da estrada nacional N1 são pouco significativas para a qualidade do ar em Leiria.

Palavras-chave: emissões, qualidade do ar, modelação, *copert*, *caline*, tráfego rodoviário

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

Emissions from road transport are currently one of the major sources of atmospheric pollutants, having serious consequences in the degradation of air quality and public health, more intensely in urban areas where traffic is greater. In the sense it is important to determine the emissions from the road traffic, in order to help the mitigation measures that lead to the reduction of those emissions.

In this work was applied a methodology for the estimation of road transport emissions, measured on the national road N1, for the air quality in Leiria city. This estimation was based on real data of traffic.

Road traffic was characterized in terms of volume, displacement, fuel type, year of manufacture and category (light or heavy), culminating of modeling the emission of pollutants and greenhouse gases, using a *software* provided by the European Environment Agency (EEA), the *copert*.

Based on the emissions data, were estimated the pollutants concentrations, namely NO₂, PM₁₀ and CO, in several receivers installed on Leiria, using for that the dispersion *software* named *caline*.

In order to evaluate the impact caused by those emissions on air quality of the study site, it was made and tested several scenarios, characterized by different weather conditions.

In order to validate and safeguard the data, and reduce uncertainties, were made additional measurements on the site, to check results from the dispersion modelation. Weather conditions measurements were used as inputs for the dispersion calculation.

Final results have shown that the contribution of road transport emissions measured on different scenarios of the national road N1, are less significant for air quality in Leiria.

Keywords: Emissions, air quality, modelling, *copert*, *caline*, road traffic

Índice de Figuras

Figura 1 - Dependência Energética (APA, 2013)	25
Figura 2 - Consumo de energia final por setor no ano de 2011 (APA, 2013a).....	26
Figura 3 - Emissões de GEE nos transportes em Portugal e na UE-27.....	27
Figura 4 - Origem dos gases efeito de estufa em Portugal em 2012	28
Figura 5 - Consumo de biocombustíveis e de outros combustíveis nos transportes rodoviários	29
Figura 6 - Evolução do parque de veículos rodoviários motorizados	31
Figura 7 – Venda de veículos novos	32
Figura 8 - Distribuição da Rede Nacional.....	33
Figura 9 - Efeito Transfronteiriço - Chuva Ácida (Ecoguia, 2014)	35
Figura 10 - Evolução das emissões dos principais GEE	38
Figura 11 - Emissões dos principais GEE em 2011, por setor, APA (2013)	38
Figura 12 - Índice da Qualidade do Ar (IQAr) em 2012, APA (2013)	41
Figura 13 - Dispersão gaussiana do <i>Caline</i> , Benson (1989)	45
Figura 14 - Mapa de Leiria.....	47
Figura 15 – Troço da Nacional N1 em estudo	48
Figura 16 - Equipamento digital de registo de tráfego rodoviário	49
Figura 17 - Equipamentos de registo de PM ₁₀ e de CO	49
Figura 18 - Pontos de Registo de Concentração de Poluentes	50
Figura 19 - Estação meteorológica portátil	51
Figura 20 - Coordenadas recetores e percurso <i>caline</i>	59
Figura 21 - Interface Caline 4 v2.1	61
Figura 22 - Recetores no mapa.....	62
Figura 23 - Distribuição por categoria da frota contabilizada.....	63
Figura 24 - Partição da emissão total de CO por setor.....	66
Figura 25 - Partição da emissão total de NO ₂ por setor	66
Figura 26 - Partição da emissão total de PM ₁₀ por setor	67
Figura 27 - Partição da emissão total de SO ₂ por setor	68
Figura 28 - Partição das emissões totais CH ₄ por setor	69

Figura 29 - Emissões de NO ₂ , PM ₁₀ , COVNM, SO ₂ , CH ₄ e N ₂ O.....	70
Figura 30 - Contribuição relativa dos veículos a <i>diesel</i> e gasolina para as emissões totais.....	71
Figura 31 - Variação percentual das emissões de $\beta=0\%$ para $\beta=36\%$	72
Figura 32 - Variação das emissões em função de incrementos e redução da velocidade média (-10km/h, -5km/h, +5km/h e +10km/h)	73
Figura 33 - Rosa-dos-ventos (Trekking, 2013)	79
Figura 34 - Estação de monitorização da Ervideira QualAr (2014b).....	82
Figura 35 - Concentração NO ₂ Estação Ervideira, QualAr (2014c).	82
Figura 36 - Concentração PM ₁₀ Estação Ervideira, QualAr (2014c).	83
Figura 37 - Evolução do tráfego rodoviário ao longo do dia	87
Figura 38- Evolução diária da concentração de CO.....	88

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Média Temperatura, Velocidade do Vento, Direção do Vento e Radiação Solar ..	51
Tabela 2 - Coordenadas percurso de estudo <i>Google Earth</i>	58
Tabela 3 - Localização dos recetores	62
Tabela 4 - Frota horária de veículos, 26 de maio de 2014 - 14h30-15h30.....	64
Tabela 5 - Contribuição relativa dos veículos diesel e gasolina para as emissões totais (g/km)	69
Tabela 6 - Emissão por combustível e poluente com $\beta = 36\%$	72
Tabela 7 - Condições meteorológicas " <i>standard</i> "	75
Tabela 8 - Concentrações PM ₁₀ experimentais e estimadas.....	76
Tabela 9 - Concentrações CO, NO ₂ e PM ₁₀ nos recetores definidos.....	78
Tabela 10 - Limite legal de concentração de CO no ar ambiente segundo o Decreto-lei n.º 102/2010 de 23/09	79
Tabela 11 - Limite legal de concentração de NO ₂ segundo Decreto-lei n.º 102/2010 de 23/09	80
Tabela 12 - Limite legal de concentração de PM ₁₀ segundo Decreto-lei n.º 102/2010 de 23/09	80
Tabela 13 - Dados de entrada para representação do período crítico noturno	84
Tabela 14 - Concentrações de CO, NO ₂ e PM ₁₀ para o Cenário “noturno”	85
Tabela 15 - Dados de entrada para representação do período crítico diurno	85
Tabela 16 - Concentrações de CO, NO ₂ e PM ₁₀ para o Cenário “diurno”	86
Tabela 17 - Frota de veículos	97
Tabela 18 - Coordenadas e elevação dos recetores <i>Caline</i> otidas no <i>Google Earth</i>	103

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente
AS – Arsénio
Cd – Cádmió
CCDR – Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CH₄ – Metano
CO - Monóxido de carbono
COVNM – Compostos orgânicos voláteis não metano
DRA – Direções Regionais do Ambiente
FE – Fatores de emissão
FER – Fontes de energias renováveis
GEE – Gases Efeitos de Estufa
GPL – Gás liquefeito de Petróleo
HC's – Hidrocarbonetos
HG – Mercúrio
H₂SO₄ - Acido Sulfúrico
IQAr – Índice da qualidade do ar
N₂O – Óxido Nitroso
NO₂ – Dióxido de azoto
NO_x – Óxidos de nitrogénio
O₃ – Ozono
PB – Chumbo
PIB- Produto interno bruto
PM₁₀ – Partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10µm/m³
POP – Poluentes orgânicos persistentes
QualAr – Qualidade do ar
SMHG – Sistema Militar *Hayford – Gauss*
SO₂ – Dióxido de enxofre
TEP – Toneladas equivalentes de petróleo
UE – União Europeia

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	VII
ABSTRACT.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. PREÂMBULO	21
1.1. ÂMBITO DO TRABALHO, MOTIVAÇÃO CIENTÍFICA E OBJETIVOS DO ESTUDO.....	21
2. INTRODUÇÃO.....	25
2.1. SETOR DOS TRANSPORTES	30
2.2. POLUENTES EMITIDOS PELOS TRANSPORTES RODOVIÁRIOS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE E AMBIENTE	33
2.2.1. <i>Monóxido de carbono (CO)</i>	34
2.2.2. <i>Dióxido de Azoto (NO₂)</i>	34
2.2.3. <i>Partículas em suspensão (PM₁₀)</i>	35
2.2.4. <i>Gases Efeito de Estufa (GEE)</i>	36
2.3. ALOCAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES E GEE	37
2.4. ESTADO DA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL	39
2.5. MODELAÇÃO DAS EMISSÕES DOS TRANSPORTES RODOVIÁRIOS	41
2.6. MODELAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES.....	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	47
3.2. RECOLHA DE DADOS E EQUIPAMENTO USADO	48
3.3. METODOLOGIA DE CÁLCULO DE EMISSÕES E CONTRAÇÕES.....	52
3.3.1. <i>Estimativa de Emissões</i>	52
3.3.2. <i>Estimativa de Concentrações</i>	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1.1. <i>Caracterização da frota de veículos</i>	63
4.1.2. <i>Emissão de poluentes</i>	65
4.1.3. <i>Contribuição das emissões para a Qualidade do Ar na N1</i>	74
4.1.3.1 <i>Resultados da validação do modelo caline</i>	75
4.1.3.2 <i>Concentrações de CO, NO₂ e PM₁₀</i>	78
5. CONCLUSÕES	89
6. REFERÊNCIAS	93

7.	ANEXOS.....	97
7.1.	ANEXO I – CARACTERIZAÇÃO DA FROTA DE AUTOMÓVEIS.....	97
7.2.	ANEXO II– COORDENADAS RECETORES.....	103

1. Preâmbulo

1.1. Âmbito do Trabalho, Motivação Científica e objetivos do estudo

A mobilidade do Homem com recurso a combustíveis fósseis como energia primária tem vindo a diminuir as reservas disponíveis de energia não renovável existentes na Terra. A nível europeu, o setor dos transportes é responsável por níveis elevados e prejudiciais de emissões de poluentes atmosféricos, contribuindo para um quarto das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), representando um terço do consumo final de energia nos países da Europa (AEA, 2013a; AEA, 2013b).

Desde os anos 90, a poluição atmosférica tem vindo a diminuir em toda a Europa, contudo continua a ser alvo de bastante preocupação. Para combater este panorama, muito tem vindo a ser feito em todos os setores de atividade que emitam poluentes. No caso do setor dos transportes, tem sido criada legislação específica conhecida por “Normas Euro” com o objetivo de haver uma mobilidade sustentável, foram criadas zonas de emissões reduzidas, otimização de percursos rodoviários, disponibilização de transportes públicos, entre outras medidas. Apesar de esta medida ter contribuído substancialmente para as melhorias na qualidade global do ar, não reduziu as emissões de para os níveis fixados (AEA, 2013a; E, 2013).

As “Norma Euro” garantem que em cada 4-5anos os veículos novos sejam construídos de forma a emitirem menos poluentes nocivos com recurso a tecnologias cada vez mais recentes.

A mobilidade sustentável é importante para que os recursos ao alcance do Homem se mantenham e não comprometam as gerações futuras. Por outras palavras pode ser entendida como *“a capacidade de conseguir dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, negociar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos hoje ou no futuro”*(WBCSD, 2014).

Os grandes centros urbanos, são geralmente dotados por uma boa rede de transportes públicos, incentivando assim a utilização deste tipo de transporte em detrimento do transporte individual, contribuindo assim para uma mobilidade sustentável. A crescente preocupação para assegurar a sustentabilidade no setor dos transportes é fulcral para se conseguir reduzir o consumo neste setor e assim evitando a emissão de GEE e poluentes para a atmosfera.

Uma otimização dos percursos com maior tráfego, melhoramento do pavimento, limites de velocidade mais baixos, proibição de veículos antigos de circular em vias poluídas (zona de emissões reduzidas), são alguns exemplos que contribuem para a mobilidade sustentável, redução de emissões de poluentes resultando no melhoramento da qualidade do ar e da qualidade de vida da população.

As zonas de emissões reduzidas, também intituladas por *Low Emission Zones (LEZs)*, em inglês, têm sido cada vez mais postas em prática para a contribuição da redução das emissões. Esta medida tem como objetivo a redução de trânsito no interior das cidades evitando que veículos ligeiros e pesados certificados segundo as primeiras normas euro (EURO I, EURO II, EURO III) sejam barrados à circulação em vias previamente definidas. Esta legislação tem sido posta em prática em várias cidades da Europa, incluindo Lisboa (UARE, 2014). Segundo TERM (2012) as LEZs controlam sobretudo as partículas mais finas, dióxido de azoto e indiretamente o ozono.

Apesar disto, é nas grandes cidades onde a qualidade do ar se encontra mais degradada devido ao tráfego excessivo, ultrapassando muitas das vezes os valores legislados para os poluentes atmosféricos (como as PM₁₀, o NO₂ e o O₃).

No ano de 2010, na Europa, observaram-se níveis de poluição excessivos; 44% das estações rodoviárias de controlo registaram níveis de NO₂ e PM₁₀ acima dos limites legais (AEA, 2013a).

Portugal registou níveis abaixo dos limites legais, registando para as PM₁₀ uma média anual de 19 µg/m³ em 2012. No que se refere às emissões de substâncias acidificantes (NO_x, SO₂ e NH₃), o NO_x é aquele que tem mais peso nestas emissões contribuindo com 47,5% das emissões, o NH₃ com 34,2% e por fim o SO₂. No entanto, houve um decréscimo das emissões destes poluentes entre 1990 e 2011, registando uma redução de 41,6% das emissões destes poluentes neste período, onde o SO₂ foi o principal responsável por essa redução, verificando-se uma redução deste poluente de 71% (APA, 2013a).

As emissões de substâncias perigosas, como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados, dióxido de azoto (NO₂) e partículas em suspensão (PM₁₀) vão diminuindo à medida que são impostas regras rigorosas com objetivo de reduzir as emissões proveniente de gases expelidos devido ao tráfego automóvel (APA, 2013b).

O impacto rodoviário na saúde do homem é uma realidade. São conhecidas várias implicações na saúde ligadas diretamente à emissão de poluentes para atmosfera, que muitas das vezes podem causar doenças com maior incidência em grupos de riscos como crianças, idosos ou doentes, diminuindo assim a qualidade de vida e a esperança média de vida.

Segundo um estudo conduzido na Áustria, Suíça e França a poluição é responsável por 6% das mortes ocorridas nestes países sendo que metade destas mortes estão diretamente relacionadas à poluição atmosférica. Conclui também que nesses três países a poluição contribui diretamente para cerca de 25000 casos de bronquite crónica em crianças e 29000 novos casos de bronquite crónica por ano em adultos, e para meio milhão de ataques de asma por ano (Kunzli *et al*, 2000).

Na Holanda, onde foi realizado outro grande estudo, ficou provado que as pessoas que vivem nas zonas limítrofes das estradas com elevado tráfego rodoviário automóveis têm uma esperança média de vida mais baixa, onde os problemas cardiopulmonares derivados da exposição à poluição rodoviária são a maior causa da mortalidade prematura (Hoek, 2002).

Com base no que foi referido nos parágrafos anteriores e tendo em conta o consumo mundial de energia nos diversos setores, é crucial que seja avaliado o impacte das emissões provenientes de veículos rodoviários na qualidade de vida do Ser Humano.

Sendo assim, no âmbito da Dissertação do Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente será desenvolvido um trabalho que consiste na modelação da emissão de poluentes do tráfego monitorizado da estrada Nacional N°1, que atravessa a cidade de Leiria, e o seu impacto na qualidade do ar local. Para tal, serão realizadas campanhas de contagem de tráfego, elaboradas estimativas de emissões de poluentes e GEE com base na Metodologia da Agência Europeia do Ambiente e modeladas as concentrações de CO, NO₂ e PM₁₀ em vários locais da cidade de Leiria.

Importante referir também que parte do troço da estrada Nacional N°1 que atravessa a cidade foi recentemente requalificado. Esta nacional é cada vez mais usada devido ao preço praticado nas portagens, contribuindo aparentemente a um aumento de tráfego, nomeadamente de veículos pesados.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Introdução

O setor dos transportes é um dos mais importantes para a economia, sociedade e mobilidade. São elementos cruciais para o mercado e para o quotidiano do homem, garantindo a possibilidade de se deslocar livremente. A mobilidade, cada vez mais, está ao acesso de todos nós, permitindo o crescimento económico e criação de postos de trabalho, contudo também traz as suas implicações, por isso importa promover a sua sustentabilidade, à luz dos novos desafios que nos deparamos hoje em dia.

A energia existe em todo o universo e em vários tipos de formas, sendo que representa um fator importante no processo produtivo na sociedade, nomeadamente nos serviços, indústria e transportes. O tipo de energia maioritariamente utilizada no setor dos transportes é de origem fóssil devido à grande parte da frota consumir energia de origem fóssil, apesar de ser mais poluente que as energias alternativas, como por exemplo, solar ou eólica e ainda comprometer a sustentabilidade ambiental. Este tipo de energia é proveniente de fontes de abastecimento incertas, que irão, tendo em conta o padrão de consumo atual escassear nas próximas décadas.

Portugal apresenta níveis muito elevados de dependência energética (figura 1), atingindo em 2012, 79,8% de dependência energética externa, valor ligeiramente superior ao verificado em 2011 (79,3%) (APA, 2013).

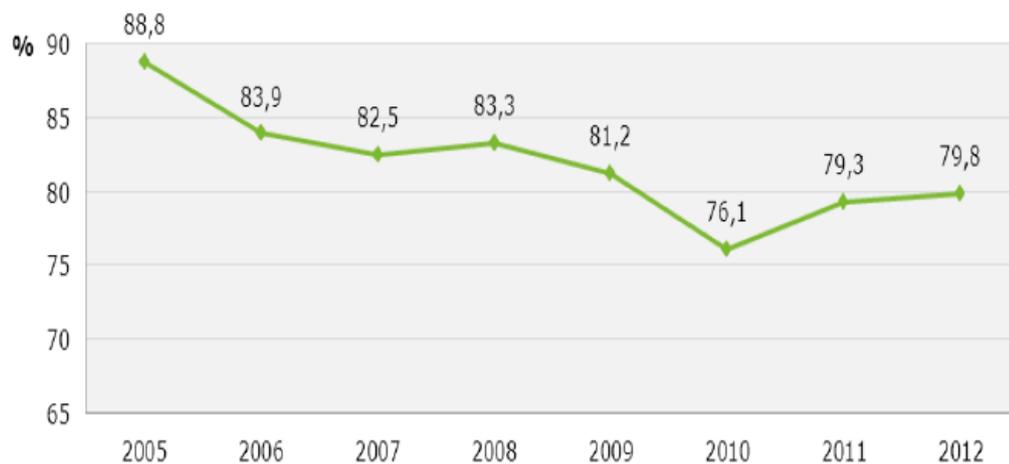


Figura 1 - Dependência Energética (APA, 2013)

Pela figura 1, podemos ver que a dependência energética tem vindo a diminuir desde 2005, apesar de ter uma ligeira subida desde 2010, devido à evolução envergonhada da economia.

No consumo dos vários tipos de combustíveis no transporte rodoviário manteve-se uma tendência geral de decréscimo, com uma variação em 2012 de menos 9,2 pontos percentuais relativamente ao ano anterior no que respeita às TEP (toneladas equivalentes de petróleo), atingindo um valor em 2012 de 5,2 milhões TEP. Nos combustíveis fósseis verificou-se um decréscimo mais acentuado nos lubrificantes de 16,6%, seguindo o gasóleo com 9,3% e as gasolinas com 9,1%. Apesar destes decréscimos o consumo de GPL e do biodiesel registaram aumentos de consumos, de 6,1% e 6,6%, respetivamente (APA, 2013).

A consciencialização do padrão de consumo elevado e a poluição do ar resultante está cada vez mais atual. Este problema, poluição do ar, tem representado uma das mais graves ameaças à qualidade de vida das populações, especialmente nas zonas mais povoadas, nomeadamente em cidades ou vilas. A necessidade do Homem de se deslocar é evidente. Com esta necessidade tem-se presenciado uma evolução nos automóveis com recurso a tecnologia cada vez mais sofisticadas e atualizadas, contudo continuam a emitir poluentes para a atmosfera em quantidades preocupantes (Gomes, 2001).

Este panorama verifica-se por todo o mundo. Em Portugal estima-se que os transportes são responsáveis pela emissão de 30% dos poluentes responsáveis pelo efeito de estufa. Os transportes é o segundo setor mais responsável pela maior emissão de GEE. O setor que mais emite gases com efeito de estufa é o da produção e transformação de energia (Gomes, 2001).

A nível nacional o consumo de energia é liderado pelo setor de transportes, responsável por 35,8%. Como se pode constatar pela figura 2 o setor da indústria é também um dos grandes responsáveis de consumo de energia.

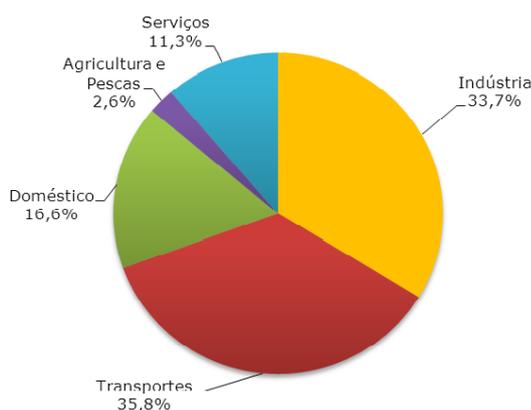


Figura 2 - Consumo de energia final por setor no ano de 2011 (APA, 2013a)

Apesar de o nosso país ter um grande consumo de energia, este não possui recursos energéticos fósseis endógenos, como por exemplo, o petróleo, o carvão, e o gás natural

suficientes para satisfazer o nosso padrão de consumo, criando assim uma elevada dependência externa, como anteriormente referido.

Os reflexos da utilização intensiva do automóvel são bem visíveis nos locais mais citadinos. Por exemplo, os engarrafamentos, poluição e ruído são resultados imediatos associados ao tráfego automóvel. Outros problemas surgem ao longo dos anos. Um bom exemplo é a degradação da saúde pública e do ambiente.

Os veículos motorizados emitem um conjunto de poluentes, onde se destacam os seguintes: monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO_x), hidrocarbonetos (HC's), dióxido de enxofre (SO₂) e partículas em suspensão inaláveis inferiores a 10 µm, denominadas por PM₁₀. Quanto aos GEE, destacam-se os seguintes: dióxido de carbono (CO₂), óxido Nitroso (N₂O) e metano (CH₄) (PAE, 2014).

Os principais problemas ambientais criados pela poluição do ar são o aquecimento global, a acidificação e a eutrofização dos ecossistemas.

Na figura 3 pode-se visualizar o crescente aumento das emissões de GEE provenientes dos transportes em Portugal e na União Europeia (UE), dos 27 países aderentes em estudo.

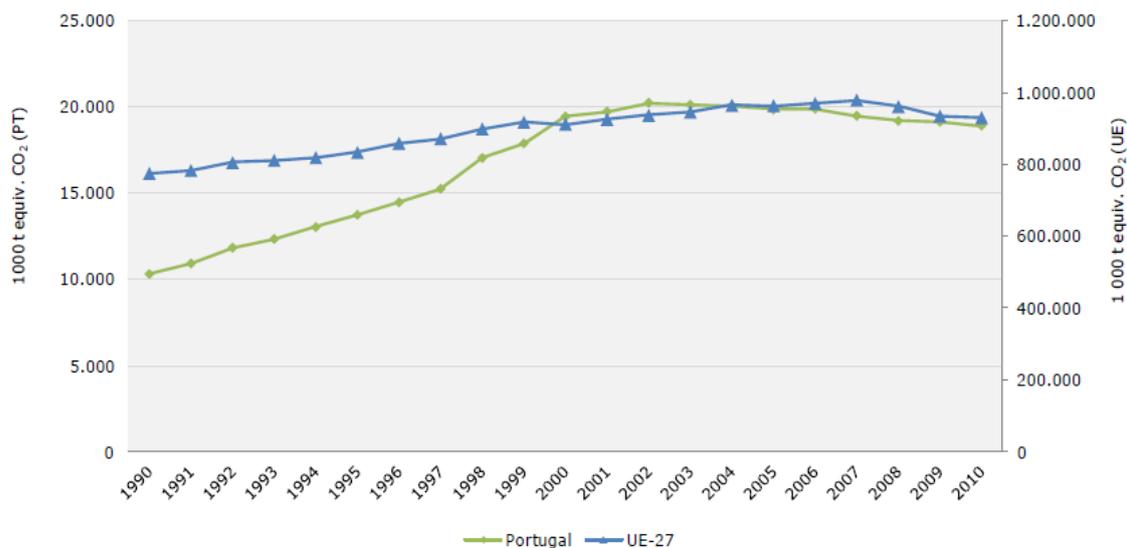


Figura 3 - Emissões de GEE nos transportes em Portugal e na UE-27

Como se pode constatar, as emissões de GEE provenientes do setor dos transportes nas últimas duas décadas verificaram uma subida acentuada, decrescendo lentamente a partir de 2006.

A figura 4 mostra a distribuição das emissões dos GEE dividido por setores em 2012 em Portugal. É possível dizer que o setor da energia é o principal responsável pela emissão destes gases onde os transportes são responsáveis pela emissão de 24,7% (PAE, 2014).

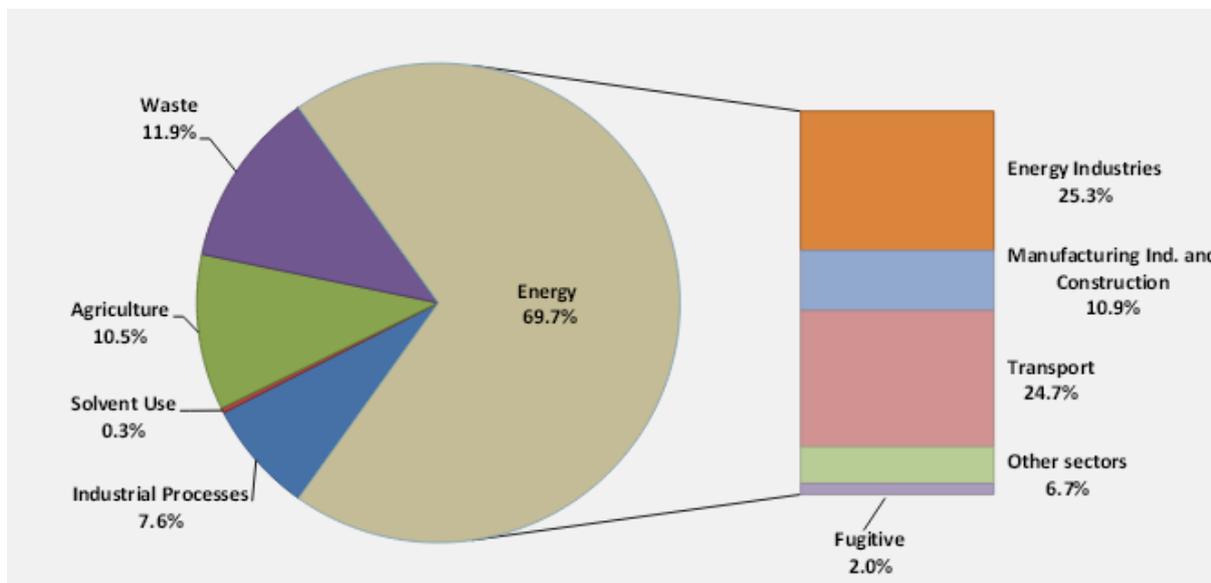


Figura 4 - Origem dos gases efeito de estufa em Portugal em 2012

Devido à crescente preocupação com este panorama assistimos à progressiva introdução de medidas legislativas no sentido de diminuir os problemas ambientais, substituindo os veículos mais antigos com o objetivo de obter um parque automóvel mais jovem e cada vez menos poluente, recorrendo a tecnologias cada vez mais recentes e eficientes.

Neste âmbito legislativo a UE definiu, através da Diretiva 2009/28/CE, de 23 de abril, referente à divulgação da utilização de energia proveniente de fontes renováveis (Diretiva FER), o objetivo que até 2020 fosse alcançada uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia. No setor dos transportes foi delineada uma de 10%. Esta mesma diretiva incute também que deverão ser estabelecidos objetivos nacionais obrigatórios coerentes com as quotas determinadas (APA, 2013).

O consumo de energias renováveis é um fator imprescindível para a redução das emissões e alcançar os objetivos legislativos. A figura 5 mostra que Portugal apesar do grande consumo de energia nos transportes, conseguiu superar o incremento de consumo de biocombustíveis face à UE-27, com um peso de 5,3%, em 2011, face à média europeia de 4,7% (APA, 2013).

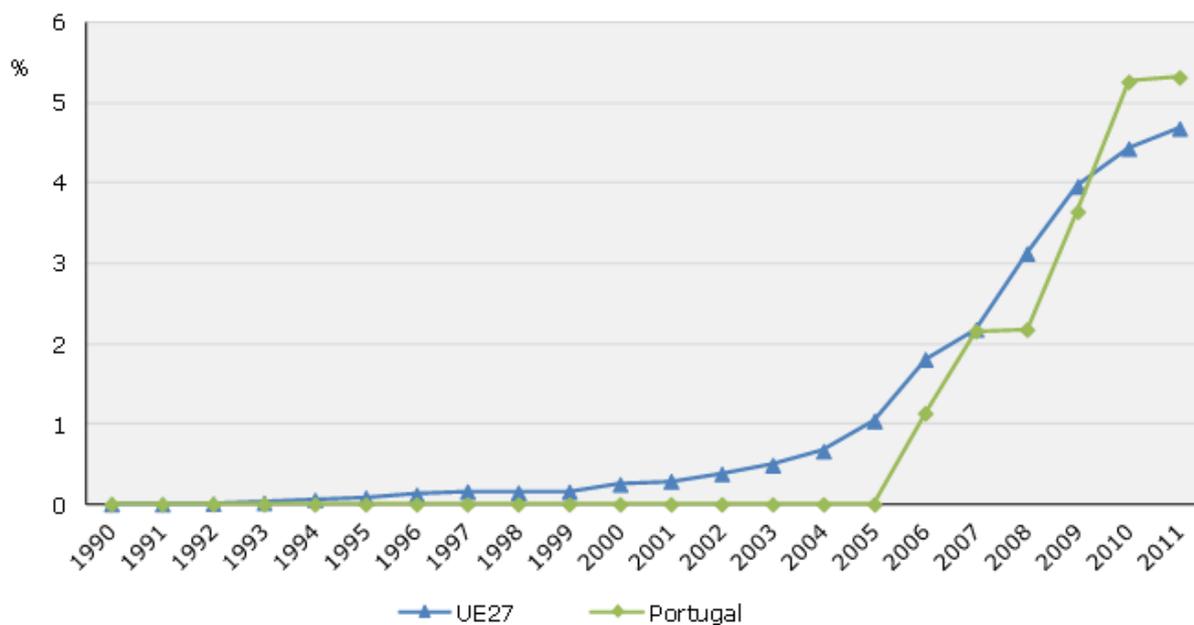


Figura 5 - Consumo de biocombustíveis e de outros combustíveis nos transportes rodoviários

Contudo é preciso referir que Portugal até 2005 esteve sempre aquém da média europeia, não adotando a utilização de biocombustíveis nos veículos.

A utilização dos biocombustíveis (biodiesel e etanol) como energia alternativa aos combustíveis tradicionais, no parque automóvel atual é uma ferramenta crucial e necessária para a redução das emissões, nomeadamente de GEE nos transportes.

Ao longo dos últimos anos, e dada a importância da poluição do ar, têm sido desenvolvidas técnicas e metodologias que permitem obter dados quantitativos relativos à qualidade do ar. Estas técnicas englobam um conjunto de modelos de dispersão de poluentes atmosféricos, dando informação para tomar decisões de forma a minimizar a poluição do ar.

A modelação da qualidade do ar constitui uma ferramenta importante que permite obter e prever uma distribuição espacial das concentrações de poluentes, contemplando as características das fontes emissoras, as condições meteorológicas e as condições morfológicas da área. Com a utilização destas ferramentas é possível estabelecer a relação causa-efeito da poluição do ar e consequentemente, planear ações para prevenir ou reduzir os efeitos da degradação da qualidade do ar.

2.1. Setor dos transportes

O setor dos transportes é preponderante para o desenvolvimento económico do país, bem como para a facilidade da mobilidade de pessoas, bens e serviços. A mobilidade é um elemento vital para a qualidade de vida da população, assentando numa base de sustentabilidade. Este setor é crucial para a Economia Europeia, representando 7% do Produto Interno Bruto (PIB) e 5% do emprego na União Europeia (UE). As empresas de transportes em Portugal são um elemento essencial para a criação de emprego, representado na economia nacional, cerca de 3,1% da totalidade de pessoas ao serviço. Este setor não está apenas restrito ao mesmo, pois a atividade de transportes é a base de maior parte das atividades da sociedade, sendo responsável para o desenvolvimento de grande parte dos setores (IMTT, 2012; CCE, 2009).

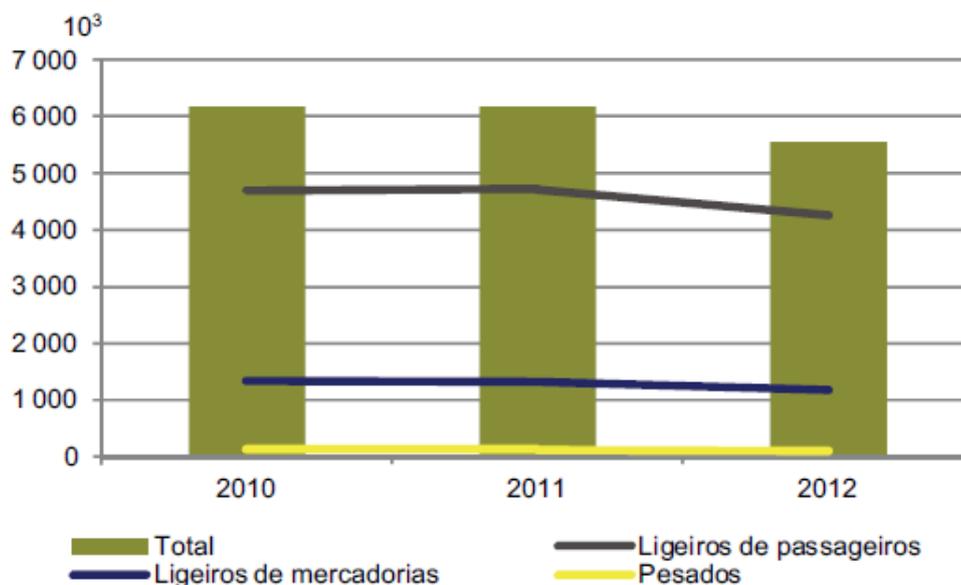
Devido à importância do setor dos transportes rodoviários em Portugal, é importante conhecer a sua evolução temporal, desde o seu consumo energético às suas emissões de poluentes atmosféricos.

O consumo de energia é um fator que mostra a produtividade da sociedade, nomeadamente dos setores de serviços, transportes e indústria. Apesar de esta ser a base do crescimento económico e da qualidade de vida do Homem, representa, por outro lado, a poluição proveniente da mesma, causando efeitos significativos no ambiente. A evolução tecnológica tem vindo a variar o tipo de energia utilizada, como por exemplo a energia nuclear, solar ou eólica, permitindo assim a redução do impacto da utilização do tipo de energia, ou seja, a redução de emissões para a atmosfera.

Nos últimos anos tem-se assistido a uma evolução nos transportes, a nível de infraestruturas, tecnologias usadas nos veículos motorizados, com isto melhorando a qualidade de vida da população. Em Portugal este setor é o que mais contribui para as emissões de gases atmosféricos, nomeadamente com gases com efeito de estufa (GEE), estimando-se que em 2010 tenha representado cerca de 27% do total das emissões emitidas no país (APA, 2013).

Atualmente os transportes são uma componente essencial para a nossa vida quotidiana, ou até dependentes dos mesmos. Portugal em 31 de dezembro de 2012 totalizou 5 556 041 veículos automóveis presumivelmente em circulação (Figura 6) sendo que 78% correspondem aos veículos ligeiros de passageiros (IMTT, 2013).

Figura 6 - Evolução do parque de veículos rodoviários motorizados

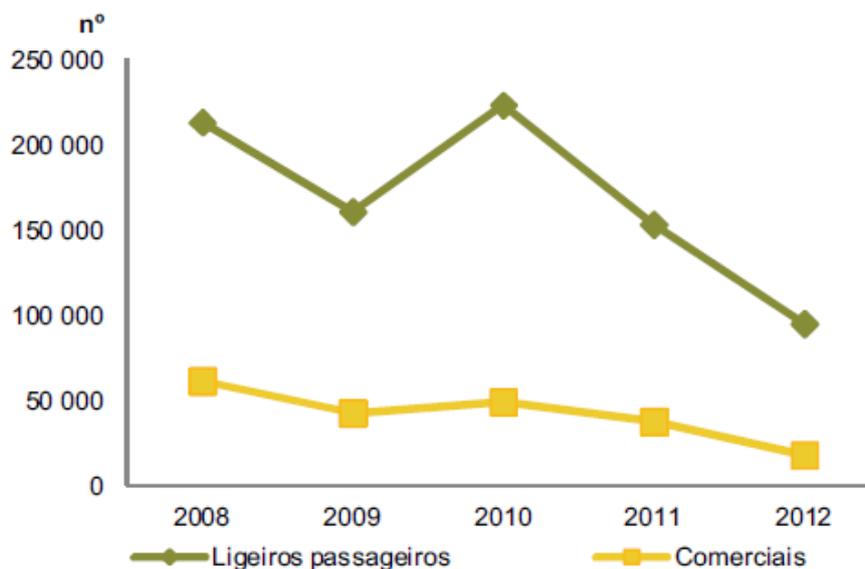


Em relação ao ano de 2011, houve uma pequena queda, devendo-se à contenção orçamental que o país atravessava na altura, havendo assim menos crescimento económico e consequentemente menos poder de compra por parte do consumidor ou empresas. Com base no gráfico, e à semelhança com os outros veículos, realçamos o decréscimo dos pesados de passageiros, cerca de -18,6%, os camiões -17,1% e tratores de mercadorias que sofreram uma queda de 15,7%. Em Portugal no ano de 2011 a taxa de motorização era de 406,1 veículos ligeiros de passageiros por 1000 habitante, (IMTT, 2012).

No que se refere à idade média do parque automóvel ligeiros de passageiros é de 10,6anos, em que 57% tinham pelo menos 10anos ou mais. Nos pesados de passageiros são ligeiramente mais antigos fixando uma idade média de 11,3 anos. No caso de viaturas com menos de 5anos representam apenas 16,4% do parque automóvel (IMTT, 2012).

Relativamente à comercialização de veículos novos, em 2012 (Ver figura 7), voltou a haver uma quebra, comparativamente a períodos anteriores. As vendas de veículos ligeiros desceram 37,9% e para os veículos comerciais 52,1%, como mostra a figura 7 (IMTT, 2012).

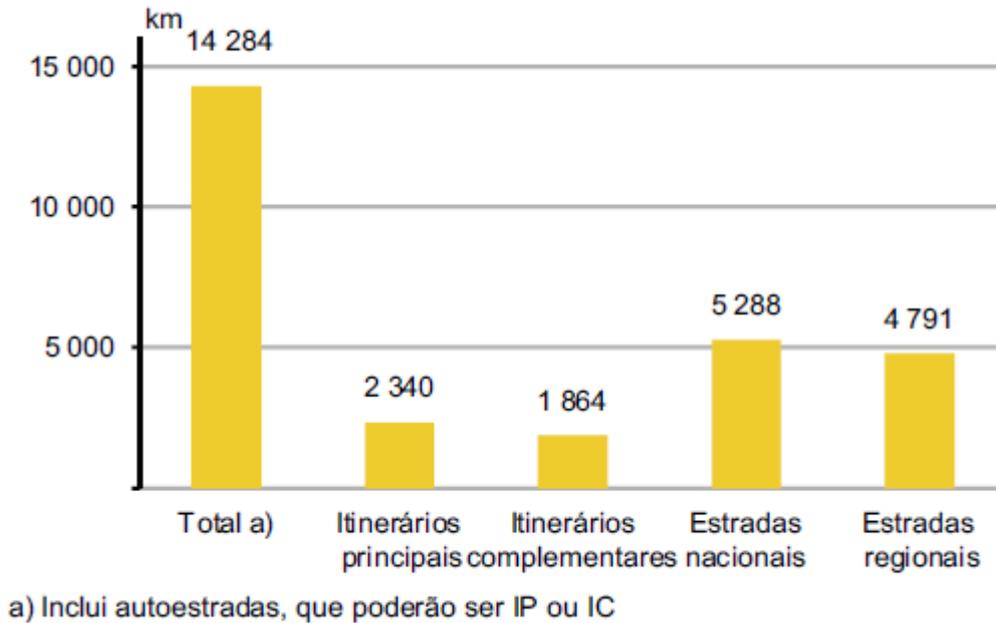
Figura 7 – Venda de veículos novos



Verificou-se também que esta descida é mais acentuada nos veículos de passageiros, comparativamente aos veículos comerciais. Esta queda de vendas deve-se principalmente ao facto da crise nacional e mundial, que faz com que os mercados se retraiam, havendo menos poder de compra por parte dos particulares e empresas.

Relativamente às infraestruturas de transportes, a extensão de estradas da rede de nacional, em 2012 alcançou os 14 284 km de estradas. A distribuição da extensão dos km referidos na figura 8 (IMTT, 2012).

Figura 8 - Distribuição da Rede Nacional



Dos 14 284 km existentes em Portugal, os que são itinerários principais são os que estão em maioria, existindo em 2 340km. Segue-se os itinerários complementares com 1 864, seguindo-se as estradas nacionais e regionais com 5 288 e 4 791, respetivamente.

2.2. Poluentes emitidos pelos transportes rodoviários e seus efeitos na saúde e ambiente

O setor dos transportes é responsável por uma parte significativa das emissões de poluentes e GEE, contribuindo para possíveis danos nos seres humanos, em animais, em vegetais ou ainda em materiais. Portanto torna-se imprescindível o estudo do impacto da poluição proveniente do tráfego automóvel.

Os poluentes emitidos pelos transportes rodoviários são classificados como poluentes primários. A concentração destes poluentes depende de vários fatores como por exemplo do clima, da topografia, da densidade populacional e do tipo de industriais locais

Dos poluentes emitidos pelos transportes rodoviários destacam-se os seguintes: o monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão (PM), óxidos de azoto (NO_x: NO e NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), compostos orgânicos voláteis (COV's), poluentes orgânicos persistentes (POP): dioxinas e furanos (organoclorados) e por fim os metais pesados (Chumbo (Pb), Mercúrio (HG), Cádmio (Cd) e Arsénio (As)). Parece importante também referir os poluentes secundários como por exemplo o Ozono (O₃), o Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) e o ácido

nítrico (HNO_3), que embora não sejam emitidos, resultam de poluentes primários e são atualmente muito preocupantes (Braga, 2005).

Destaca-se também que o setor dos transportes é responsável pela emissão significativa de GEE, nomeadamente o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nítrico (N_2O). No ano de 2011 em Portugal este setor foi responsável pela emissão de 25,6% dos GEE para a atmosfera (APA, 2013).

No âmbito do objetivo deste estudo, apenas se vai fazer referência aos seguintes poluentes, cuja concentração será modelada: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (NO_2) e as partículas em suspensão (PM_{10}).

Devido à sua importância serão também descritos os GEE, e os seus efeitos na saúde humana e ambiente.

2.2.1. Monóxido de carbono (CO)

O poluente monóxido de carbono (CO) trata-se de um gás incolor e inodoro, sendo proveniente maioritariamente do tráfego automóvel (principalmente veículos sem catalisador) mas também da laboração industrial. Este gás é produzido quando a reação de combustão do veículo não é completa, em especial nos veículos com menos tecnologia ou com défice de manutenção adequada. Além da manutenção adequada, a temperatura também afeta a emissão do poluente. Ou seja, a emissão a frio de um veículo será superior à emissão a quente, até que obtenha a temperatura ótima de funcionamento. Este gás poderá inibir no Homem as trocas de oxigénio no sangue com os tecidos vitais que poderá ser letal em caso de exposição excessiva. Na saúde os principais problemas são sentidos no sistema cardiovascular e nervoso. Em exposição a concentrações elevadas poderá provocar tonturas, dores de cabeça e fadiga. Em exposições extremas o CO poderá causar a morte (Lameiras *et al*, 2013; APA, 2014).

2.2.2. Dióxido de Azoto (NO_2)

O dióxido de azoto (NO_2) enquadra-se nos Óxidos de Azoto (NO_x) dispersos no ar ambiente, em conjunto com o óxido de azoto (NO). O NO_2 tem a característica de ser um gás de cor acastanhada e possuir um odor característico, incolor e sem sabor e à semelhança do CO , também é um poluente que tem origem, entre outras, no tráfego rodoviário. Ao contrário do CO os óxidos de Azoto, formam-se quando os combustíveis são queimados a temperaturas elevadas. Em média, cerca de 90% das emissões de NO_x provenientes da queima dos

combustíveis são relativas ao NO. Contudo, quando emitido na presença de O₂ atmosférico, este rapidamente convertido em NO₂. O dióxido de azoto, é conhecido pelos seus efeitos transfronteiriços, isto é, pode ser transportados pelo meio ambiente, criando problemas nas áreas onde não é emitido inicialmente. No ser-humano o NO₂ em concentrações elevadas pode resultar em problemas a nível do foro respiratório, em especial em crianças (asma ou tosse convulsa). Causa a inflamação das vias respiratórias, diminuindo o bom funcionamento da função pulmonar, provocando em indivíduos sensíveis reações alérgicas. No ambiente, possui um efeito acidificante e contribui para a formação da camada de ozono (Lameiras *et al*, 2013; APA, 2014).

Por ser um poluente com cariz acidificante é um dos responsáveis pelo fenómeno de chuvas ácidas (ilustrado na figura 9). Os NO_x em conjunto com o SO_x (dióxido de enxofre) através das chuvas ácidas são responsáveis pela acidificação dos meios naturais, vegetação e águas de lagos, rios ou oceanos, bem como pela deterioração de materiais expostos ao ambiente (APA, 2014).



Figura 9 - Efeito Transfronteiriço - Chuva Ácida (Ecoguia, 2014)

2.2.3. Partículas em suspensão (PM₁₀)

As partículas com diâmetro inferior 10µm (PM₁₀) possuem características consoante a sua origem. As PM₁₀ de origem mineral apresentam-se na forma sólida e as de origem orgânica resultam de condensação de gases. A matéria particulada por ter várias fontes emissoras não é considerada apenas um único poluente mas sim uma mistura de vários poluentes que constituem a matéria particulada. Estas partículas têm um leque de fontes

emissoras, são elas: tráfego automóvel, indústria, construção civil, atividades agrícolas, vulcões, fogos florestais e ainda a ação do vento sobre o solo. De referir que as PM_{10} resultantes do tráfego automóvel não provêm apenas dos processo de combustão do combustível mas também da erosão dos pavimentos bem como do desgaste dos travões e pneus e resuspensão de partículas pela turbulência mecânica criada pela circulação. Este poluente possui efeitos diretos na saúde humana danificando o sistema respiratório. As poeiras maiores ficam retidas no início do sistema respiratório, nariz e garganta, causando irritação e facilitando a propagação de infeções gripais, facilitando o aparecimento de alergias. No que refere às partículas mais finas de tamanho inferior a $2,5\mu m$, as $PM_{2,5}$, são muito mais prejudiciais, penetrando no sistema respiratório agravando as doenças respiratórias ou do coração e em casos extremos podem causar danos permanentes na saúde. A flora também é prejudicada pela matéria particulada, pois diminui a troca gasosa através do depósito de partículas nas folhas (Lameiras *et al*, 2013; APA, 2014).

Alguns estudos comprovam que a matéria particulada (essencialmente as partículas inferiores a $2,5\ \mu m$) é responsável pelo aumento de doenças respiratórias como o exemplo a bronquite asmática, aumento do risco de cancro do pulmão e de morte prematura. Estes dois poluentes continuam a suscitar preocupação e estimou-se que no ano de 2000, a exposição às partículas reduzia em cerca de nove meses a esperança média de vida na Europa que corresponderia aproximadamente a 3,6 milhões de anos de vida perdidos ou a 348000 mortes prematuras por ano (CEC, 2005; APA, 2005).

2.2.4. Gases Efeito de Estufa (GEE)

Os principais gases com efeito de estufa que são emitidos pelos transportes rodoviários para a atmosfera são: o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso. Os GEE poderão ter consequências diretas no ambiente para o qual são emitidos e indiretas na saúde humana. Diretamente o aumento da emissão destes gases causa o aquecimento global que diminui a cobertura de gelo aumentando o nível de água do mar, culminando na alteração dos habitats e dos padrões climáticos. Indiretamente, na saúde humana, com o aumento da temperatura pode aumentar a probabilidade de ocorrência de algumas doenças, com especial atenção em grupos de risco.

Influência do grau de exposição à poluição

Parece importante referir, que os efeitos dos poluentes na saúde podem ser classificados quanto à sua exposição aos contaminantes. Esta exposição poderá causar a curto prazo efeitos agudos que normalmente se mostram imediatos e reversíveis quando se deixa de ter contacto com o contaminante. Esses efeitos poderão ser, por exemplo, dores de cabeça, irritações nos olhos, entre outros. Quando a exposição é de longo prazo poderá causar efeitos crónicos que se tardam a manifestar-se e poderão ser irreversíveis. Duas consequências desta exposição são a diminuição da capacidade pulmonar e o cancro do pulmão.

Contudo, é importante saber que a severidade dos efeitos dos contaminantes na saúde depende de vários fatores, entre eles, a concentração e o tempo de exposição, a sensibilidade dos indivíduos, o volume de ar inalado por minuto e a unidade corporal. Naturalmente, os grupos de risco (crianças, idosos, doentes pulmonares e grávidas) são mais suscetíveis à poluição atmosférica.

2.3. Alocação das Emissões de Poluentes e GEE

A energia é conhecida por ser pilar do crescimento económico e bem-estar da sociedade, no entanto a não utilização sustentável poderá causar efeitos nocivos para o ambiente e para homem.

Na Europa o setor dos transportes representa cerca de um terço do consumo final de energia, sendo responsável por um quinto das emissões com gases efeitos de estufa. Os transportes são responsáveis por 24% das emissões dos GEE em toda a Europa (AEA, 2013b).

Portugal, em 2011, o total de emissões dos gases com efeitos de estufa (GEE) dos setores existentes, incluindo dos transportes, foi estimado num valor de cerca 70 milhões de toneladas de CO₂equivalente, sendo um aumento significativo desde 1990 em 14,8%, no entanto valor que se encontra abaixo da meta nacional do cumprimento de Quioto, que fixa os 27% de teto. A estas emissões não estão incluídas o setor florestal nem a alteração do uso do solo.

Relativamente aos poluentes mais emitidos, lidera o CO₂ representando 73,6% do total das emissões, seguido do CH₄ com 17,8% e por fim do N₂O com 6,4 pontos percentuais. A par do que acontece à escala global, o GEE mais emitido é o dióxido de carbono, (APA, 2013).

A figura 10 mostra a tendência do aumento dos vários gases efeitos de estufa em Portugal.

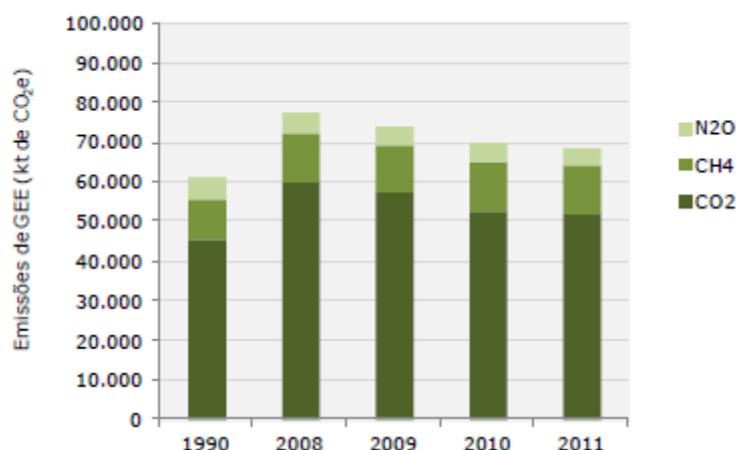
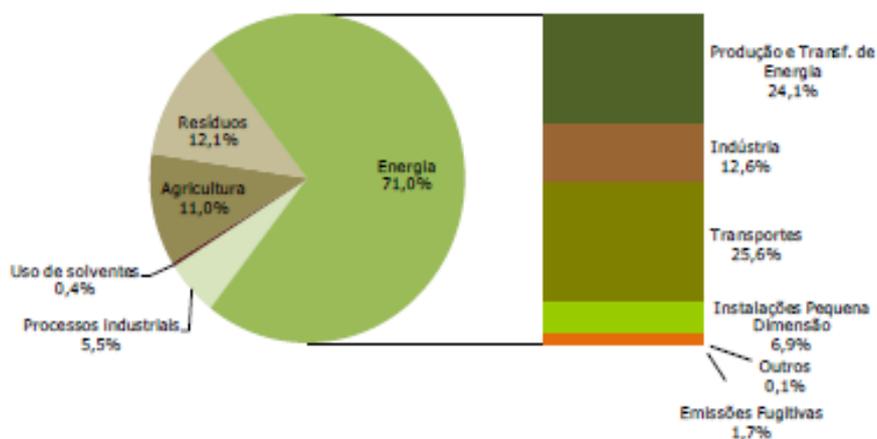


Figura 10 - Evolução das emissões dos principais GEE

Verifica-se que em regra, todos os GEE são coerentes a nível de evoluções, sendo que o CO₂ lidera nitidamente, sendo o mais emitido. Houve uma ligeira redução deste principal poluente desde 2008 até 2011.

Nas emissões dos principais GEE, o setor da energia contribui com 71% das emissões totais. Dentro deste setor os transportes e a produção e transformação de energia lideram a fatia do bolo. Na figura 11 está explícito as emissões por vários setores de atividade. Como já foi referido o setor dos transportes lidera a emissão de poluentes e por último vem, com menor emissões os processos industriais e o uso de solventes.

Figura 11 - Emissões dos principais GEE em 2011, por setor, APA (2013)



As emissões de CO, COVNM, CO₂, e NO_x provenientes do setor dos transportes são significantes. Este setor é o principal responsável pela emissão de NO_x na Europa, sendo

responsável pela emissão de 46% deste poluente em 2012. No entanto, este setor que costumava ser o maior emissor de CO, reduziu as suas emissões de CO significativamente, cerca de 61% no período entre 2003 e 2012, contribuindo o setor dos transportes com 30% das emissões deste poluente. Este setor é responsável por 15% das emissões de COVNM. Contudo, com a introdução de normas ambientais e veículos equipados com dispositivos de catalisador permitiram uma redução dos mesmos ao longo dos tempos. No entanto a introdução de catalisadores veio aumentar a emissão de CO₂, diminuindo ao longo do tempo a emissão de CO e COVNM (EEA, 2014; TREM, 2012).

A Europa tem como objetivo reduzir estes gases que provocam o efeito de estufa para 60% menos em 2050 comparativamente aos níveis registados em 1990. Este objetivo foi estabelecido na Comissão Europeia (TREM, 2012).

2.4. Estado da Qualidade do Ar em Portugal

A qualidade do ar é um fator preponderante para a qualidade de vida da população e preservação do nosso planeta.

O índice da qualidade do ar (IQAr) é uma boa ferramenta que nos dá indicação do nível da qualidade do ar garantido o cumprimento das metas traçadas ao nível comunitário e nacional no campo da qualidade do ar, prevenindo os efeitos nocivos dos diferentes poluentes atmosféricos no Homem e no Ambiente. Este índice é calculado em função da gama de concentrações de poluentes sendo classificado como “Muito Bom”, “Bom”, “Médio”, “Frac”, “Mau”, ou “Muito Mau” permitindo avaliar a qualidade do ar ambiente em todo o território nacional.

A Agência Portuguesa do Ambiente disponibiliza informações sobre a qualidade do ar por zonas e aglomerações classificando a qualidade do ar ambiente. Esta classificação é realizada com base dos registos diários nas estações de monitorização, ao cargo pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), em Portugal continental, pelas Direções Regionais do Ambiente (DRA), nas Regiões Autónomas. Os dados recolhidos são posteriormente comunicadas à base nacional sobre a qualidade do ar (QualAr), que depois tem a responsabilidade da APA que calcula diariamente o índice da Qualidade do Ar, com base dos valores médios dos poluentes recolhidos, nomeadamente dióxido de azoto (NO₂), ozono (O₃), partículas inaláveis (PM₁₀), dióxido de carbono (CO₂) e monóxido de carbono (CO). As PM₁₀, o O₃ e o NO₂ são os poluentes que ultrapassam mais vezes os limites legislados nas estações de monitorização da qualidade do ar. Parece importante referir que,

independentemente de quais-quer fatores de sinergia entre a concentração dos diversos poluentes, o grau de degradação da qualidade do ar está dependente da pior classificação possível verificada entre os diferentes poluentes considerados, pelo que o IQar será definido pela concentração que apresente a pior classificação possível. Ou seja, para os poluentes registados numa determinada área, por exemplo $\text{SO}_2 - 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (muito bom), $\text{NO}_2 - 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (médio), $\text{CO} - 5500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), $\text{PM}_{10} - 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (muito bom) e $\text{O}_3 - 365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mau), o índice de qualidade do ar nesta área é classificada como “mau” devido às concentrações verificadas de O_3 .

Em Portugal existem estações de monitorização da qualidade ar podem ser classificadas tendo em conta o tipo de ambiente em que estão situadas, ou seja, podem ser do tipo rural, suburbana ou rural. Podem ainda ser classificadas pela origem dos poluentes, isto é, pelo tipo de influência, que poderá ser de fundo, de tráfego ou de industrial. Geralmente as estações que estão localizadas nas proximidades das fontes emissoras são as que mais apresentam uma maior ocorrência de índices de qualidade do ar “fraco” e “mau”, que é o caso das estações de tráfego, industriais e por vezes urbanas de fundo. No caso em particular, na região de Leiria, não existem estações dessa natureza, apenas existe uma estação rural de fundo.

Na figura 12, respeitante aos IQAr em 2012, verifica-se que o Centro Litoral, onde está inserido a cidade de Leiria, apresenta maioritariamente dias com classificação de “bom”, não se tendo verificado nenhum dia “mau”. No centro litoral existem apenas duas estações rurais de fundo (Ervideira e Montemor-o-Velho), logo é expetável que as concentrações sejam baixas e conseqüentemente uma boa qualidade do ar.

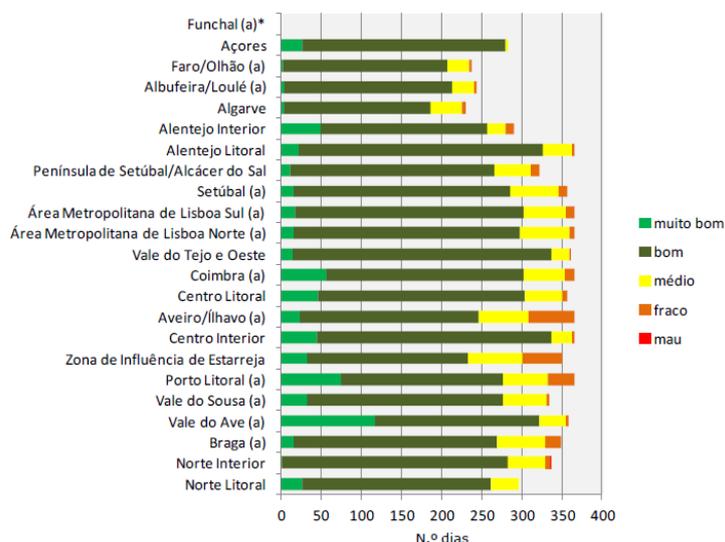


Figura 12 - Índice da Qualidade do Ar (IQAr) em 2012, APA (2013)

Para caracterizar a qualidade do ar em Leiria tendo em conta o impacto da circulação rodoviária da N1 serão considerados os valores experimentais e simulados de monóxido de carbono (CO), dióxido de azoto (NO₂) e partículas em suspensão (PM₁₀). A inexistência destes dados foi uma das motivações deste estudo.

2.5. Modelação das emissões dos transportes rodoviários

A preocupação do homem com o ambiente está relacionado com a degradação da qualidade do ar ambiente que implica com a qualidade de vida do homem bem como da fauna e flora, originando que os grandes poderosos a nível mundial se reunissem para encontrar as melhores políticas com o objetivo de melhorar as condições ambientais. As áreas urbanas por serem as mais habitadas e conseqüentemente mais movimentadas são as mais preocupantes, pois são aquelas que mais afetam as populações. Contudo, nem sempre é fácil realizar a monitorização de todos os locais onde existem emissões de poluentes, isto é, monitorizar todas as fontes de emissões, nomeadamente as móveis, como é o caso dos transportes. Para contornar este obstáculo a modelação é uma grande ferramenta com o intuito de complementar a dificuldade na monitorização neste caso em específico como é no setor de transportes. No setor dos transportes rodoviários a modelação de emissões é apresentada como uma forma de obter os indicadores ambientais, através da previsão da emissão dos vários tipos de poluentes emitidos pelos veículos motorizados. Torna-se assim crucial a modelação de emissões e de tráfego e a monitorização da qualidade do ar, sendo instrumentos fundamentais no encontro das melhores alternativas ambientalmente sustentáveis. No

contexto mundial, estes instrumentos desempenham um papel importante na construção de políticas ambientais que consigam atingir a meta imposta para cada região ou país.

É importante referir que as estimativas das emissões dos transportes poderão ser baseadas na equação geral $E = Fe * A$. Onde E representa quantidade de poluente emitida, Fe o fator de emissão por unidade de atividade e A a quantidade de atividade do transporte. Esta equação pode ser aplicada consoante a categoria de veículos, desde tipo de combustível, passageiros ou mercadorias, ano de construção, entre outros, pois os fatores de emissão e a atividade variam consoante a categoria.

O fator de emissão é expresso por norma em $g.km^{-1}$ e inicialmente é relacionado com o conjunto das condições de condução e o tipo de veículo.

A atividade, A , é o resultado entre o número de veículos de cada categoria e a distância média percorrida por veículo numa determinada unidade de tempo estabelecida, em quilómetros.

No cálculo das emissões rodoviárias são contempladas as emissões a quente, as emissões a frio e emissões evaporativas. Ou seja, as emissões totais do tráfego rodoviário resultam na soma das emissões a frio, quente e evaporativas.

Este cálculo pode ser expresso pela seguinte equação:

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD} + E_{EVAPORATIVE}$$

Onde sucintamente:

E_{TOTAL} – Total de emissões, expressa em gramas, para qualquer poluente, para as resoluções espaciais e temporais pretendidas;

E_{HOT} – Emissões, expressa em gramas, durante as condições estáveis de operação do motor, isto é, motor nas condições ideais de funcionamento;

E_{COLD} – Emissões adicionais, expressa em gramas, durante as condições de aquecimento do motor, o arranque a frio;

$E_{EVAPORATIVE}$ – Emissões, expressa em gramas, provenientes da evaporação dos combustíveis.

As emissões a frio são adicionais às emissões a quente (E_{HOT}), ou seja, estas contabilizam o que um veículo emite a mais pelo facto de percorrer um determinado troço com o motor a frio (EEA, 2011).

Os fatores de emissões podem ser encontrados em vários locais. No *site* da *National Atmospheric Emissions Inventory(UK)*, *European Environment Agency* e *Environmental Protection Agency* encontram-se dados referentes aos diversos fatores de emissão, inclusive

os fatores de emissão que são considerados nos diversos *softwares* de modelação (EEA, 2013; EME, 2013; EPA, 2005).

Existem vários *softwares* de cálculo que nos permitem calcular as estimativas de concentrações e emissões, entre eles, o austrial disponibilizado pela *Lakes Environmental*, Adms-Roads disponibilizado pela *Cambridge Environmental Research Consultants*, Moves da *United States Environmental Protection Agency* e o COPERT disponibilizado pela *European Environmental Agency*.

O *software copert* é um programa que nos permite realizar a modelação de emissões de poluentes decorrentes do tráfego rodoviário. O *copert 4*, utilizado na realização deste trabalho, é um modelo que nos permite simular as emissões de vários poluentes, desde o CO, NO_x, VOC, PM, N₂O, SO₂, entre outros. Este modelo é baseado nos fatores de emissão do *corinair* da Agência Europeia do Ambiente (AEA) (EEA, 2013).

Foi financiado pela AEA nas atividades de enquadramento no Centro Europeu de Emissões atmosféricas, sendo proposto a sua utilização na Europa para a compilação dos inventários de emissões (*corinair*).

2.6. Modelação das concentrações de poluentes

Existem vários modelos que nos permitem a modelação da qualidade do ar. A sua escolha é importante pois a dispersão de poluentes consiste num fenómeno que é de elevada complexidade devido à diversidade de fatores que podem influenciar no resultado final (Moraes, 2001).

Estes modelos usados na modelação da dispersão de poluentes na atmosfera são classificados em função da sua análise e das constantes utilizadas por cada um deles.

Esses modelos de dispersão podem ser divididos em três modelos, modelo lagrangianos, modelo euleriano e o modelo gaussiano, consoante os seus pressupostos e a sua complexidade (Moraes, 2001; Buhr, 2010; Benson, 1989).

No modelo tipo Lagrangiano é definida uma região do ar como caixa contendo uma concentração inicial de poluentes e não utilizam um sistema de coordenadas fixas operando com técnicas de procura de partículas para a concentração de um determinado poluente num determinado local do espaço (x,y,z).

No modelo tipo Euleriano, ao contrário do anterior, o sistema de coordenada é fixo no espaço e as propriedades do poluente, como a densidade, temperatura e a velocidade são determinadas num ponto fixo do espaço (x,y,z) em função do tempo definido.

No modelo gaussiano, a concentração do poluente em questão num determinado ponto genérico de coordenadas (x,y,z) é dada pela equação gaussiana, onde se refere a um sistema de coordenadas tridimensionais que a origem se situa ao nível do solo da base da fonte emissora. Descritivamente, o eixo do x é definido pela direção do vento, o eixo do y é perpendicular à direção do vento e por fim o eixo do z é perpendicular ao x e y.

A equação gaussiana usada por estes modelos é a seguinte:

$$c(x,y,z) = \underbrace{\frac{Q}{2 * \Pi * \sigma_y * \sigma_z * U}}_{\text{eixo do penacho}} * \underbrace{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]}_{\text{horizontal}} * \underbrace{\left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}}_{\text{vertical}} \quad \text{Benson(1989)}$$

Onde:

C - concentração média do poluente, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

Q – caudal de emissão, $\mu\text{g}/\text{s}$;

U – velocidade média do vento na direção do eixo dos x, m/s;

σ_y – desvio padrão da distribuição horizontal da concentração gaussiana do penacho (coeficiente de dispersão horizontal), m;

σ_z - desvio padrão da distribuição vertical da concentração gaussiana do penacho (coeficiente de dispersão vertical), m;

h – altura efetiva de emissão, soma da altura real da fonte h_s com a sobre-elevação Δh , m;

x – distância do recetor à fonte medida na direção do vento, m;

y – distância do recetor ao eixo do penacho, m;

z – altura do recetor acima da superfície do solo, m.

Existem vários *softwares* disponíveis no mercado que nos permitem realizar a modelação da qualidade do ar como por exemplo, o *Austal*, *ADMS-ROADS* e o *caline*. Estes *softwares* tem por base os modelos de dispersão acima referidos, mas maioritariamente usam modelo gaussiano. O estudo que vai ser realizado vai ser feito com recurso ao *Caline*.

O *Caline* (*California Line Source Dispersion Model*) é um modelo Gaussiano desenvolvido pelo *California Department of Transportation* (CALTRAN), que estima, numa base horária, a concentração de poluentes (CO, NO₂ e PM₁₀) provenientes dos veículos motorizados nas áreas limítrofes das vias rodoviárias (até 500m), sendo o modelo oficial do *California Air Resources Board* (CARB) para esse tipo de análises (Benson, 1989).

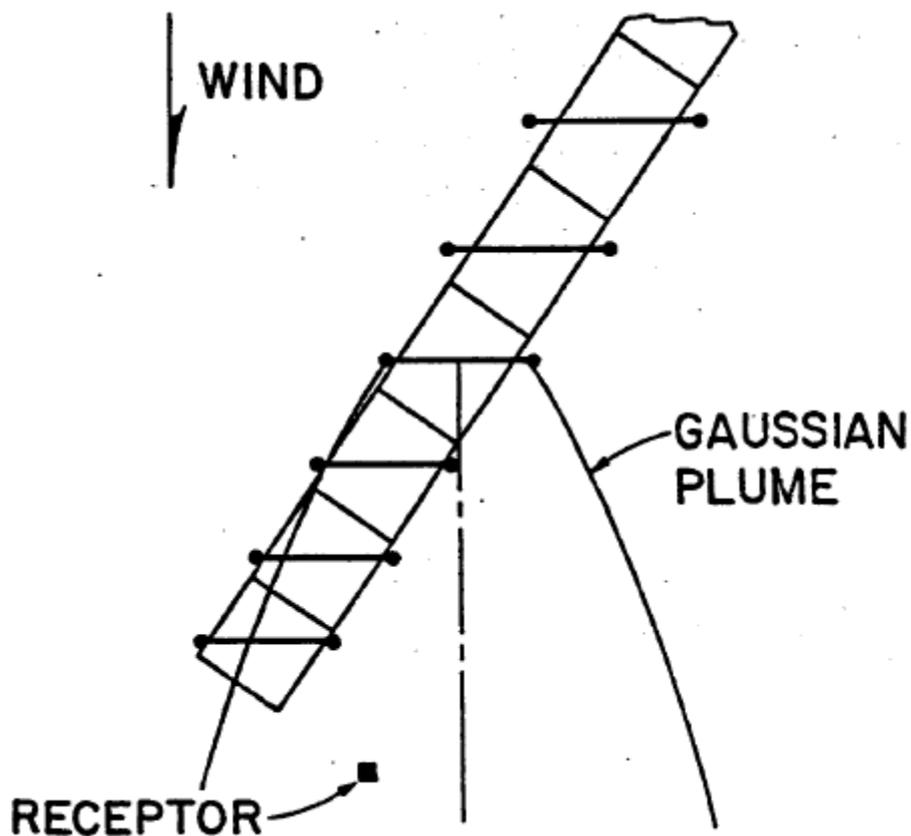


Figura 13 - Dispersão gaussiana do *Caline*, Benson (1989)

Na figura 13 apresenta-se um esquema da dispersão gaussiana do modelo/software *caline*. A estrada é dividida em partes denominadas por “links” que no seu conjunto formam o percurso de estudo. O recetor, no qual se pretende estimar a concentração de um determinado poluente, é localizado perpendicularmente à direção do vento e paralelamente à estrada. Como se depreende da equação gaussiana, as condições meteorológicas, como a velocidade do vento e os coeficientes de dispersão horizontal e vertical, que por sua vez são dependentes do grau de estabilidade atmosférica, são determinantes na estimativa das concentrações nos recetores. Assim, da mesma forma que, para uma determinada taxa de emissão, quanto maior for a proximidade do recetor à via estudo maior será a concentração estimada, também se espera que quanto menor for a velocidade do vento e/ou maior a estabilidade atmosférica, maior será a concentração estimada.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Materiais e métodos

Neste capítulo é realizada uma descrição do caso de estudo e aplicação da metodologia de cálculo de emissões para os transportes rodoviários que circulam na estrada N1 e a sua influência na qualidade do Ar em Leiria. São descritos os modelos de cálculo que foram usados para estimar as emissões e as concentrações de poluentes, nomeadamente o *copert*, que permite fazer a modelação da emissão de poluentes provenientes do tráfego rodoviário e o *caline*, que nos permite a modelação da dispersão desses mesmos poluentes. As estimativas no presente trabalho irão servir por base para avaliar o tipo de emissões bem como concentrações resultantes.

3.1. Definição e caracterização do local de estudo

O local escolhido para a recolha de dados e estudo foi a estrada Nacional N1 que atravessa a cidade de Leiria. A cidade Leiria situa-se na Região Centro de Portugal, sede do concelho do mesmo nome, que neste momento possui 29 freguesias distribuídas por uma área de cerca de 568km².

Este conselho é confinado a Norte com o concelho de Pombal, a este com Ourém e Pombal, a sul com o da Batalha e de Porto de Mós e por fim a Oeste pelo Concelho da Marinha Grande e pelo Atlântico segundo a figura 14.



Figura 14 - Mapa de Leiria

Esta cidade, Leiria, usufrui de uma localização estratégica, ficando a 146km a norte da capital e de 187km e 72km a sul do Porto e Coimbra, respetivamente. A sua localização é um fator principal que contribui para o seu crescimento e desenvolvimento.

Leiria é um importante eixo rodoviário e está servido por diversas vias rodoviárias principais como a A1, A8, A19, a N1/IC2 e N109.

Para avaliar as emissões foi definido para estudo um troço da IC2 ou também conhecida por estrada nacional nº1 que está apresentado a vermelho na figura 15. É delineado a vermelho o troço que foi monitorizado para a realização de registo de dados bem como para as respetivas simulações para posteriormente se avaliar a influência das contribuições das emissões na qualidade do ar. O percurso em estudo é iniciado na zona “Alto do Vieiro” terminando à entrada da zona industrial Zicofa totalizando uma distância de cerca de 6km.



Figura 15 – Troço da Nacional N1 em estudo

3.2. Recolha de dados e equipamento usado

A recolha de dados e o equipamento usado é um passo importante para o estudo tendo como objetivo avaliar a contribuição das emissões da via para as zonas envolventes na qualidade do ar.

Foi definido um período de amostragem e um local de recolha de dados para posterior análise. Por questões de logística o local definido foi a zona “Alto do Vieiro” a montante e a jusante da N1. O registo das concentrações de PM_{10} , CO teve a finalidade de fazer a validação

do modelo usado para modelação das concentrações. Este registo foi efetuado no dia 26 de Maio de 2014 entre as 14h30min e as 15h30min.

O tráfego rodoviário na estrada nacional N1 foi registado através de suporte digital (ilustrado na figura 16). Com o auxílio de uma câmara de filmar foi registado o tráfego que depois foi contabilizado em computador manualmente e dividido por categorias de veículos bem como tecnologias.



Figura 16 - Equipamento digital de registo de tráfego rodoviário

Relativamente ao registo dos poluentes, foram registadas em contínuo as concentrações de CO (Monóxido de Carbono) e de PM₁₀ (partículas em suspensão). Não foi realizado o registo de NO₂ (dióxido de azoto) por não haver equipamento disponível para o mesmo.

Para registo das concentrações de partículas em suspensão e do monóxido de carbono foram utilizados os seguintes aparelhos na figura 17.



Figura 17 - Equipamentos de registo de PM₁₀ e de CO

O equipamento presente à esquerda da figura 17 permite o registo das partículas em suspensão (PM_{10}) no meio ambiente e o equipamento da direita permite-nos o registo de monóxido de carbono. Ambos os equipamentos necessitam de uma calibração prévia para assegurar o seu bom funcionamento e a correta recolha de valores dos poluentes. Infelizmente o analisador de monóxido de carbono (CO) não pode ser usado pois não possuía resolução suficiente para registar as concentrações exteriores. A sua resolução é de 1 PPM e as concentrações exteriores eram inferiores. Este equipamento tal como outro para avaliar este poluente são tipicamente usados na avaliação de qualidade do ar interior, contudo poderão ser usados no exterior desde que tenham sensibilidade ou resolução suficiente.

Os equipamentos foram gentilmente fornecidos pelo Departamento de Engenharia do Ambiente da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria no âmbito do Mestrado de Engenharia da Energia e do Ambiente através do docente orientador.

Como está exemplificado na figura 18 seguinte foi realizado o registo a montante e a jusante do ponto definido, pois o vento era proveniente de N, no período de amostragem. O registo das concentrações das PM_{10} foram efetuados por períodos de 10 minutos em cada recetor definido à priori.

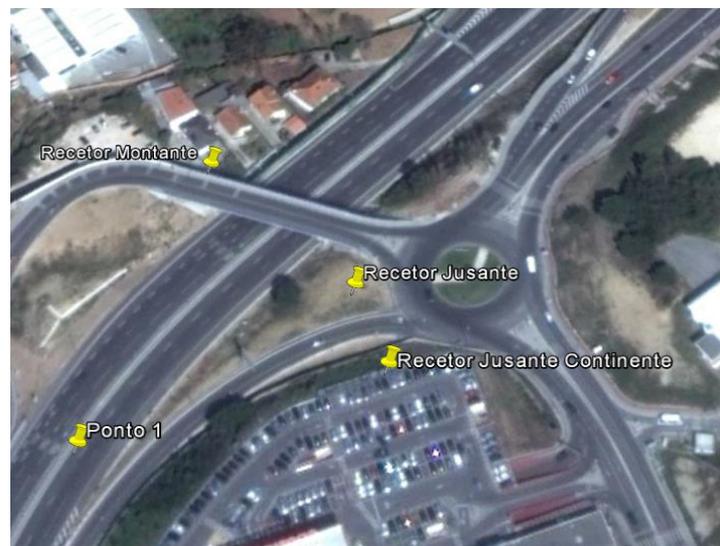


Figura 18 - Pontos de Registo de Concentração de Poluentes

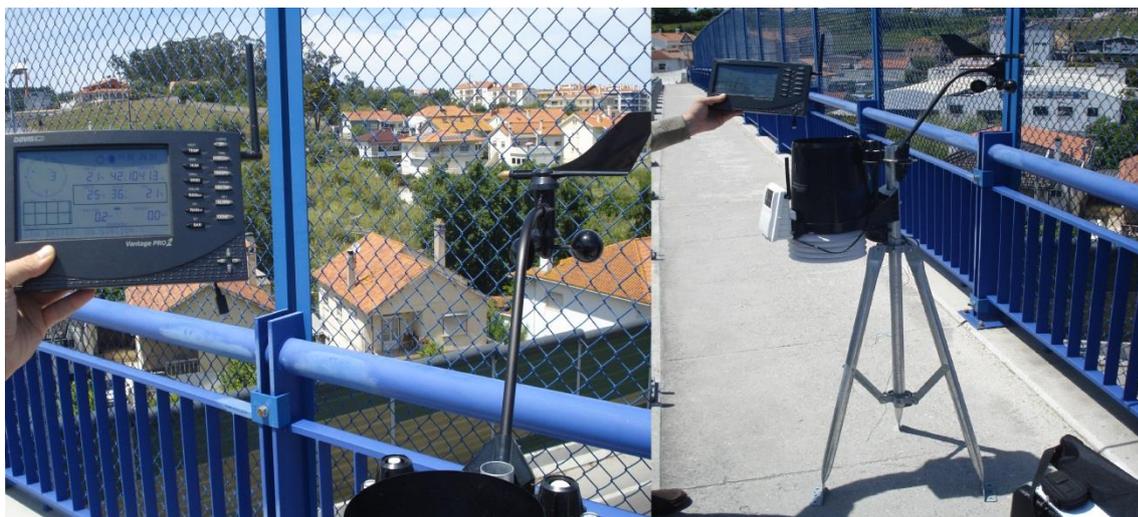


Figura 19 - Estação meteorológica portátil

Na figura 19 está ilustrada a estação meteorológica portátil (DAVIS modelo *Vantage PRO2*) usada para monitorizar os dados meteorológicos necessários à modelação das emissões e concentrações. Esta permite obter parâmetros como a velocidade e a direcção do vento, temperatura do ar, radiação solar global, humidade relativa e precipitação. Este equipamento permite a memorização de um período de registo pré-programado, podendo os dados obtidos serem descarregados para suporte digital facilitando assim o seu tratamento. Para assegurar a melhor portabilidade e autonomia, esta estação meteorológica, está dotada de um pequeno painel fotovoltaico que permite recarregar as pilhas recarregáveis, que são usadas em período noturnos, ou quando necessárias. A consola de registo, à esquerda da figura 19, funciona com pilhas comuns sendo necessário a sua substituição no caso de fim de vida de utilização. Nela está inserido um *datalogger* que regista os dados em função da programação pré-definida.

A estação meteorológica portátil, também registou dados preciosos para a utilização das simulações. Apesar de registar mais dados apenas foi feito o tratamento dos dados necessários, nomeadamente a temperatura, velocidade do vento e a sua direcção, humidade relativa e radiação solar. A tabela 1 seguinte mostra as médias dos valores registados pela estação meteorológica.

Tabela 1 - Média Temperatura, Velocidade do Vento, Direcção do Vento e Radiação Solar

Temperatura [°]	Velocidade do Vento [km/h]	Direcção do Vento	Humidade Relativa [%]	Radiação solar [w/m ²]
18.5	9.9	N	47	812

3.3. Metodologia de Cálculo de Emissões e Contrações

3.3.1. Estimativa de Emissões

Na estimativa das emissões foi utilizado o software *Copert*. Através deste *software* é possível realizar a modelação de emissões e estimar a emissão em determinadas condições previamente definidas. As estimativas das emissões de gases de escape são calculadas através de uma combinação sólida de dados de entrada, como os fatores de emissão, a velocidade, a temperatura, correção para a degradação da emissão com a quilometragem, correção para a degradação do efeito do ano do combustível, inspeção periódica dos veículos, informação de atividade da frota em estudo, distância percorrida e o ano de estudo.

Os dados de *input* podem contemplar o total de emissões do transporte rodoviário a quente, ou seja, quando o motor está nas suas condições ótimas de funcionamento, e as emissões a frio, que são resultantes da fase transiente de aquecimento do motor até à temperatura ideal, e são adicionais às emissões a quente.

Como é espectável as emissões de alguns poluentes em regime de motor frio são, geralmente, superiores às emissões a quente. Isto deve-se à diferença acentuada do desempenho dos veículos nestas duas fases. Neste sentido é necessário haver uma abordagem metodológica que estime as emissões adicionais durante o período de “arranque a frio”. Estas últimas resultam de emissões adicionais de escape.

Em suma, as emissões totais podem ser obtidas com a seguinte equação.

$$E_{\text{total}} = E_{\text{quente}} + E_{\text{frio}}$$

Onde:

E_{total} → Corresponde às emissões totais de qualquer poluente, para a resolução espacial e temporal da aplicação, em gramas [g];

E_{quente} → Corresponde às emissões durante o funcionamento do motor à temperatura ideal de funcionamento (a quente), em gramas [g];

E_{frio} → Corresponde às emissões adicionais à emissão a quente, durante o funcionamento do motor na fase transiente de temperatura (arranque a frio), em gramas [g];

Sendo assim, e segundo a fórmula anterior, é possível afirmar que as emissões estão diretamente relacionadas e dependentes das condições de funcionamento do motor.

Os diferentes estilos de condução praticados consoante a utilização da via rodoviária resultam num desempenho do motor distinto afetando a quantidade de emissões para a atmosfera. Assim é feita uma distinção a nível de utilização entre a condução em zonas urbanas, rurais e autoestradas.

Neste sentido as diferentes atividades e níveis de emissão são atribuídas consoante cada estilo de condução. Como é evidente o arranque a frio será maioritariamente confinado à condução urbana, e secundariamente à condução rural, pois é espectável que o número de viagens que se iniciem em autoestradas seja bastante reduzido. No que se refere aos estilos de condução, as emissões totais podem ser calculadas a partir da seguinte equação:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{urbano}} + E_{\text{rural}} + E_{\text{autoestrada}}$$

Onde:

E_{urbano} → corresponde às emissões totais de qualquer poluente no estilo de condução em zonas urbanas, em gramas [g];

E_{rural} → corresponde às emissões totais de qualquer poluente no estilo de condução em zonas rurais, em gramas [g];

$E_{\text{autoestrada}}$ → corresponde às emissões totais de qualquer poluente no estilo de condução em autoestrada, em gramas [g];

A equação que permite estimar as emissões a quente, E_{quente} , para um determinado período de tempo é expressa da seguinte forma:

$$E = Fe * N * l_{\text{veículo}}$$

Onde:

- E → corresponde às emissões totais de qualquer poluente, [g];
- Fe → corresponde ao fator de emissão, [g/km];
- N → corresponde à população de veículos em estudo;
- $l_{\text{veículo}}$ → corresponde à distância percorrida pelos veículos (km).

De outra forma, para cada categoria e classe de veículos é necessária a utilização de diferentes níveis de emissão, números de veículos e quilómetros percorridos por estes. As emissões a quente, no caso de estimativas anuais, a fórmula aplicada para o cálculo das

emissões de poluentes a quente segundo Ntziachristos and Samaras (2009) e Ntziachristos (2012) é a seguinte:

$$E_{HOT;i,k,r} = N_k * M_{k,r} * e_{HOT;i,k,r}$$

Onde:

- $E_{HOT;i,k,r} \rightarrow$ é a emissão a quente do poluente i , produzido no período em causa, por veículos da tecnologia k , que circularam por estradas do tipo r , [g];
- $N_k \rightarrow$ é o número de veículos da tecnologia k em operação durante o período em causa;
- $M_{k,r} \rightarrow$ corresponde à distância percorrida por veículo num determinado tipo de estradas r por veículos da tecnologia k , [km];
- $e_{HOT;i,k,r} \rightarrow$ factor de emissão para o poluente i , referente aos veículos da tecnologia k , que transitaram por estradas do tipo r , [g/km].

O rácio das emissões a frio sobre as emissões a quente é um fator importante que é aplicado à fração de quilómetros percorridos a frio. Este fator varia de país para país mas também é afetado pelo comportamento dos condutores (distância de cada viagem e velocidade) e pelas condições climatéricas que afetam o tempo necessário para o motor atingir a temperatura ótima de funcionamento e/ou catalisadores.

Estas emissões de arranque a frio são consideradas emissões adicionais por distância percorrida e segundo Ntziachristos(2012) podem ser calculadas utilizando a seguinte equação:

$$E_{cold;i,k} = \beta_{i,k} * N_k * M_k * e_{HOT;i,k} * (e^{cold}/e^{hot}|_{i,k} - 1)$$

Onde:

$E_{cold;i,k} \rightarrow$ corresponde à emissão a arranque a frio do poluente i , produzido pela tecnologia k , em gramas [g];

$\beta_{i,k} \rightarrow$ fração da distância percorrida por veículos com o motor a frio, para o poluente i , com a tecnologia k , [-];

$N_k \rightarrow$ corresponde ao número de veículos da tecnologia k em circulação, [-];

$M_k \rightarrow$ corresponde à distância total percorrida por veículos da tecnologia k , [km];

$e_{HOT;i,k} \rightarrow$ fator de emissão para o poluente i , referente aos veículos da tecnologia k , [g{km];

$e^{cold}/e^{hot}|_{i,k} \rightarrow$ corresponde aos quocientes entre as emissões de arranque a frio e as emissões a quente para determinado poluente i , referente aos veículos com a tecnologia k .

O parâmetro β depende diretamente da temperatura ambiente t_a (que por razões práticas a temperatura mensal pode ser utilizada), e da utilização padrão de um veículo, em particular a distância de uma viagem em média l_{trip} – percurso médio. De outra, este parâmetro pode ser entendido como a percentagem de veículos, em média de toda a frota, que passa no local de estudo com o motor a frio não estando nas condições ótimas de funcionamento. Segundo Ntziachristos and Samaras (2009) e Ntziachristos(2012) o β pode ser calculado da pela fórmula:

$$0,6474 - 0,02545 * l_{trip} - (0,00974 - 0,000385 * l_{trip}) * t_a$$

Parece importante dizer que a fração de e^{cold}/e^{hot} corresponde à fração entre as emissões a frio e as emissões a quente para determinado poluente i , referente aos veículos com a tecnologia k , que segundo Ntziachristos and Samaras (2009) e Ntziachristos(2012) pode por exemplo para os veículos a gasolina EURO 1 pode ser calculada da seguinte forma:

$$e^{cold}/e^{hot} = A * V * B * t_a + C.$$

onde:

V corresponde à velocidade [km/h];

t_a corresponde à temperatura ambiente.

As restantes constantes podem ser consultadas no inventário do *corinair* (Ntziachristos, 2012) consoante o poluente e categoria de veículo com determinada tecnologia. No entanto no caso dos veículos pesados e os motociclos não contemplam esta fração e são assumidos como apenas emitirem emissões a “quente”, isto é, são considerados como iniciarem logo o percurso a quente.

No caso em estudo, o valor de beta vai ser definido inicialmente a 0%. Depois serão feitas simulações com valores diferentes de zero para ver a evolução de determinado poluente tendo em conta as nossas condições meteorológicas, com o objetivo de mostrar as consequências na emissão de poluentes de um motor, e dos sistemas de tratamento de gases de escape, quando não funcionam nas temperaturas que não são as ideais.

Após introduzir todos os parâmetros necessários este *software* permite calcular as emissões de diversos poluentes tais como CO, NO, NO₂, NO_x, SO₂, CO₂, N₂O, CH₄; COVNM, PM₁₀, metais, entres outros.

De uma forma genérica, a utilização deste *software* implicou os seguintes passos:

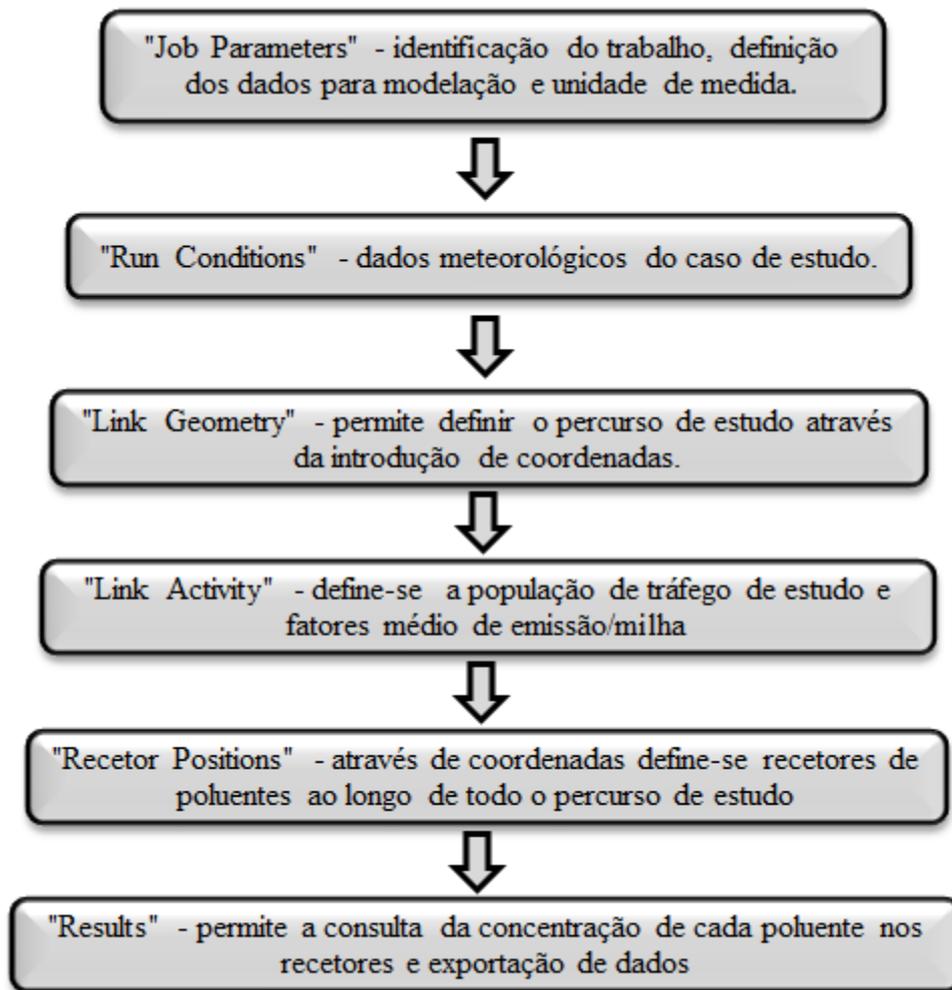
- 1º Escolha do país e ano pretendido;
- 2º Dados do país em estudo e condições meteorológicas;
- 3º Informação sobre os combustíveis;
- 4º Inserção dos vários tipos de veículos em estudo;
- 5º Inserção da quantidade de veículos, por hora, correspondentes a cada categoria e distância percorrida;
- 6º Inserção da velocidade média para cada tipo de veículo, correções para o efeito do combustível, degradação com a quilometragem e validação da inspeção periódica;
- 7º Cálculo e recolha dos resultados.

3.3.2. Estimativa de Concentrações

O *caline* trata-se de um modelo de qualidade do ar de fonte linear. Este modelo foi desenvolvido pelo Departamento de Transporte da Califórnia (*CALTRANS*) e tem como objetivo definir os impactos do tráfego rodoviário na qualidade do ar em locais próximos às vias de tráfego rodoviário. É baseado na equação de difusão gaussiana como discutido no ponto 2.6.

Para calcular as concentrações o modelo/*software* requer o *input* dos fatores/variáveis são eles: peso molecular do poluente em estudo, velocidade de sedimentação (para partículas), velocidade de deposição (para gases), tipo de ambiente a qual se refere o estudo do poluente (rural, suburbano, urbano ou outro), unidade de medida, altura acima do nível do mar, direção do vento e velocidade, classe de estabilidade, temperatura ambiente, introdução das coordenadas do percurso de estudo bem como as dos recetores ao longo do percurso, tráfego automóvel e o respetivo fator de emissão.

Resumidamente os passos a seguir para calcular as concentrações através do *software* são os seguintes:



Esquema 1 - Sintetização do procedimento usado para correr o modelo *CALINE4*

Este modelo permite a determinação das concentrações horárias de três poluentes, são eles: o monóxido de carbono, dióxido de azoto e as partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10 μg , as conhecidas PM_{10} .

Para definir o percurso de estudo foram usados 18 pontos. Na tabela 2 estão identificados os vários pontos e as respetivas coordenadas reais que foram obtidos através do *software google earth*. Estes pontos foram definidos consoante o troço ilustrado na figura 15 mostrada anteriormente.

Tabela 2 - Coordenadas percurso de estudo *Google Earth*

Coordenadas de definição do percurso de estudo					
	Latitude x	Longitude y	Elevação [m]	SMHG x	SMHG y
Ponto 1	39°44'2.76"N	8°49'30.54"W	50	140687	307517
Ponto 2	39°44'11.54"N	8°49'21.10"W	50	140904	307793
Ponto 3	39°44'20.53"N	8°49'12.22"W	50	141120	308069
Ponto 4	39°44'27.42"N	8°49'9.57"W	51	141193	308284
Ponto 5	39°44'39.26"N	8°49'8.87"W	64	141220	308654
Ponto 6	39°44'52.85"N	8°49'7.22"W	52	141413	309053
Ponto 7	39°45'6.85"N	8°49'1.99"W	40	141393	309485
Ponto 8	39°45'20.81"N	8°48'52.67"W	44	141610	309915
Ponto 9	39°45'27.53"N	8°48'40.57"W	75	141898	310129
Ponto 10	39°45'32.58"N	8°48'30.70"W	78	142137	310282
Ponto 11	39°45'36.91"N	8°48'21.27"W	78	142352	310403
Ponto 12	39°45'39.29"N	8°48'10.96"W	78	142615	310494
Ponto 13	39°45'41.85"N	8°47'58.59"W	104	142901	310553
Ponto 14	39°45'44.61"N	8°47'44.29"W	104	143235	310644
Ponto 15	39°45'46.34"N	8°47'26.39"W	125	143664	310702
Ponto 16	39°45'47.65"N	8°47'13.12"W	125	143973	310731
Ponto 17	39°45'49.14"N	8°47'2.04"W	125	144235	310790
Ponto 18	39°45'50.57"N	8°46'57.75"W	125	144355	310820

A transformação das coordenadas foi realizada com recurso ao *software* disponibilizado pela CNIG (Centro Nacional de Informação Geográfica).

Na figura 20 está ilustrado o percurso elaborado no *caline* e os vários recetores. No anexo II tabela 18 estão as coordenadas reais obtidas no *google earth* e as respetivas conversões no Sistema Militar *Hayford – Gaus*.

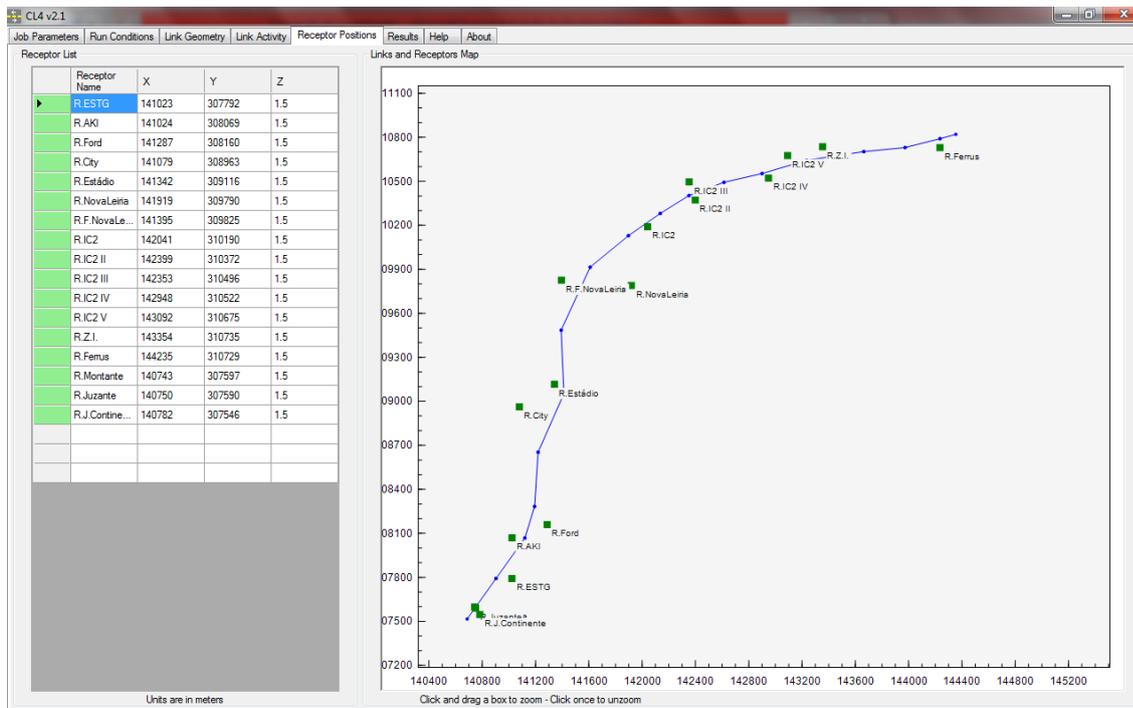


Figura 20 - Coordenadas recetores e percurso caline

O *software* permite-nos realizar a simulação com um caso “*standard*” ou um caso “*worst – case wind direction*”. O caso “*standard*” trata-se de um caso com as condições meteorológicas definidas pelo utilizador. O caso “*worst-case wind direction*” simula as concentrações dos poluentes tendo em conta os dados meteorológicos definidos pelo utilizador à exceção da direção do vento onde o *software* determina qual é a direção do vento onde a contração de determinado poluente é máxima. O *software* permite estes dois tipos de cenários para o poluente CO e PM₁₀.

O fator médio de emissão (FE) por veículo e por hora para cada poluente, requerido pelo modelo, foi calculado com recurso às emissões obtidas no *software* anterior (*Copert*) considerando emissões a quente. Para cálculo do FE foi utilizada a fórmula seguinte:

$$FE = \frac{Em}{Vei} \left[\frac{g}{milha} \right]$$

Onde,

- FE representa o fator médio de emissão por milha, por veículo e por hora (g/mi.veículo.hora);
- Em é a quantidade (g) de emissão horária de cada poluente, por milha, relativa à totalidade da frota de veículos em estudo, obtida no *copert*;
- Vei é o número total de veículos por hora.

Os fatores de emissão obtidos para desenvolver o estudo no *caline* foram os seguintes:

- **CO** – 1,74 g/milha;
- **NO₂** – 0,13 g/milha;
- **PM₁₀** – 0,07 g/milha.

Para efeitos da primeira simulação foram considerados os dados presentes na tabela 1. De referir que o *software* exigia outros dados já referidos anteriormente que foram definidos consoante registo de bibliografia encontrada de cada poluente e essencialmente com ajuda do manual do *CALINE*. Um dos dados é a constante de fotodissociação do NO₂ para o qual foi assumido o valor de 0,008 s⁻¹ com base na radiação solar média registada (Trebs, 2009). Outro valor é a velocidade de sedimentação das partículas que foi assumida de 0,605 cm s⁻¹ (Provia, 2010).

O *software* requer também a classificação da classe de estabilidade. Esta classificação segundo Pasquill (Seinfeld, 1986), é dividida em 7 classes de estabilidade são elas: fortemente instável (representado por A ou 1), moderadamente instável (B ou 2), ligeiramente instável (C ou 3), neutra (D ou 4), ligeiramente estável (E ou 5), moderadamente estável (F ou 6) e fortemente estável (representado por G ou 7). Este parâmetro é derivado da variação vertical da temperatura potencial. Parece importante dizer que uma situação de estabilidade estável inibe os mecanismos turbulentos de transporte de poluentes contribuindo para o aumento dos níveis de contaminantes na atmosfera. Por sua vez uma classe de estabilidade instável favorece a dispersão dos poluentes, diminuindo a concentrações de poluentes presentes na atmosfera.

A figura 21 mostra a interface inicial deste *software*:

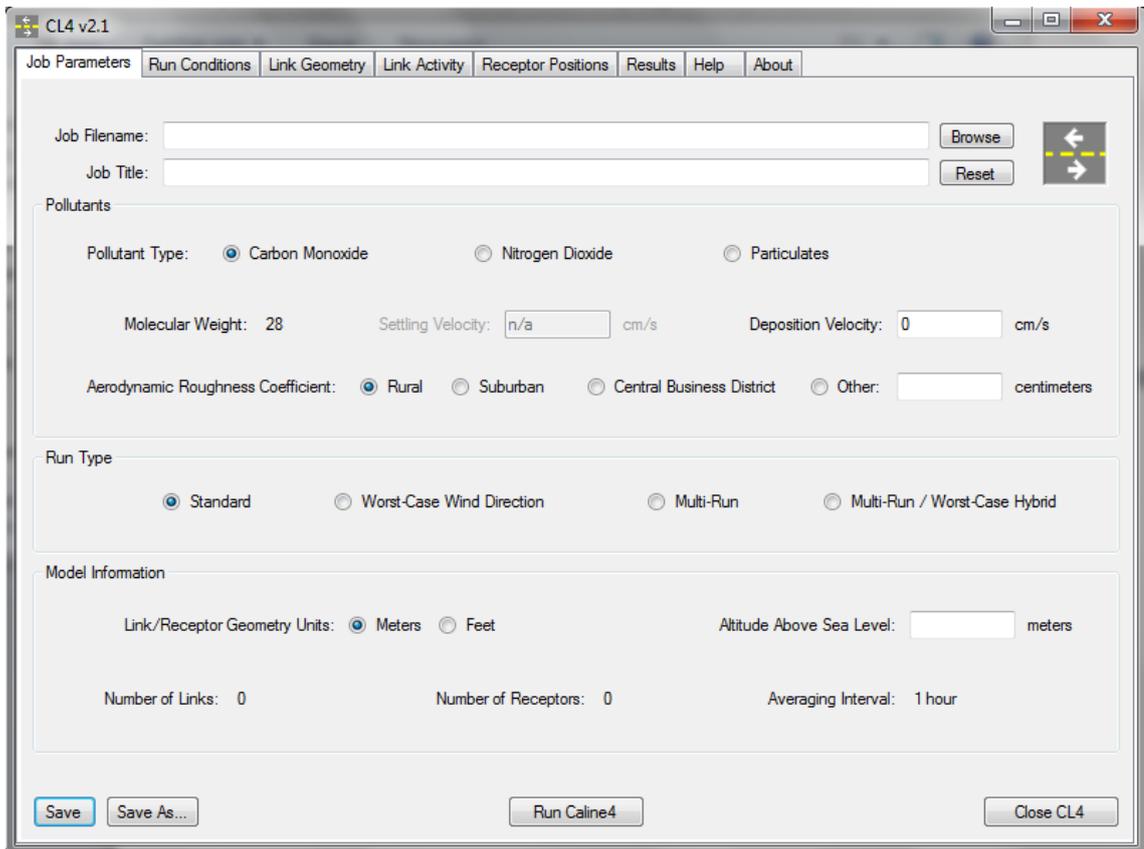


Figura 21 - Interface Caline 4 v2.1

Ao longo do percurso para estudo foram estrategicamente distribuídos recetores para estimar as concentrações destes poluentes provenientes da estrada nacional N1. Na tabela 3 estão presentes as localizações geográficas e distância à estrada dos recetores obtidos pelo *google earth*:

Tabela 3 - Localização dos recetores

Nº	Designação	X Latitude	y Longitude	Distância à estrada
1	Recetor Montante	39°44'6.07"N	8°49'29.43"W	7
2	Recetor Jusante	39°44'4.39"N	8°49'27.80"W	10
3	Recetor Jusante continente	39°44'3.61"N	8°49'26.72"W	65
4	Recetor ESTG	39°44'11.08"N	8°49'16.15"W	120
5	Recetor AKI 2	39°44'20.65"N	8°49'16.20"W	160
6	Recetor retunda Ford	39°44'23.44"N	8°49'5.65"W	135
7	Recetor City	39°44'49.52"N	8°49'14.77"W	280
8	Recetor Estádio	39°44'54.86"N	8°49'3.52"W	65
9	Recetor Nova Leiria	39°45'16.10"N	8°48'49.79"W	370
10	Recetor Frente Nova Leiria	39°45'17.22"N	8°49'1.42"W	110
11	Recetor IC2	39°45'29.44"N	8°48'34.19"W	45
12	Recetor IC2 II	39°45'35.15"N	8°48'19.95"W	61
13	Recetor IC2 III	39°45'39.22"N	8°48'21.80"W	90
14	Recetor IC2 IV	39°45'40.87"N	8°47'56.55"W	48
15	Recetor IC2 V	39°45'45.13"N	8°47'50.11"W	70
16	Recetor Zona Industrial	39°45'47.42"N	8°47'39.37"W	88
17	Recetor Ferrus	39°45'47.72"N	8°47'2.60"W	60

A localização dos recetores no mapa ao longo do percurso de estudo é aproximadamente a presente na figura 22.



Figura 22 - Recetores no mapa

4. Resultados e discussão

4.1.1. Caracterização da frota de veículos

Os dados de tráfego médio do local de estudo foram obtidos experimentalmente através de campanhas de contagem de veículos e com recurso a material digital (filmagem) no local durante o período 1 hora definido para registo. Este registo foi realizado entre as 14h30min e as 15h30min do dia 26 de maio do ano de 2014. Como é evidente, e salvaguardando dados resultantes desta contagem, esta poderá ter associado erro na contagem e na sua repartição por categorias.

Da análise dos dados digitais, constataram-se os seguintes veículos e a respetiva distribuição presentes na figura 23.

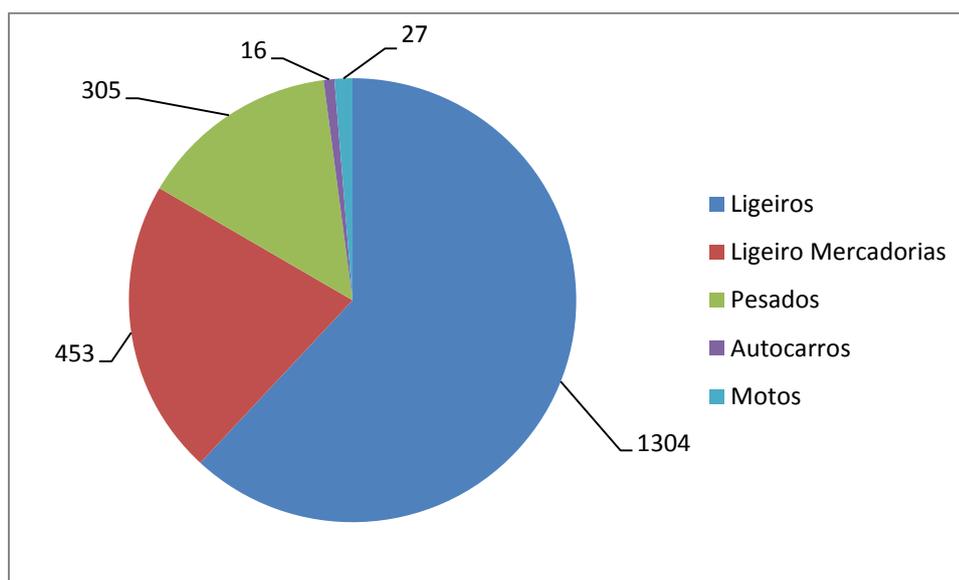


Figura 23 - Distribuição por categoria da frota contabilizada

Para detalhar a frota obtida por combustível e tecnologia (sua % na categoria ou setor de veículos) usada pelos veículos motorizados recorreu-se a dados disponíveis do *Corinair*, obtidos no site da EMSIA, relativos à frota média Portuguesa de 2005. Como são assumidos dados da frota média de veículos de Portugal por categoria (dados *Corinair* de 2005) poderão a estar ser incrementadas incertezas (Boubel, 1994).

Na tabela 4 apresenta-se a caracterização da frota horária de veículos registados no local, entre as 14h30 e 15h30 do dia 26 de maio, sectorizada por tipo de combustível. Na tabela 17 do anexo I está mais pormenorizada a distribuição da frota por setores e tecnologias.

Tabela 4 - Frota horária de veículos, 26 de maio de 2014 - 14h30-15h30

Sector	Subsector	Technology	Ano 2005	% na categoria (setor)	Frota de Veículos no local de estudo
			Frota Portugal		
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	All	1738133	47.03	613
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	All	970031	26.25	342
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	All	58357	1.58	21
Passenger Cars	Gasoline	All	2766521	74.85	976
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	All	709538	19.20	250
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	All	204015	5.52	72
Passenger Cars	Diesel	All	913553	24.72	322
Passenger Cars	LPG	All	15981	0.43	6
Passenger Cars		All	3696055	100.00	1304
Light Duty Vehicles	Diesel	All	1234841	99.61	451
Light Duty Vehicles	LPG	All	4857	0.39	2
Light Duty Vehicles		All	1239698	100.00	453
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	All	17540	11.44	35
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	All	26194	17.09	52
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	All	26198	17.09	52
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	All	30681	20.02	61
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	All	4388	2.86	9
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	All	4397	2.87	9
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	All	4395	2.87	9
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	All	30685	20.02	61
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	All	4401	2.87	9
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	All	4389	2.86	9
Heavy Duty Trucks	Conventional	All	44433	28.99	89
Heavy Duty Trucks	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	All	34670	22.62	69
Heavy Duty Trucks	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	All	40167	26.21	80
Heavy Duty Trucks	HD Euro III - 2000 Standards	All	33999	22.18	68
Heavy Duty Trucks		All	153270	100.00	305
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	All	1263	8.32	1
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	All	1263	8.32	1
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	All	1263	8.32	1
Buses	Coaches Standard <=18 t	All	5693	37.52	6
Buses	Coaches Articulated >18 t	All	5693	37.52	6
Buses	Conventional	All	6882	45.35	7
Buses	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	All	2180	14.37	2
Buses	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	All	3931	25.90	4
Buses	HD Euro III - 2000 Standards	All	2181	14.38	2
Buses & Coaches		All	15174	100.00	16
Motorcycles	2-stroke >50 cm ³	All	24823	14.74	4
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	All	65684	38.99	11
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	All	37001	21.97	6
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	All	24823	14.74	4
Two wheelers		All	152330	90.43	25
HDV & Buses	All	All	168444	100.00	2105

Esta frota será representativa para o estudo, embora tenham sido registado outros dados ao longo do dia, optou-se por validar os modelos e simulações com o tráfego médio que passou na hora de registo.

Analisando a tabela anterior, constata-se que a frota é constituída em grande parte por veículos ligeiros a gasolina, seguindo-se os veículos ligeiros a *diesel* com 322 veículos. O que se pode concluir verificar desde já é que frota de veículos ligeiros é constituído maioritariamente por automóveis ligeiros movidos a gasolina.

4.1.2. Emissão de poluentes

O *software copert* permite-nos determinar e modelar as emissões de poluentes atmosféricos.

Para o efeito, inseriu-se no *copert* a frota de veículos distribuídos por categorias presente na tabela 17 do anexo I. Considerou-se para a modelação a frota total de 2105 veículos e uma distância de análise de cerca 1km.

Pressupôs-se que esta frota se manteria idêntica ao longo do percurso de cerca de 6 km em estudo. Admitiu-se também que todos os veículos fariam o percurso a quente (condições ótimas de funcionamento) a uma velocidade média de 90km/h para os veículos pesados e de 100km/h para os restantes veículos.

Os poluentes em estudo, como já foi referido foram: o monóxido de carbono, dióxido de azoto e as partículas em suspensão, nomeadamente as PM₁₀. No entanto, e por se achar pertinente e importante, para esta primeira análise vão ser apresentados as estimativas das emissões dos COVNM, SO₂ e os principais GEE como o CO₂, CH₄ e N₂O.

Monóxido de Carbono (CO)

Para o CO foi obtido uma emissão total de 2270,87 g/km com base na frota de veículos analisada. A figura 24 mostra que o grupo mais responsável pela emissão deste poluente são os veículos ligeiros de passageiros com 77,66%, seguido dos veículos ligeiros comerciais com 11,01% e os motociclos com 9,51%. As restantes categorias têm uma contribuição reduzida.

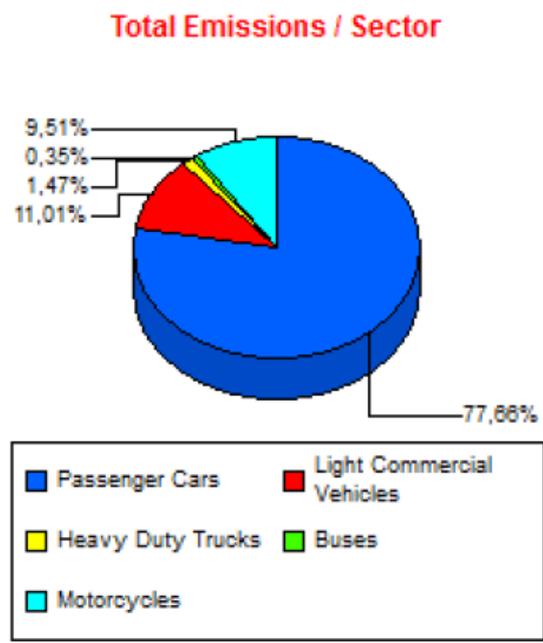


Figura 24 - Partição da emissão total de CO por setor

Dióxido de Azoto (NO₂)

O dióxido de azoto também é um poluente emitido em quantidades significativas (167,41 g/km). Os veículos ligeiros de passageiros lideram novamente a maior taxa de emissão, sendo responsáveis por cerca de 48,28% das emissões de NO₂ (Figura 25).

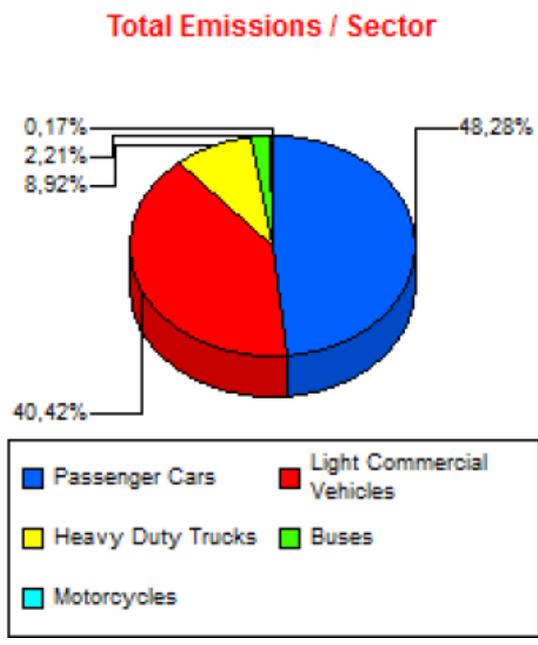


Figura 25 - Partição da emissão total de NO₂ por setor

Os veículos ligeiros de mercadorias com peso inferior a 3500kg têm também um peso relevante nas emissões totais, contribuindo com 40,42%. Os veículos pesados contribuem com 8,92%, os autocarros com 2,21% e por último, e pouco significativa a taxa de emissão deste poluente dos motociclos não alcançando 1% devido à baixa população em estudo de motociclos.

Partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10 µm

A emissão de PM₁₀ situou-se nos 95,076 g/km. Como podemos verificar na figura 26 a emissão das partículas com diâmetro inferior a 10µm é liderada pelos veículos ligeiros e de mercadorias, com 28,72% e 62,70%, respetivamente, seguindo-se o setor dos pesados de mercadorias com 6,93% e os autocarros com 1,25% das PM₁₀. Novamente os motociclos têm pouca representação nas taxas de emissões devido à sua população de estudo ser baixa, contribuindo com apenas 0,41%.

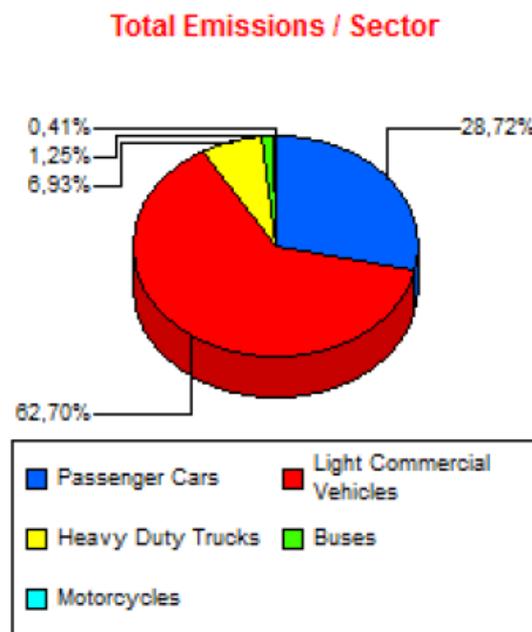


Figura 26 - Partição da emissão total de PM₁₀ por setor

COVNM – compostos orgânicos voláteis não metano

Após a simulação obteve-se uma emissão de total de 244,04 g/km. A emissão destes poluentes deve-se essencialmente aos veículos de passageiros com o combustível a gasolina, com uma contribuição superior a 95%.

SO₂ – Dióxido de enxofre

A emissão deste poluente cifrou-se nos 1,987g/km. Apesar de não ser um valor significativo, pois atualmente o teor de enxofre nos combustíveis é muito baixo, é importante descrever a categoria de veículos que é responsável por estas emissões.

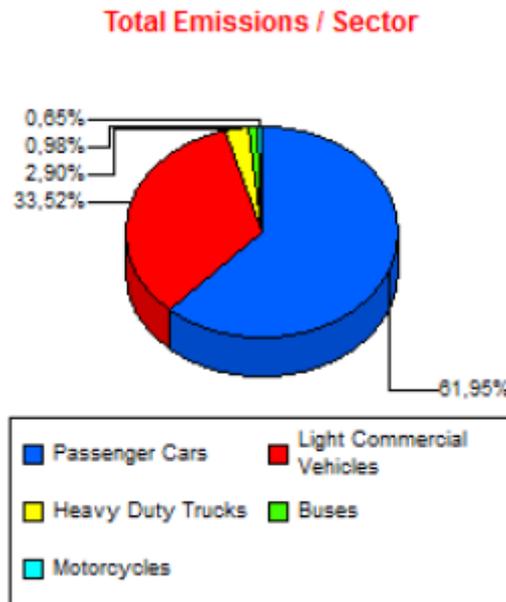


Figura 27 - Partição da emissão total de SO₂ por setor

Pela figura 27 a categoria que mais contribui para estas emissões são os automóveis ligeiros de passageiros seguindo-se dos veículos ligeiros comerciais.

CO₂ – Dióxido de Carbono

No caso em estudo, estimou-se uma emissão de $3,12 \cdot 10^5$ g/km de CO₂ (312 kg/km); uma quantidade bastante significativa, pois a maior parte do carbono dos combustíveis é oxidado a CO₂.

À semelhança do poluente anterior, a distribuição das emissões por categorias é liderado pelos automóveis ligeiros de passageiros, seguido pelos automóveis ligeiros de mercadorias.

CH₄ – Metano

Estimou-se uma emissão total de 23,753g/km, sendo que 73,40% se deve ao grupo dos automóveis ligeiros de passageiros, 10,10% aos veículos comerciais ligeiros, e o restante repartido pelas restantes categorias. A figura 27 seguinte demonstra essa distribuição.

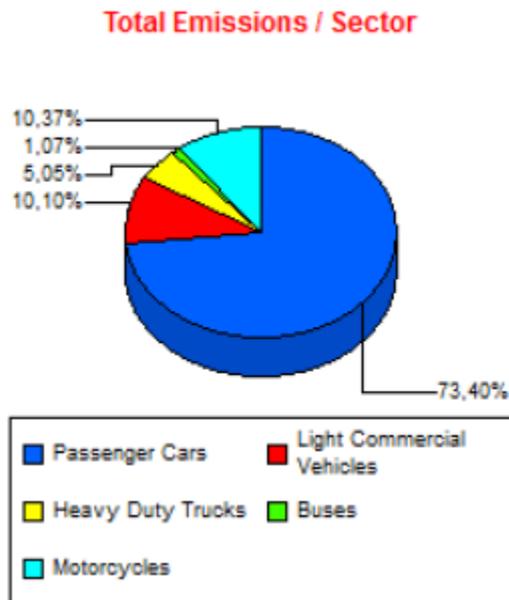


Figura 28 - Partição das emissões totais CH₄ por setor

N₂O – Óxido Nitroso

O óxido nítrico é responsável por uma emissão total de 7,24g/km. De um modo geral todos os grupos de veículos são responsáveis pela emissão deste poluente. Verifica-se que 67,23% destas emissões devem-se aos automóveis ligeiros, seguindo pelos ligeiros de mercadorias com 25,75%. Os pesados de mercadorias são responsáveis por 6,22% das emissões deste poluente.

Parece importante perceber qual a contribuição relativa dos veículos a diesel e gasolina para as emissões totais. A tabela 5 mostra a distribuição das emissões de cada poluente consoante o tipo de combustível.

Tabela 5 - Contribuição relativa dos veículos diesel e gasolina para as emissões totais (g/km)

Emissão consoante o tipo combustível $\beta = 0\%$			
	Veículo a Gasolina [g/km]	Veículos a Diesel [g/km]	Total [g/km]
CO	1960,87	310,00	2270,87
NO ₂	32,62	134,78	167,40
PM ₁₀	9,05	86,03	95,08
COVNM	189,18	54,86	244,04
SO ₂	0,92	1,07	1,99
CO ₂	142817,64	168776,52	311594,16
CH ₄	19,46	4,29	23,75
N ₂ O	3,47	3,77	7,24

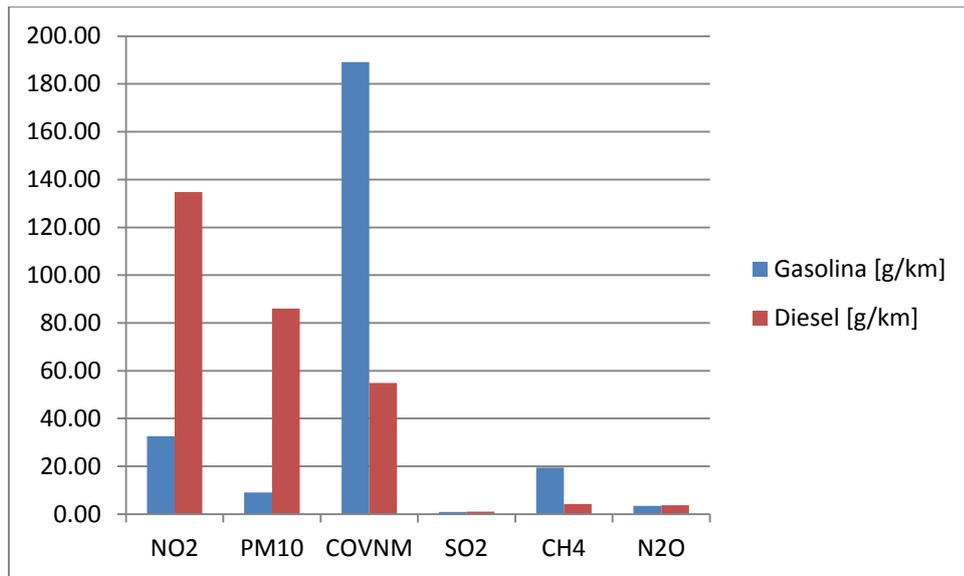


Figura 29 - Emissões de NO₂, PM₁₀, COVNM, SO₂, CH₄ e N₂O

Como podemos verificar pela tabela 5 e figura 29, para os poluentes inicialmente definidos para estudo (CO, NO₂ e PM₁₀), o monóxido de carbono é responsável pela emissão de 2270,87 g/km. No que se refere ao dióxido de azoto e às PM₁₀, existe uma emissão de 160,40 g/km e 95,08 g/km, respetivamente. Em suma, neste caso em estudo, e com todas variáveis antes consideradas para a população automóvel em estudo existe uma emissão de 2270,87 g/km de CO, 167,40 g/km de NO₂ e 95,08 g/km de PM₁₀. Para os restantes poluentes considerados, os COVNM e CO₂, foram os mais emitidos, ultrapassando as emissões do monóxido de carbono. O dióxido de enxofre representa uma emissão total de 1,99g/km distribuído pelos dois tipos de combustíveis, sendo que 0,92g/km devem-se aos veículos movidos a gasolina e 1,07g/km devem-se aos veículos movidos a gasóleo. O metano e o óxido nitroso representam uma emissão total de 23,75g/km e 7,24g/km, respetivamente.

A figura 30 permite-nos verificar a análise anterior em termos percentuais.

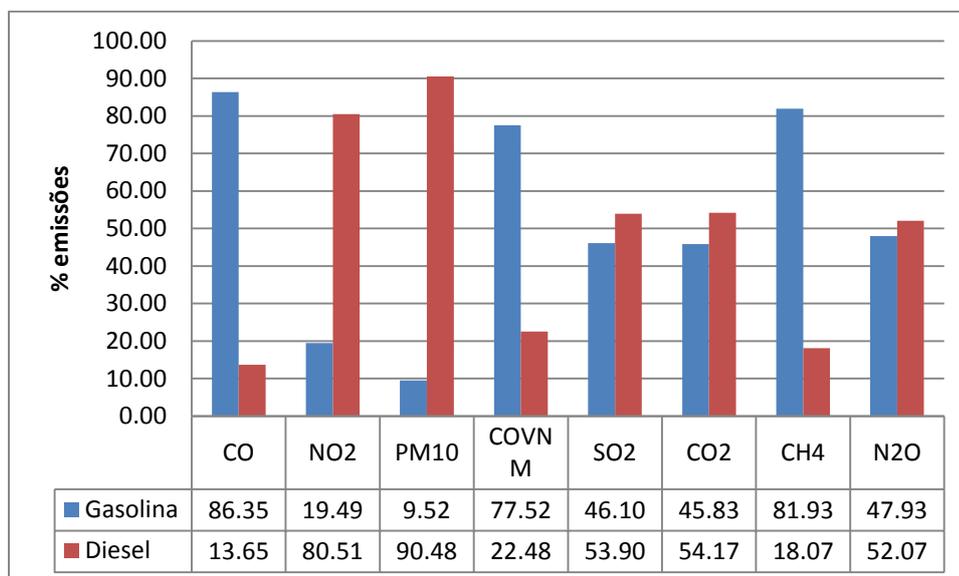


Figura 30 - Contribuição relativa dos veículos a diesel e gasolina para as emissões totais

Esta simulação foi realizada no *copert* tendo em conta que todos os veículos passavam com o motor em perfeitas condições de funcionamento (“a quente”) no percurso em estudo. Contudo, nem sempre são asseguradas as condições ótimas do funcionamento dos motores, e isso poderá acrescentar incertezas ao resultado. Nesse sentido, optou-se por realizar a simulação com a incorporação de veículos a frio, ou seja, automóveis que não estivessem nas condições ótimas de funcionamento. Realizou-se a simulação com a incorporação de 10% de veículos a frio ($\beta=10\%$) e os restantes 90% a quente. Verificou-se que não houve alterações muito significativas nas emissões simuladas pelo *software* relativamente às emissões anteriormente apresentadas.

O *software* calculou a percentagem de veículos a frio, segundo as equações apresentadas na metodologia, para os parâmetros de *input*, nomeadamente um $\beta=36\%$. Desta forma, fez-se nova simulação em que foi incorporado 36% dos veículos com arranque a frio e os restantes 64% nas condições ótimas de funcionamento:

Tabela 6 - Emissão por combustível e poluente com $\beta = 36\%$

Emissão consoante o tipo combustível $\beta = 36\%$				$\beta = 0\%$
	Gasolina [g/km]	Diesel [g/km]	Total [g/km]	Total [g/km]
CO	2324,66	312,42	2637,08	2270,87
NO ₂	32,93	135,94	168,87	167,40
PM ₁₀	9,05	87,80	96,85	95,08
COVNM	199,50	0,12	199,62	244,04
SO ₂	1,02	1,09	2,11	1,99
CO ₂	158640,08	172433,57	331073,65	311594,16
CH ₄	26,98	5,68	32,65	23,75
N ₂ O	2,51	4,34	6,85	7,24

Na tabela 6 é evidente o aumento da emissão de poluentes tendo como base de referência a simulação para $\beta=0\%$. A figura 31 mostra a variação percentual nas emissões de cada poluente, considerando 36% dos veículos (da frota média) a percorrer em condições de arranque a frio.

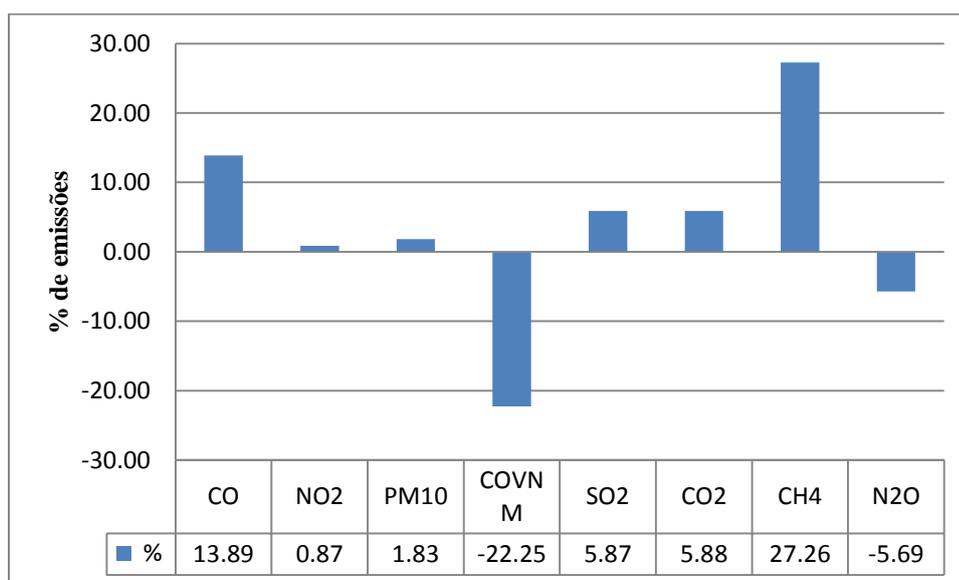


Figura 31 - Variação percentual das emissões de $\beta=0\%$ para $\beta=36\%$

Dos principais poluentes analisados pode-se constatar que o CO sofre um aumento de quase 14%, enquanto que o NO₂ e as PM₁₀ ficam pelos 0,87% e 1,83%, respetivamente. As emissões de dióxido de enxofre e o dióxido de carbono aumentam o quase 6%. O metano lidera o aumento das emissões, (27,26%) comparativamente às emissões a quente ($\beta = 0\%$). Por outro lado, houve poluentes que apresentaram um decréscimo nas suas emissões. Foi o caso dos COVNM e N₂O. Os COVNM tiveram um decréscimo acentuado, rondando os 22%,

Esta redução poderá ser explicada devido às altas temperaturas do motor, em condições ótimas de funcionamento, propiciarem a emissão deste poluente (ou de outra forma, temperaturas de motor mais baixas levam a menores emissões). O N₂O teve apenas um decréscimo de 5,69%. Esta redução é devido às temperaturas serem mais altas e o NO (óxido azoto) é reduzido a N₂ (azoto). Em contrapartida quando as temperaturas são mais baixas o N₂O é formado. Parece importante referir que os veículos a gasolina equipados com catalisador emitem mais este poluente de que aqueles não possuem este equipamento, Rios & Acioli (2010).

Com esta análise verifica-se que a temperatura de funcionamento dos motores influencia de forma significativa nas emissões dos poluentes para atmosfera.

É espectável que se os veículos circularem a uma velocidade mais elevada também irá haver um aumento de emissões, ou vice-versa. Nesse sentido realizou-se simulações com o aumento e decréscimo de 5km/h e 10km/h na velocidade inicialmente assumida.

Fez-se esta análise para os 3 principais poluentes em estudo, o CO, NO₂ e PM₁₀.

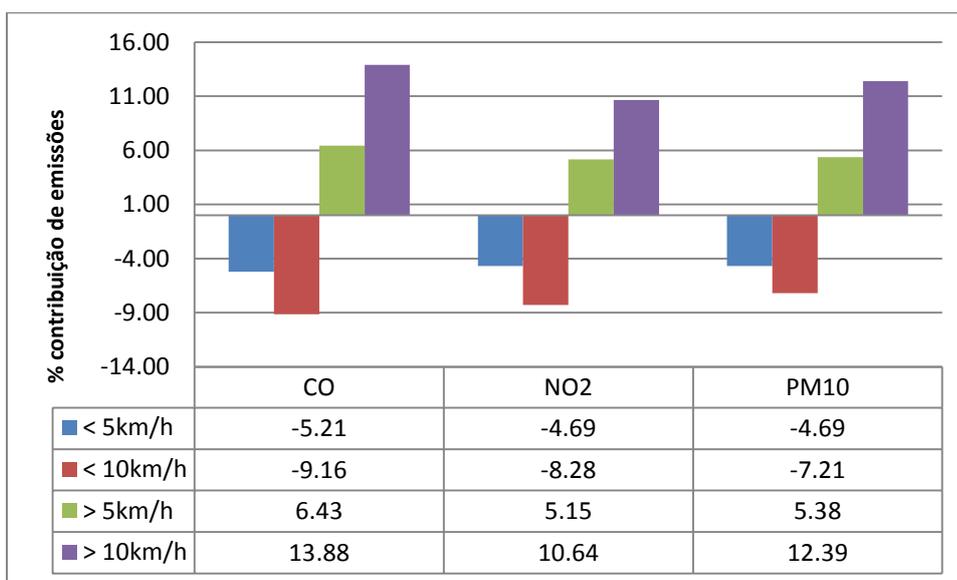


Figura 32 - Variação das emissões em função de incrementos e redução da velocidade média (-10km/h, -5km/h, +5km/h e +10km/h)

Pela análise da figura 32 verifica-se que a velocidade é um fator imperativo para a diminuição ou aumento das emissões totais. Com o incremento de velocidade em 10km/h verifica-se um aumento significativo nas emissões de todos os poluentes, ultrapassando em todos eles os 10%. O mesmo não se verifica com a diminuição da velocidade em 10km/h, ou seja, apesar de haver a mesma alteração a nível de velocidade não existe uma diminuição proporcional relativamente ao aumento de velocidade. Esta relação não proporcional à velocidade entre as emissões de poluentes pode estar relacionado com a eficiência dos veículos em regimes baixos ou altos mas também ao aumento ou à diminuição de atrito provocado pela variação de velocidade originando uma alteração do consumo de combustível que poderá provocar uma emissão inferior ou superior de poluentes.

Para além das incertezas introduzidas pela percentagem de veículos a frio, e pela velocidade média, anteriormente discutidos, há outros fatores que poderão introduzir incertezas nas estimativas das emissões realizadas neste estudo. A frota de veículos considerada poderá não corresponder totalmente à real pois foi efetuada uma contagem visual (por análise da filmagem), com possível erro humano de análise, e a sua estimativa na distribuição de cada tipo de veículo e tecnologia teve por base a frota média portuguesa de 2005 (os dados gratuitos mais recentes disponíveis). Por outro lado, as equações usadas pelo *software* também têm um grau de incerteza associado (por referência do manual *corinair*) (Ntziachristos e Kouridis, 2012).

Para cálculos futuros tendo em conta que a estrada em estudo se trata de uma via com velocidade elevadas e com limites mínimos incutidos pelo seu tipo de utilização, considerou-se que todos os veículos passariam nas com o motor nas suas condições ótimas de funcionamento, optando-se por utilizar resultados das emissões para $\beta=0\%$.

4.1.3. Contribuição das emissões para a Qualidade do Ar na N1

Uma boa qualidade do ar ambiente é crucial para o bem-estar e qualidade de vida do Homem, mas também para a fauna e flora. O setor dos transportes é responsável O setor dos transportes é responsável por grande parte das emissões registadas, liderando uns dos setores que mais emitem poluentes para a atmosfera.

Leiria é uma cidade conhecida por grande desenvolvimento e está dotada de uma boa rede rodoviária, pelo que importa avaliar o seu impacto a nível da qualidade do ar. Será realizado em seguida uma análise da contribuição dos principais poluentes na qualidade do ar nesta cidade provenientes na estrada nacional N1.

4.1.3.1 Resultados da validação do modelo *caline*

Como em qualquer estudo que recorre à modelação, é importante haver uma aferição dos valores modelados através de campanhas experimentais. Para esta validação foram considerados os dados meteorológicos durante o período de registo presentes na tabela 1. O cenário meteorológico para introdução no modelo *Caline* consta na Tabela 7.

Tabela 7 - Condições meteorológicas "standard"

Condições reais	
Altura da camada de mistura	1000 m
Velocidade vento	2,7 m/s
Direção do vento	norte
Classe de estabilidade	2

A altura da camada de mistura foi definida consoante bibliografia encontrada. Segundo Seibert et al.(2000) propôs que a definição de altura de camada de mistura como a altura da camada adjacente ao solo sobre a qual os poluentes ou qualquer outro constituinte emitido dentro dessa camada ou nela penetrado tornando-se dispersados verticalmente por turbulência convectiva ou térmica com uma escala de tempo de aproximadamente de uma hora. Piringer (2005) para o mês em que foi realizado o estudo, encontrou valores médios da altura da camada de mistura foi de 1344 metros, mas no entanto a maior parte das ocorrências verificou-se entre os 600 e 1200 metros. Neste sentido assumiu-se um valor típico de 1000 metros.

Para uma altura de mistura dessa ordem e sendo um dia soalheiro, assumiu-se uma classe de estabilidade 2 (moderadamente instável).

Para a validação deste modelo apenas será tido em conta o valor experimental das PM_{10} , pois não foi possível monitorizar o CO e o NO_2 .

Foram registados valores de PM_{10} a montante e a jusante da via de estudo. A Tabela 8 mostra os valores modelados em cada recetor e os seus valores experimentais:

Tabela 8 - Concentrações PM₁₀ experimentais e estimadas

Recetor	Concentração PM₁₀ Experimental [µg/m³]	Concentração PM₁₀ Caline [µg/m³]
Montante	26	-
Jusante	34	32,49
Jusante Continente	28	26,88

Como seria de esperar constata-se que no recetor situado a jusante da via de estudo houve um aumento das concentrações, seja a nível experimental seja a nível de *software*, o que demonstra a contribuição da via rodoviária para a poluição atmosférica e para a qualidade do ar na zona em estudo. No recetor a jusante continente, em ambos os casos houve uma diminuição das concentrações. Esta redução pode ser explicada pelo recetor se situar a uma distância superior (65 metros) ao outro recetor junto da via de estudo, havendo assim uma maior dispersão do poluente.

No entanto, verifica-se que os valores médios medidos no local foram ligeiramente superiores aos valores estimados pelo *software*.

Para essa diferença podem estar implicadas quer incertezas associadas à metodologia usada e ao equipamento experimental quer associadas ao modelo em si. O equipamento de medição de PM₁₀, como qualquer equipamento, tem associado um determinado erro de medição, que para além da sua calibração já poderá estar inerente ao seu método de medição. O período de medições das concentrações de PM₁₀ foi de 10 minutos em cada local. O fator de emissão usado na modelação das concentrações foi calculado tendo em conta resultados obtidos no *software* de modelação de emissões, o *copert*, usando um período horário (1 hora). Para além disso, há ainda a referir que a contabilização do tráfego e a estimativa da frota poderão não corresponder ao tráfego real na hora de estudo. As velocidades estimadas para calcular as emissões totais poderão não corresponder às reais, bem como as emissões a quente e a frio dos automóveis. Contudo, pela variação de emissões em função dos fatores beta e velocidade média da frota, discutido anteriormente no ponto 4.1.2 constatou-se que a influência nas concentrações é pouco significativa. Outro aspeto é a consideração dos cenários meteorológicos para a estimativa das concentrações dos poluentes que poderão não corresponder totalmente à realidade, nomeadamente a altura da camada de mistura

Os modelos de dispersão e modelação de emissões, devido às fórmulas que suportam, poderão também acrescentar uma incerteza nos resultados, facilitando assim uma propagação de erros. Não obstante, há estudos que mostram que o modelo *caline* tende a subestimar as

concentrações nomeadamente na proximidade de edifícios. Um outro estudo realizado na cidade de São Paulo em 2010 refere que os valores calculados foram menores que os valores medidos (Toledo, 2010). Outro estudo realizado na cidade de Krasnoyarsk, na Sibéria Ocidental, mostra também que os valores simulados tendem a ser subestimados relativamente aos registados no local (Olga *et al*, 2009). Contudo não parece ser uma situação crítica em locais onde o escoamento atmosférico é pouco perturbado, por exemplo pela presença de edifícios, como é o caso deste estudo.

De qualquer forma, fica a constatação de que os valores estimados pelo modelo e os experimentais são relativamente próximos, para o caso das PM_{10} .

4.1.3.2 Concentrações de CO, NO₂ e PM₁₀

Para a primeira simulação, “standard”, foram consideradas as condições do cenário meteorológico utilizado para a validação do modelo, que consta na Tabela 1.

A tabela 9 mostra os resultados obtidos para o caso “standard” e para o caso “worst-case wind direction” para cada um dos poluentes. Para este segundo caso, é apresentada a direção do vento (em graus) e a sua correspondência na rosa-dos-ventos, onde o poluente possui a concentração máxima, bem como a distância do recetor à via de estudo.

Tabela 9 - Concentrações CO, NO₂ e PM₁₀ nos recetores definidos

Nº	Designação	CO [µg/m ³]		NO ₂ [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]		Direção do vento “Wort-case wind direction”		Distância à estrada (m)
		Standard	Wort-case wind direction	Standard	Standard	Wort-case wind direction	Graus	Rosa-dos-ventos	
1	Recetor Montante	10.55	204.02	0.58	0.42	8.12	46	NE	8
2	Recetor Jusante	162.98	240.37	11.19	6.49	9.57	34	NE	10
3	Recetor Jusante Continente	22.28	26.97	1.54	0.88	1.06	23	NNE	50
4	Recetor ESTG	24.62	24.62	1.54	0.42	0.42	15	NNE	120
5	Recetor AKI	4.69	10.55	0	0.35	0.61	198	S	160
6	Recetor retunda Ford	2.35	15.24	0.39	0.11	0.59	233	SW	135
7	Recetor City	0	9.38	0	0	0.36	34	NE	280
8	Recetor Estádio	2.35	23.45	1.35	0.91	0.93	17	NNE	65
9	Recetor Nova Leiria	4.69	5.86	0.39	0.18	0.21	212	SSW	370
10	Recetor Frente Nova Leiria	0	19.93	0	0	0.8	63	ENE	110
11	Recetor IC2	37.52	38.69	2.70	1.48	1.56	261	W	45
12	Recetor IC2 II	19.93	23.45	1.54	0.82	0.96	48	NE	61
13	Recetor IC2 III	0	18.76	0	0	0.75	225	SW	90
14	Recetor IC2 IV	21.11	26.97	1.54	0.83	1.06	278	W	48
15	Recetor IC2 V	0	21.11	0	0	0.85	94	E	70
16	Recetor Zona Industrial	0	21.11	0	0	0.86	244	WSW	88
17	Recetor Ferrus	15.24	23.45	1.16	0.62	0.93	270	W	60

As correspondências das siglas da rosa-dos-ventos são as seguintes presentes na seguinte figura:

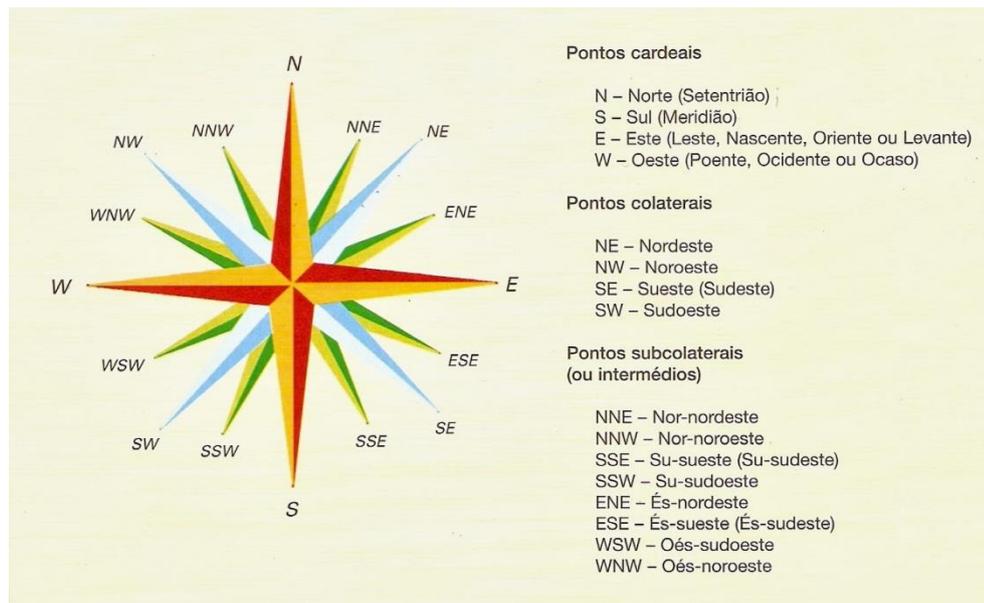


Figura 33 - Rosa-dos-ventos (Trekking, 2013)

Pela análise da tabela 9 verifica-se que alguns recetores no caso “*standard*” registam concentrações muito próximo de zero ou inclusive até zero, como é o caso por exemplo, no recetor “*city*”, em todos os poluentes. Estas concentrações zero podem ser explicadas pelo facto de os recetores estarem a montante da estrada, pois a direção do vento é Norte.

No decreto-lei 102/2010 de 23 setembro estão disponíveis os limites legais de emissão para estes poluentes.

A tabela 10 expressa os valores limite em vigor para as concentrações de monóxido de carbono em Portugal, no ar exterior, no que respeita à proteção da saúde humana.

Tabela 10 - Limite legal de concentração de CO no ar ambiente segundo o Decreto-lei n.º 102/2010 de 23/09

Período de referência	Designação	Valor Legislado (mg/m ³)
8horas	Valor limite legal	10 (é usado para indicador o valor máximo diário das médias móveis de 8horas)

O limite legal em vigor de NO₂ segundo a legislação portuguesa está expresso na tabela número 11.

Tabela 11 - Limite legal de concentração de NO₂ segundo Decreto-lei n.º 102/2010 de 23/09

Período de referência	Designação	Valor Legislado (µg/m³)
horário	Valor limite legal	200 (não ultrapassar mais que 18 vezes num ano – é considerado para avaliação o indicador 19º máximo horário)
Anual	Valor limite legal	40 (é avaliado usando o indicador média anual)

Na tabela 12 está registado o limite de concentração legal para as PM₁₀.

Tabela 12 - Limite legal de concentração de PM₁₀ segundo Decreto-lei n.º 102/2010 de 23/09

Período de referência	Designação	Valor Legislado (mg/m³)
Diário	Valor limite legal	50 (não ultrapassar mais que 35 vezes num ano – é considerado para avaliação o indicador 36º máximo horário)
Anual	Valor limite legal	40 (é avaliado usando o indicador média anual)

As concentrações de monóxido de carbono para o caso “*standard*” da simulação obtida ficam bastante longe de ultrapassar o limite legal 10 000 µg/m³. O valor mais alto verificado foi no recetor jusante com 162,98 µg/m³. Mesmo na direção de vento crítico simulado o valor limite legal não é ultrapassado, onde o resultado máximo na contribuição de emissão é de 240,37 µg/m³ no recetor localizado no parque do continente. A distância do recetor à estrada também é um fator que influencia a concentração do poluente em cada um, isto é, quanto maior a proximidade do recetor à via de estudo maior deverá ser a concentração estimada pois a dispersão do poluente é inferior. Analisando a tabela 9 a contribuição deste

poluente não representa um fator responsável pela diminuição e degradação da qualidade do ar na área em estudo não ultrapassado em nenhum recetor os valores limite.

À semelhança do poluente anterior a contribuição do NO_2 não ultrapassa nenhuma vez o valor limite diário legislado de $200\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que o maior valor se regista no recetor a jusante com $11,19\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por fim, as partículas em suspensão, nomeadamente as PM_{10} , as concentrações médias diárias previstas para as condições em estudo pelo *caline* foram sempre inferiores ou iguais a $6,49\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que para a simulação do caso crítico não ultrapassou $9,57\mu\text{g}/\text{m}^3$. Embora os valores sejam relativamente baixos, quando comparados com o valor limite de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, podem contribuir para alterar a classe do índice da qualidade do ar em conjunto com a concentração de fundo (regional e local).

Contudo, parece importante esclarecer que apenas se está a avaliar o impacto da estrada N1 nos recetores escolhidos, e que as concentrações num determinado local é superior pois resulta do somatório da concentração de fundo regional (que pode ser obtida na estação rural de fundo da Ervideira) com a concentração de fundo local e concentração provenientes das emissões locais (estrada N1).

Com o intuito de saber se as contribuições da N1 simuladas no caso “*standard*” são significativas foi feita uma comparação com a única estação de monitorização de poluentes disponível (estação da Ervedeira, rural de fundo). Esta estação faz a monitorização de vários poluentes, entre eles dois dos poluentes em estudo, o dióxido de azoto e as PM_{10} . Infelizmente não faz monitorização da concentração do monóxido de carbono pelo que não será considerado nesta análise.

Encontra-se localizada na freguesia do Coimbrão pertencente ao conselho de Leiria. O tipo de ambiente que está situada é rural regional e têm uma influência de fundo, ou seja trata-se de uma estação rural de fundo. Está a operar desde 2003-01-01 pela instituição da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, QualAr (2014b).

Na figura 34 está ilustrada essa estação da Ervideira.



Figura 34 - Estação de monitorização da Ervideira QualAr (2014b).

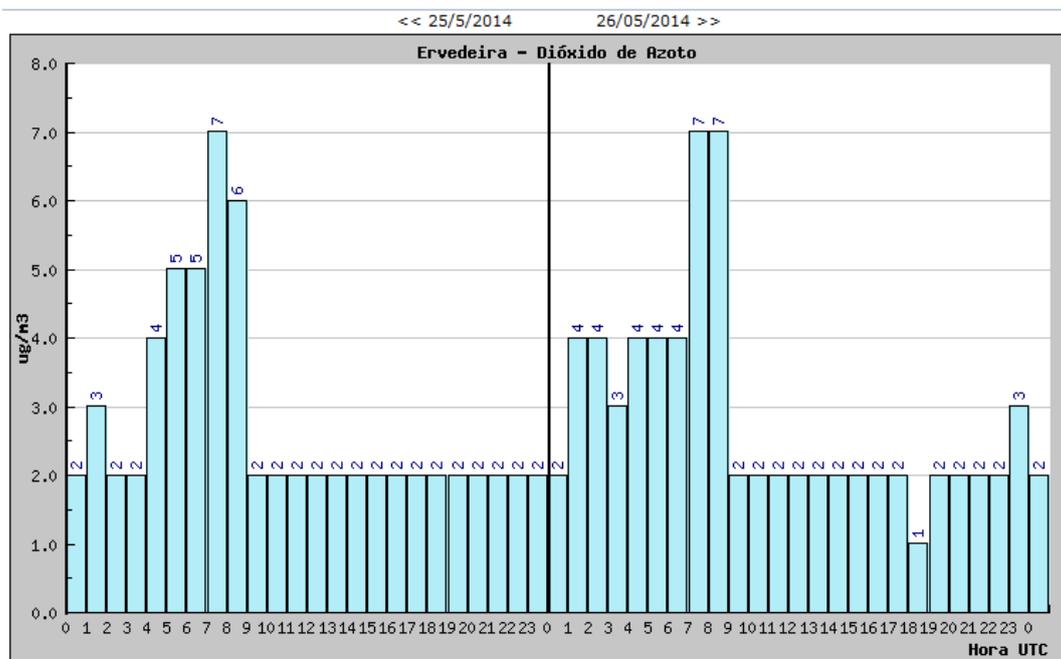


Figura 35 - Concentração NO₂ Estação Ervideira, QualAr (2014c).

Pela figura 35 anterior que foi monitorizada pela estação da Ervideira constata-se que o máximo no dia de registo dos dados para estudo foi de 7ug/m³ para NO₂. Na hora de registo, pelas 14h a concentração registada pela estação foi de 2ug/m³. A simulação obtida no *software caline* foi inferior na maioria dos recetores, à exceção do recetor a jusante e no recetor IC2 que registaram concentrações de 11,19μg/m³ e 2,70 μg/m³, respetivamente. Os valores registados, por exemplo, no recetor IC2 são idênticos aos da estação.

A estação de monitorização também realiza o registo das PM_{10} , o qual está ilustrado na figura 36, referente ao registo do dia 26 de maio de 2014.

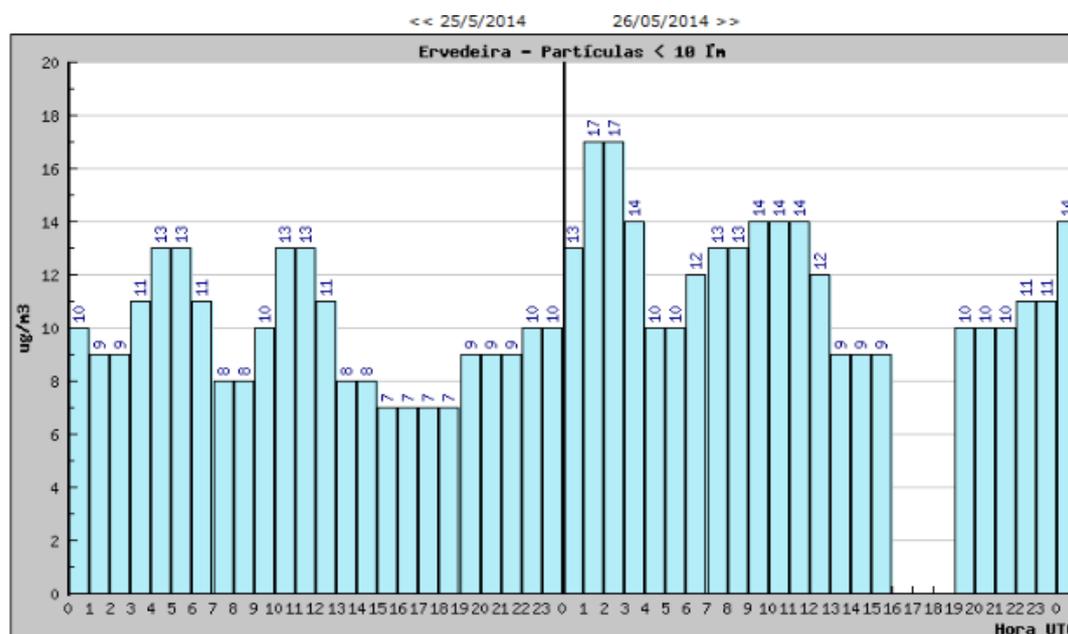


Figura 36 - Concentração PM_{10} Estação Ervideira, QualAr (2014c).

O valor máximo da concentração na estação de PM_{10} foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na hora dos ensaios a estação registou valores de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O *software caline* simulou a montante valores substancialmente mais baixos, à exceção do recetor jusante que registou o valor de $6,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para o caso “*worst-case wind direction*” os recetores mais próximos da via de estudo, como o jusante montante, aproximam-se dos valores registados pela estação de fundo.

Os valores das concentrações estimados nos diversos recetores não são valores significativos. O recetor que registou uma maior concentração foi o situado a jusante da estrada com uma concentração de $6,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não sendo um valor muito significativo para o agravamento da qualidade do ar junto do recetor.

É importante realizar simulações para outros cenários possíveis para que se possa ter uma noção da influência das condições de entrada no *software* nos resultados finais, nomeadamente as condições que mais influenciam a dispersão de poluentes. A simulação anterior considerou um período diurno onde existia instabilidade atmosférica. De seguida vai-se discutir os resultados para um cenário bastante crítico, de estabilidade atmosférica, que pode ser típico de início da noite/noite ou pré-início da manhã, quando a altura de mistura da

atmosfera é bastante baixa (segundo Steeneveld, *et al.* (2004) este valor anda na ordem dos 100 m para a altura de mistura e uma velocidade de vento, baixa, de 0,5m/s). Nestes períodos de início de noite/noite e pré-início da manhã são verificados volumes de tráfego rodoviário muito significativos (Ver Figura 37). Assim, o cenário vai assumir as emissões da condição “*standard*”, para 2105 veículos.

Na tabela 13 anterior está representado o cenário crítico para o período noturno proporcionando uma atmosfera estável.

Tabela 13 - Dados de entrada para representação do período crítico noturno

Cenário "noturno"	
Temperatura	10 °
Altura da camada de mistura	100 m
Velocidade vento	0,5 m/s
Direção do vento	norte
Classe de estabilidade	6

Com este novo cenário para período noturno as concentrações verificadas em cada um dos recetores tiveram um aumento significativo. Uma maior estabilidade atmosférica e um vento com velocidades inferiores contribuíram para este incremento de concentrações simulados nos recetores pois estas condições não favorecem a dispersão dos poluentes.

Na tabela 14 estão nítidos esses aumentos em cada um dos recetores. Por exemplo, para as PM₁₀ no recetor a jusante, comparativamente ao estudo anterior, teve um aumento de 313%.

Tabela 14 - Concentrações de CO, NO₂ e PM₁₀ para o Cenário “noturno”

Nº	Designação	CO [ug/m ³]		NO ₂ [ug/m ³]	PM ₁₀ [ug/m ³]	
		Standard	Wort-case	Standard	Standard	Wort-case
1	Recetor Montante	39.87	696.48	2.12	1.64	28.54
2	Recetor Jusante	488.94	832.50	35.10	20.04	34.08
3	Recetor Jusante Continente	105.53	141.88	8.29	4.31	5.79
4	Recetor ESTG	134.84	134.84	10.41	5.4	5.44
5	Recetor AKI	29.31	69.18	0.14	1.99	3.17
6	Recetor retunda Ford	22.28	79.73	4.44	0.89	3.25
7	Recetor City	1.17	55.11	0	0.05	2.26
8	Recetor Estádio	11.96	119.60	8.87	4.89	4.89
9	Recetor Nova Leiria	28.14	36.35	2.89	1.17	1.48
10	Recetor Frente Nova Leiria	0	113.74	0	0	4.64
11	Recetor IC2	128.98	145.39	10.41	5.29	5.98
12	Recetor IC2 II	82.08	102.01	6.75	3.38	4.17
13	Recetor IC2 III	0	103.18	0	0	4.21
14	Recetor IC2 IV	84.42	114.91	6.94	3.44	4.71
15	Recetor IC2 V	0	106.70	0	0	4.36
16	Recetor Zona Industrial	0	116.08	0	0	4.77
17	Recetor Ferrus	184.09	120.77	5.40	2.72	4.95

No sentido de comparar o impacto de uma situação crítica diurna, realizou-se uma simulação com os dados de entrada da tabela 15, onde se assume uma atmosfera e uma altura de mistura relativamente limitada, de 500m. Foi considerada a mesma frota automóvel de 2015veículos bem como as mesmas emissões do caso “*standard*”.

Tabela 15 - Dados de entrada para representação do período crítico diurno

Cenário "diurno"	
Temperatura	18 °
Altura da camada de mistura	500 m
Velocidade vento	0,5 m/s
Direção do vento	norte
Classe de estabilidade	4

A tabela 16 está presente as concentrações simulação do cenário crítico “diurno”. Novamente existe um aumento significativo das concentrações dos poluentes relativamente ao primeiro estudo realizado.

Tabela 16 - Concentrações de CO, NO₂ e PM₁₀ para o Cenário “diurno”

Nº	Designação	CO [ug/m ³]		NO2 [ug/m ³]	PM10 [ug/m ³]	
		Standard	Wort-case	Standard	Standard	Wort-case
1	Recetor Montante	35.18	709.38	0.96	1.42	28.26
2	Recetor Jusante	403.35	495.98	40.11	19.79	33.57
3	Recetor Jusante Continente	91.46	118.43	8.29	3.64	4.7
4	Recetor ESTG	111.39	112.56	10.41	4.41	4.46
5	Recetor AKI	22.28	51.59	0.23	1.51	2.74
6	Recetor retunda Ford	16.42	70.35	1.74	0.64	2.8
7	Recetor <i>City</i>	1.17252931	42.21	0	0.04	1.67
8	Recetor Estádio	10.44	104.36	9.45	4.18	4.18
9	Recetor Nova Leiria	21.11	23.45	1.93	0.87	0.95
10	Recetor Frente Nova Leiria	0	93.80	0	0	3.74
11	Recetor IC2	125.46	141.88	10.41	5.01	5.66
12	Recetor IC2 II	77.39	94.97	6.36	3.07	3.77
13	Recetor IC2 III	0	84.42	0	0	3.34
14	Recetor IC2 IV	78.56	107.87	6.56	3.14	4.31
15	Recetor IC2 V	0	98.49	0	0	3.95
16	Recetor Zona Industrial	0	99.66	0	0	3.99
17	Recetor Ferrus	60.97	110.22	5.01	2.42	4.37

Em comparação com caso crítico anterior constata-se que com o aumento da altura da camada de mistura e com a atmosfera neutra provocando uma maior dispersão dos poluentes e consequentemente uma ligeira redução das concentrações do poluentes.

Com a simulação destes dois cenários críticos anteriores, a contribuição das concentrações provenientes da N1 não são significativas para a qualidade do ar estimada ao longo dos recetores, seja no caso “*standard*” ou no caso “*wort case – wind direction*”. No entanto, em dias em que as concentrações de fundo na cidade já forem elevadas, estas contribuições da N1 poderão ajudar a ultrapassar o limite legislado em alguns recetores, especialmente naqueles que se situam mais próximos da estrada ou de outra forma contribuir para agravar o índice da qualidade do ar.

Paras as várias simulações foi considerado sempre a mesma população média de automóveis. Considerando qualquer cenário meteorológico anterior, com o aumento da população automóvel as concentrações finais alterariam, ou seja, um aumento do volume de tráfego irá aumentar as concentrações dos poluentes nos recetores, uma diminuição do volume de tráfego resultará na diminuição das concentrações dos poluentes nos respetivos

recetores. Assim, parece importante estimar a evolução das concentrações ao longo do dia, com base em dados registados ao longo do dia de registo (26 de maio de 2014).

A figura 37 mostra a evolução do tráfego ao longo do dia e os respetivos intervalos horários, contemplando o tráfego total de cada período horário registado.

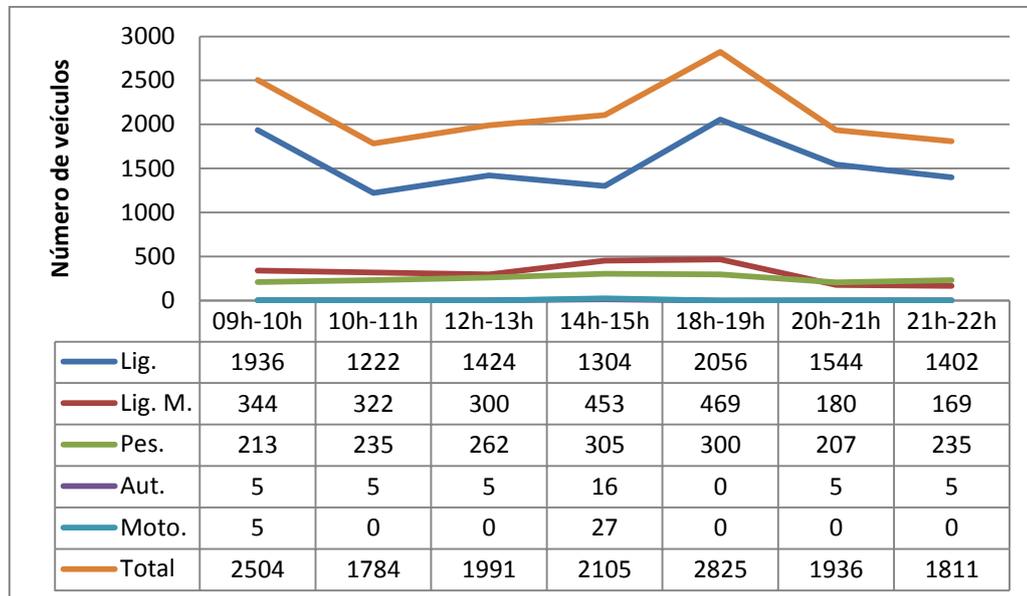


Figura 37 - Evolução do tráfego rodoviário ao longo do dia

O pico de volume de tráfego verificou-se entre as 18h as 19h. Por outro lado, com horas noturnas o volume de tráfego tende a diminuir, apesar de não ter havido registos nesse sentido.

No *caline* realizou-se a simulação com o cenário meteorológico presente na tabela 7, intitulado por condições meteorológicas “*standard*”. A figura 38 seguinte mostra a evolução diária das concentrações de CO.

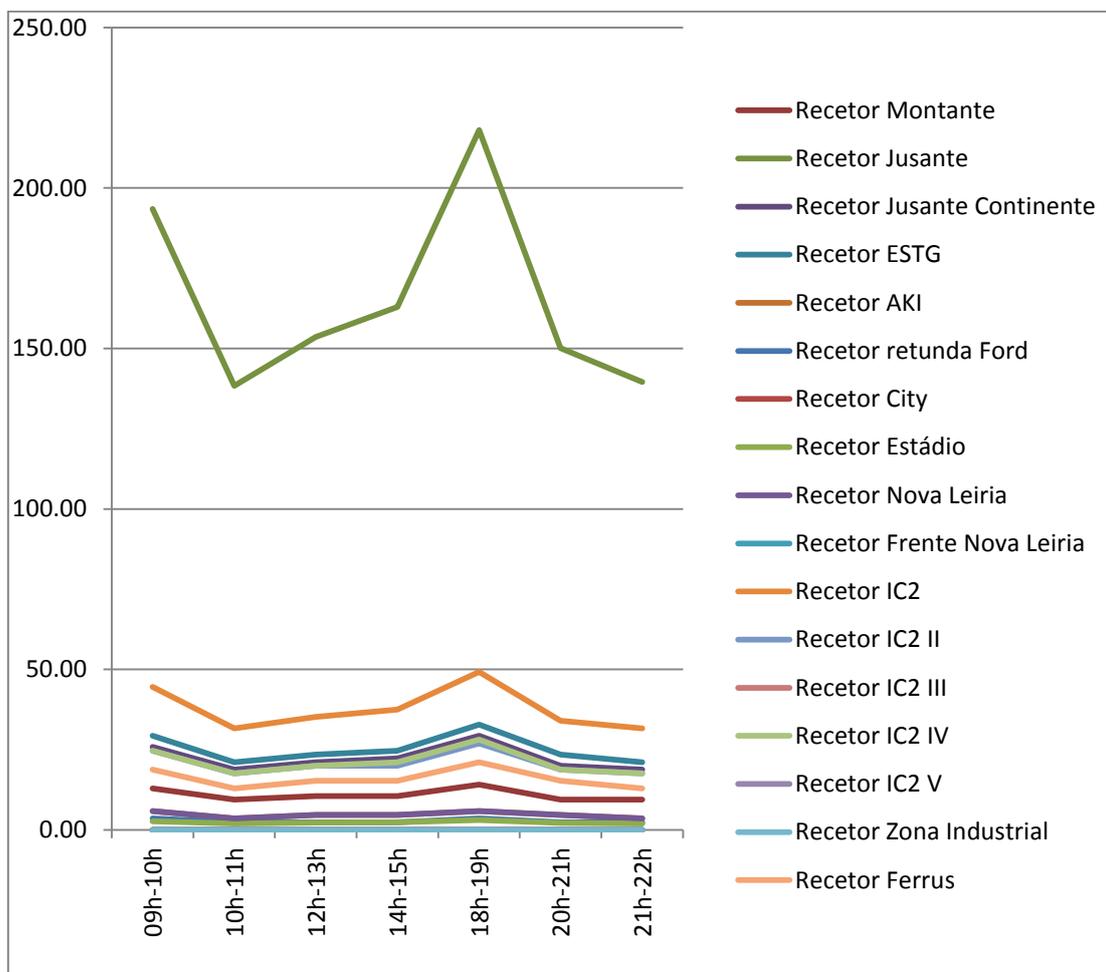


Figura 38- Evolução diária da concentração de CO

Era expectável que nos horários onde existisse mais tráfego se constatasse emissões mais elevadas. Por outro lado, a emissão discrepante do recetor a jusante relativamente a outros prende-se com o fato de este estar próximo da via de estudo. O pico onde existem mais emissões é ao fim do dia, no período horário das 18h às 19h.

Com estas análises realizadas ao longo deste trabalho é possível verificar que:

- A instabilidade atmosférica favorece a dispersão reduzindo as concentrações e por sua vez a estabilidade atmosférica gera a situação contrária;
- O aumento da velocidade do vento propicia a dispersão e a inerente redução das concentrações;
- Quanto mais baixa for a altura da camada de mistura maiores serão as estimativas das concentrações.

5. Conclusões

O setor dos transportes continuam a ser uma das principais fontes de poluentes atmosféricos prejudicando a qualidade de vida do Homem, degradando a qualidade do ar ambiente que traz consequências graves num curto espaço de tempo. Contudo, apesar de ao longo do tempo terem sido implementadas medidas para a redução de emissão de poluentes na atmosfera, o crescimento a nível mundial sentido nas últimas décadas, a necessidade de novas infraestruturas rodoviárias e o aumento da frota de veículos em circulação tem dificultado a redução de emissões neste setor com o objetivo de permitir uma qualidade do ar ambiente agradável às populações.

O principal objetivo deste trabalho consistiu na quantificação das emissões e concentrações provenientes do tráfego rodoviário na nacional N1 e o tratamento dos dados obtidos para a sua aplicação num modelo de qualidade do ar. O *software copert* permitiu calcular os fatores de emissão (FE) com base nas emissões dos poluentes analisados. Os FE foram obtidos com recurso a dados provenientes de contagem de tráfego, com base em diversos fatores que foram considerados ao longo das simulações realizadas, contudo esta análise poderá ter algumas limitações devido ao facto de se assumirem fatores de emissão com base numa velocidade média que poderá ter origem em padrões de condução distintos, o que poderá naturalmente levar a uma alteração do mesmo.

A aplicação do modelo de emissões exigiu inicialmente a aquisição de um vasto conjunto de informações que retrata-se os dados do tráfego rodoviário na área de estudo. É importante perceber que estes dados nem sempre são de fácil acesso, atualizados e não estão na forma ideal para a introdução modelo. São necessários vários passos intermédios para se conseguir quantificar as características da frota de automóveis, que se irão refletir na incerteza dos resultados finais. Infelizmente não haviam dados disponíveis do tráfego rodoviário na área de estudo e o registo do tráfego rodoviário foi realizado visualmente que só por si acresce alguma incerteza. Outro ponto crucial que incute incertezas é a caracterização da frota automóvel segundo o tipo de tecnologia utilizada e o seu ano de fabrico. Neste passo, a desagregação da informação relativa à caracterização da frota de automóveis nem sempre foi

a mais atualizada, tendo sido utilizado dados estatísticos disponíveis na *Corinair*, obtidos no site da *EMISIA*.

O *software* utilizado para o estudo da modelação da dispersão dos poluentes, o *caline*, permitiu a determinação das concentrações locais nos recetores ao longo do percurso de estudo. Para a validação deste modelo de dispersão foram feitas campanhas de registo de concentrações dos poluentes, que por indisponibilidade de equipamentos apenas foram consideradas as concentrações de PM_{10} . No sentido de avaliar as concentrações em diversas condições atmosféricas, foram criados 3 cenários possíveis. O primeiro cenário considerava as condições meteorológicas aquando foram registados os dados da frota de veículos e de concentração de poluentes para validação do modelo de dispersão, denominado por cenário “*standard*”. Os outros dois cenários, previam outras condições atmosféricas de maior estabilidade, denominados por cenário crítico diurno e caso crítico noturno.

A aplicação do *software copert* permitiu-nos obter a emissão por quilómetro ao longo da área de estudo que resultou na estimativa das emissões para os poluentes CO, NO_2 e PM_{10} . Verificou-se que a maior emissão destes poluentes em estudo provinha dos veículos ligeiros de passageiro visto a estes serem o tipo de população automóvel que mais circula na nacional N1.

No geral, no período de estudo considerado, o poluente que é emitido em maior quantidade para atmosfera, segundo a simulação obtida do *copert* é o monóxido de carbono com cerca de 2270g/km, seguindo pelo dióxido de azoto com 167,05g/km. Por último, na zona espacial considerada, as PM_{10} foi o poluente menos emitido para a atmosfera com 95,08g/km, considerando os 3 poluentes principais modelados.

Com o *software caline* foi possível obter as concentrações na atmosfera na área em estudo nos diversos recetores permitindo assim avaliar a contribuição da N1 para qualidade do ar na via em estudo e o seu impacte na qualidade do ar em Leiria. É importante referir que esta análise se trata de uma previsão de concentrações estando por isso o grau de erro associado, por exemplo à frota de automóveis e suas categorias.

No cenário “*standard*” o poluente que obteve mais concentração nos diversos recetores foi o monóxido de carbono. A destacar temos o recetor que se situou a jusante do ponto de amostragem considerando a direção do vento registada no local de estudo simulou uma concentração de 162,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No caso do “*worst case - wind direction*” determinado pelo *software*, neste recetor em específico houve também um aumento acentuado, verificando-se uma concentração de 240,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No entanto os restantes recetores têm concentrações bastante inferiores. Neste caso em concreto o aumento do valor no recetor a

jusante deveu-se à estimativa da direção do vento que favorecia as concentrações mais elevadas neste ponto. Também no caso “*standard*” o dióxido de azoto resultou em concentrações baixas, os recetores que registaram mais foi o a montante com $0,58\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o recetor a jusante com $11,19\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por último, e único poluente com concentrações experimentais, as PM_{10} , as concentrações simuladas foram de $0,42\mu\text{g}/\text{m}^3$ a montante e $6,49\mu\text{g}/\text{m}^3$, considerando o caso “*standard*”. Os cenários críticos noturno e diurno mostraram que as concentrações dos poluentes aumentam quando a existe uma maior estabilidade atmosférica inibindo a dispersão dos poluentes e diminuem quando existe uma maior instabilidade atmosférica favorecendo a dispersão dos poluentes. As simulações mostraram isso mesmo, o cenário que registou maiores concentrações dos poluentes estudados foi o cenário crítico noturno.

Os dados simulados das concentrações PM_{10} de uma maneira geral foram ao encontro dos dados experimentais, pelo que se pode dizer que, com alguma incerteza associada, o *software* simulou o pretendido. Parece importante referir que apenas foi avaliada a influência das emissões dos 2105 veículos que passaram na N1 no dia de registo para a concentração nos recetores. A distância dos recetores à estrada também influencia a concentração estimada nos diversos recetores ao longo da via de estudo.

Este trabalho permitiu-nos caracterizar a qualidade do ar em Leiria tendo em conta o impacto da circulação rodoviária na nacional N1. Pode se afirmar que na modelação efetuada não se registou, a ultrapassagem dos valores limite legais considerados pelo decreto-lei nº102/2010 de 23 de Setembro. Contudo é importante referir que apenas foi avaliada a contribuição simuladas nos recetores ao longo da N1, que apesar de baixas, em algumas circunstâncias podem contribuir para que sejam ultrapassados valores limites quando a concentração de fundo na atmosfera for elevada. Por outras palavras, estas contribuições poderão ser consideráveis ou significativas para alterar significativamente a qualidade do ar nos recetores estudados em leiria quando for somada à concentração de fundo regional, que poderá ser obtida pela estação da Ervedeira mais a concentração local. Há poluentes que em dias de emissões consideráveis poderão contribuir para uma concentração de fundo elevada, como é o caso das PM_{10} e pontualmente NO_2 , que quando adicionadas às concentrações simuladas nos recetores nos cenários críticos (diurno e noturno) poderão exceder os valores limites algumas vezes. No caso do CO , é difícil haver uma concentração de fundo elevado pois este poluente dificilmente costuma alcançar valores limite.

Atendendo às possíveis fontes de incerteza dos dados disponíveis, no geral com toda a informação recolhida no local de estudo e com os resultados das simulações recorrendo aos

softwares copert e caline é possível dizer que as contribuições das emissões e concentrações da N1 para a qualidade do ar nos retiros são pouco significativas.

Ainda assim, a modelação de emissões é caracterizada por uma tarefa delicada essencialmente na aquisição de dados de entrada para o modelo, pois estes dificultam todo o estudo e limitam a incerteza associada. É importante dizer que para uma maior eliminação de incerteza associada e credibilização dos resultados no estudo, teria que haver outra logística disponível neste sentido, como por exemplo existência de contadores de tráfego nas vias. Com o objetivo de caracterizar de forma mais completa o parque automóvel seria importante recolher dados estatísticos, como a idade ou cilindrada.

Com a melhoria contínua de informação disponível para *input* nos modelos de cálculo de emissões viria a consolidar os resultados obtidos, diminuindo as incertezas nas estimativas de emissões.

A modelação de emissões é um estudo que requer a interligação de várias ferramentas e exige a sua melhoria contínua, desde os modelos de transporte à informação estatística disponível. Nesse sentido é importante que toda a informação disponível possua o mínimo de incerteza associada, credibilizando os resultados obtidos, com o objetivo de permitir adotar metodologias e decisões políticas que se verifiquem eficazes e eficientes no combate à poluição atmosférica.

6. Referências

- AEA (2013a). Poluição proveniente do tráfego continua a prejudicar a saúde em muitas partes da Europa. Agência Europeia do Ambiente. Consultado em Novembro de 2013. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/pt/pressroom/newsreleases/poluicao-proveniente-do-trafego-continua>;
- AEA (2013b). Transportes. Agência Europeia do Ambiente. Consultado em Novembro de 2013. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/transport/intro>;
- AEA (2014). Emissões do transporte rodoviário. Agência Europeia do Ambiente. Consultado em Outubro de 2014. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/highlights/most-carmakers-must-further-improve/key-message/emissoes-do-transporte-rodoviario>;
- APA (2010). Procedimentos regionais de informação e alerta no ambiente da qualidade do ar. Agência Portuguesa do Ambiente;
- APA (2013). Relatório do Estado do Ambiente, 2013. Agência Portuguesa do Ambiente;
- APA (2014). Efeitos dos poluentes. Agência Portuguesa do Ambiente. Consultado a Janeiro de 2014. Disponível em <http://qualar.apambiente.pt/INDEX.PHP?page=5&subpage=8>;
- Braga, B., Hespanhol, I. & Conejo, G.L. (2005). Introdução à Engenharia Ambiental (2ª ed.). São Paulo. Person Prentice;
- Benson, P., (1989). CALINE4 – A Dispersion Model for Predicting Air Pollution Concentrations Near Roadways. California Department of Transportation, Sacramento, California;
- Boubel R, Fox D, Turner D & Stern A (1994) – *Fundamentals of Air Pollution*(3rd). Academic Press;
- Buhr, F, (2010). Análise Sazonal da Dispersão de Odores de Uma Estação de Tratamento de Efluentes em Portugal. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;
- CCE (2009). Um futuro sustentável para os transportes: rumo a um sistema integrado, baseado na tecnologia e de fácil utilização. Comissão Europeia;
- CEC (2005). Directive of European Parliament and of the Council on ambiente air quality and cleaner air for Europe, Comission of the European Communities;
- CERC (2014). ADMS – Roads, Cambridge Environmental Research Consultants. Consultado a Janeiro de 2015. Disponível em <http://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Roads-model.html>;

- Decreto-lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro. Diário da República n.º 186, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente;
- E (2013). Redução das emissões poluentes dos veículos. Sínteses da Legislação da EU. Consultado em Novembro de 2013. Disponível em http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/128186_pt.htm;
- Ecoguia (2014). Poluição do Ar. Consultado a Janeiro de 2014. Disponível em <http://ecoguia.cm-mirandela.pt/index.php?oid=88>;
- EEA (2011). Group 7: Road Transport. European Environment Agency. Consultado a Novembro de 2014. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5/page016.html>;
- EEA (2011). COPERT 4 – Estimating emissions from road transport. European Environmental Agency. Consultado a Janeiro de 2015. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/copert-4-2014-estimating-emissions>;
- EEA (2013). EMEP/EEA air Pollutant emission inventory guidebook. European Environment Agency. Consultado a Outubro de 2014. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>;
- EEA (2014). Air Quality in Europe, European Environment Agency;
- EEA Report (No 10/2012). “TERM 2012: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe”. European Environment Agency.
- EME (2013). Countries data. Emisia Mission for Environment. Consultado em Outubro de 2014. Disponível em <http://www.emisia.com/content/copert-data>;
- EPA (2009). Emissions Factors. Environmental Protection Agency. Consultado a Outubro de 2014. Disponível em <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>;
- GOMES J. (2001): Poluição Atmosférica, um manual universitário; Publindústria;
- Gorden S. I.(1985) – *Computer Models in Environmental Planing*, New York, 4, pp.78-89, 985;
- Hoek, G. (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet*, 360:1203-1209;
- IMTT (2013). Estatísticas dos Transportes e Comunicações. Instituto Nacional de Estatística. Instituto da Mobilidade e dos transportes;
- IMTT (2012). Estatísticas dos Transportes e Comunicações. Instituto Nacional de Estatística. Instituto da Mobilidade e dos transportes;
- Kiely G. (1997). *Environmental Engineering*, McGraw-Hill Internacional, UK;

- Kunzli, M.D. *et al.* (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356:795-801;
- LAMEIRAS, H. & PÓVOAS, F (2003). Qualidade do ar: proteger a saúde humana. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro/DSMA;
- L. Ntziachristos and Z. Samaras (2009). “EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009- road transport”;
- LK (2014). AUSTAL. Lakes Environmental. Consultado a Janeiro de 2015. Disponível em <http://www.weblakes.com/products/austal/index.html>;
- Mahoney J.R.(1974) – “Meteorological Aspects of Air Pollution”. *In Industrial Pollution*, 15, pp. 409-455;
- Moraes, M., (2001). Implementação de um Sistema de Modelos para a Qualidade do Ar. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Santa Catarina;
- NAEI (2014). Emission factors for transport. National Atmospheric Emissions Inventory. Consultado a Setembro de 2014. Disponível em <http://naei.defra.gov.uk/data/ef-transport>;
- Ntziachristos, L., Kouridis, C.(2012). ECMACS – European Consortium for Modelling of Air Pollution and Climate Strategies, Aristotle University Thessaloniki, 2012;
- Olga, V. *et al.*,(2009). “Air pollution dispersion within urban street canyon”, *Atmospheric Environment*, vol. 43, pp. 245-252, January 2009;
- PAE (2014). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2012. Amadora. Portuguese Environmental Agency;
- Piringer, M., Joffre, S.,(2005). The urban surface energy budget and mixing height in European cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality, Demetra Ltd Publishers;
- Provia (2010). IC 31 Castelo Branco/ Monfortinho – Estudo de impacte ambiental. Consultado a outubro de 2014. Disponível em https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779576722734/IC31_Anexo_6.7.2.pdf ;
- QualAr (2014a). Agência Portuguesa do Ambiente. Consultado a Dezembro de 2014. Disponível em <http://qualar.apambiente.pt/INDEX.PHP?page=4&subpage=3&estacao=2019>;
- QualAr (2014b). Estação Ervedeira. Agência portuguesa do ambiente. Consultado a Dezembro de 2014. Disponível em <http://qualar.apambiente.pt/INDEX.PHP?page=4&subpage=3&estacao=2019>;
- QualAr (2014c). Medições, Dados. Agência portuguesa do ambiente. Consultado a Dezembro de 2014. Disponível em <http://qualar.apambiente.pt/index.php?page=2>;
- Rios, A. & Acioli, V. (2010). Análise da emissão de poluentes dos veículos flexíveis no período de transição de combustíveis. Faculdade de Tecnologia Fatec Santo André, Santo André – São Paulo;
- SEIBERT, P. *et al* (2000). Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. *Atmospheric Environment*, v. 34, p. 1001-1027;

- Seinfeld, J.H.(1986). Atmospheric Chemistry and Physics os Air Pollution. Nova Iorque, EUA. John Willey & Sons;
- Steenefeld, G. J. *et al.* (2004). Modeling the Evolution of the Atmospheric Boundary Layer Coupled to the Land Surface for Three Contrasting Nights in CASES-99. *Journal of the Atmospheric Sciences*. V 63. pp. 920-935;
- Toledo, G.,(2010). “Avaliação da exposição da população à poluição relacionada ao tráfego no município de São Paulo”, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Trebs, I. *et al* (2009). Relationship between the NO₂ photolysis frequency and the solar global irradiance. *Atmospheric Measurement Techniques*. v. 2, p. 725-739;
- Trekking, C. (2013). Manual de Navegação. Consultado em Janeiro de 2015. Disponível em <http://www.chicotrekking.com.br/2013/08/navegacao-manual-conhecendo-bussola.html>;
- USEPA (2014). Moves, United States Environmental Protection Agency. Consultado a Janeiro de 2015. Disponível em <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/>;
- UARE (2014). Overview of LEZs. Urban Access Regulations in Europe. Consultado em Janeiro de 2015. Disponível em <http://urbanaccessregulations.eu/overview-of-lezs>;
- WBCSD (2014). Mobility for Development. World Business Council for Sustainable Development. Consultado a Setembro de 2014. Disponível em <http://www.wbcd.org/pages/edocument/edocumentdetails.aspx?id=45>;

7. Anexos

7.1. Anexo I – Caracterização da frota de automóveis

Tabela 17 - Frota de veículos

Sector	Subsector	Technology	Ano 2005	% Categoria (setor)	Frota de Veículos no Local de Estudo
			Frota Portugal		
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PRE ECE	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/00-01	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/02	1473	0.04	1
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/03	62345	1.69	22
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/04	486927	13.17	172
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	Improved Conventional	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	Open Loop	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro I - 91/441/EEC	394931	10.69	139
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro II - 94/12/EEC	443517	12.00	156
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro III - 98/69/EC Stage2000	310012	8.39	109
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	38929	1.05	14
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro V (post 2005)	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	All	1738133	47.03	613
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PRE ECE	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/00-01	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/02	136	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/03	12461	0.34	4
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/04	199069	5.39	70
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	Improved Conventional	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	Open Loop	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro I - 91/441/EEC	242535	6.56	86
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro II - 94/12/EEC	290506	7.86	102
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro III - 98/69/EC Stage2000	194629	5.27	69
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	30694	0.83	11
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro V (post 2005)	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	All	970031	26.25	342
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PRE ECE	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/00-01	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/02	59	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/03	1194	0.03	0
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/04	10556	0.29	4
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro I - 91/441/EEC	11122	0.30	4
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro II - 94/12/EEC	17865	0.48	6
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro III - 98/69/EC Stage2000	12322	0.33	4
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	5240	0.14	2
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro V (post 2005)	0	0.00	0
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	All	58357	1.58	21

Passenger Cars	Gasoline	All	2766521	74.85	976
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	Conventional	33307	0.90	12
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro I - 91/441/EEC	114200	3.09	40
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro II - 94/12/EEC	228636	6.19	81
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro III - 98/69/EC Stage2000	254875	6.90	90
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	78521	2.12	28
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro V (post 2005)	0	0.00	0
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	All	709538	19.20	250
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	Conventional	5305	0.14	2
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro I - 91/441/EEC	9663	0.26	3
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro II - 94/12/EEC	49178	1.33	17
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro III - 98/69/EC Stage2000	91743	2.48	32
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	48126	1.30	17
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro V (post 2005)	0	0.00	0
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	All	204015	5.52	72
Passenger Cars	Diesel	All	913553	24.72	322
Passenger Cars	LPG	Conventional	5087	0.14	2
Passenger Cars	LPG	PC Euro I - 91/441/EEC	6585	0.18	2
Passenger Cars	LPG	PC Euro II - 94/12/EEC	3730	0.10	1
Passenger Cars	LPG	PC Euro III - 98/69/EC Stage2000	578	0.02	0
Passenger Cars	LPG	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	1	0.00	0
Passenger Cars	LPG	PC Euro V (post 2005)	0	0.00	0
Passenger Cars	LPG	All	15981	0.43	6
Passenger Cars	2-Stroke	Conventional	0	0.00	0
Passenger Cars	Hybrid Gasoline <1,4 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	0	0.00	0
Passenger Cars	Hybrid Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	0	0.00	0
Passenger Cars	Hybrid Gasoline >2,0 l	PC Euro IV - 98/69/EC Stage2005	0	0.00	0
Passenger Cars	Other	All	0	0.00	0
Passenger Cars		All	3696055	100.00	1304
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	Conventional	0		
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro I - 93/59/EEC	0		
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro II - 96/69/EEC	0		
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro III - 98/69/EC Stage2000	0		
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro IV - 98/69/EC Stage2005	0		
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro V - 2008 Standards	0		
Light Duty Vehicles	Gasoline	All	0		
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	Conventional	167560	13.52	61
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro I - 93/59/EEC	371988	30.01	136
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro II - 96/69/EEC	406046	32.75	148
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro III - 98/69/EC Stage2000	289247	23.33	106
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro IV - 98/69/EC Stage2005	0	0.00	0
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Light Duty Vehicles	Diesel	All	1234841	99.61	451
Light Duty Vehicles	LPG	Conventional	1318	0.11	0
Light Duty Vehicles	LPG	LD Euro I - 93/59/EEC	2366	0.19	1
Light Duty Vehicles	LPG	LD Euro II - 96/69/EEC	1078	0.09	0

Light Duty Vehicles	LPG	LD Euro III - 98/69/EC Stage2000	96	0.01	0
Light Duty Vehicles	LPG	LD Euro IV - 98/69/EC Stage2005	0	0.00	0
Light Duty Vehicles	LPG	LD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Light Duty Vehicles	LPG	All	4857	0.39	2
Light Duty Vehicles		All	1239698	100.00	453
Heavy Duty Trucks	Gasoline >3,5 t	Conventional	0		
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	Conventional	5097	3.33	10
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	3960	2.58	8
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	4583	2.99	9
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro III - 2000 Standards	3900	2.54	8
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	All	17540	11.44	35
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	7590	4.95	15
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	5900	3.85	12
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	6896	4.50	14
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro III - 2000 Standards	5808	3.79	12
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	All	26194	17.09	52
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	Conventional	7590	4.95	15
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	5903	3.85	12
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	6897	4.50	14
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro III - 2000 Standards	5808	3.79	12
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	All	26198	17.09	52
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	Conventional	8872	5.79	18
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	6931	4.52	14
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	8089	5.28	16
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro III - 2000 Standards	6789	4.43	14
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	All	30681	20.02	61
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	Conventional	1282	0.84	3
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1008	0.66	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1117	0.73	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro III - 2000 Standards	981	0.64	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	All	4388	2.86	9
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	Conventional	1282	0.84	3
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1008	0.66	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1126	0.73	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro III - 2000 Standards	981	0.64	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	All	4397	2.87	9

Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	Conventional	1282	0.84	3
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1008	0.66	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1124	0.73	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro III - 2000 Standards	981	0.64	2
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	All	4395	2.87	9
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	Conventional	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro III - 2000 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	All	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	Conventional	8872	5.79	16
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	6936	4.53	14
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	8088	5.28	16
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro III - 2000 Standards	6789	4.43	14
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	All	30685	20.02	61
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	Conventional	1282	0.84	3
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1008	0.66	2
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1130	0.74	2
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro III - 2000 Standards	981	0.64	2
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	All	4401	2.87	9
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	Conventional	1282	0.84	3
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	1009	0.66	2
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1117	0.73	2
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro III - 2000 Standards	981	0.64	2
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	All	4389	2.86	9
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	Conventional	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro III - 2000 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	All	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	Conventional	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro III - 2000 Standards	0	0.00	0

Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	All	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	Conventional	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro III - 2000 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	All	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	Conventional	All	44433	28.99	89
Heavy Duty Trucks	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	All	34670	22.62	69
Heavy Duty Trucks	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	All	40167	26.21	80
Heavy Duty Trucks	HD Euro III - 2000 Standards	All	33999	22.18	68
Heavy Duty Trucks	HD Euro IV - 2005 Standards	All	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks	HD Euro V - 2008 Standards	All	0	0.00	0
Heavy Duty Trucks		All	153270	100.00	305
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	Conventional	543	3.58	1
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	200	1.32	0
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	334	2.20	0
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro III - 2000 Standards	186	1.23	0
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	All	1263	8.32	1
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Conventional	543	3.58	1
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	200	1.32	0
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	334	2.20	0
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro III - 2000 Standards	186	1.23	0
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	All	1263	8.32	1
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	Conventional	543	3.58	1
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	200	1.32	0
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	334	2.20	0
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro III - 2000 Standards	186	1.23	0
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	All	1263	8.32	1
Buses	Coaches Standard <=18 t	Conventional	2627	17.31	3
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	790	5.21	1
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1464	9.65	2
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro III - 2000 Standards	811	5.35	1
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Buses	Coaches Standard <=18 t	All	5693	37.52	6
Buses	Coaches Articulated >18 t	Conventional	2627	17.31	3
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	790	5.21	1
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	1464	9.65	2

Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro III - 2000 Standards	811	5.35	1
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0	0.00	0
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro V - 2008 Standards	0	0.00	0
Buses	Coaches Articulated >18 t	All	5693	37.52	6
Buses	Conventional	All	6882	45.35	7
Buses	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	All	2180	14.37	2
Buses	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	All	3931	25.90	4
Buses	HD Euro III - 2000 Standards	All	2181	14.38	2
Buses	HD Euro IV - 2005 Standards	All	0	0.00	0
Buses	HD Euro V - 2008 Standards	All	0	0.00	0
Buses & Coaches		All	15174	100.00	16
Mopeds	<50 cm ³	Conventional	249388	148.05	
Mopeds	<50 cm ³	Mop - Euro I	49837	29.59	
Mopeds	<50 cm ³	Mop - Euro II	0	0.00	
Mopeds	<50 cm ³	Mop - Euro III	0	0.00	
Mopeds	<50 cm ³	All	299225	177.64	
Motorcycles	2-stroke >50 cm ³	Conventional	12253	7.27	2
Motorcycles	2-stroke >50 cm ³	Mot - Euro I	12570	7.46	2
Motorcycles	2-stroke >50 cm ³	Mot - Euro II	0	0.00	0
Motorcycles	2-stroke >50 cm ³	Mot - Euro III	0	0.00	0
Motorcycles	2-stroke >50 cm ³	All	24823	14.74	4
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Conventional	32422	19.25	5
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Mot - Euro I	33261	19.75	5
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Mot - Euro II	0	0.00	0
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Mot - Euro III	0	0.00	0
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	All	65684	38.99	11
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Conventional	18264	10.84	3
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Mot - Euro I	18737	11.12	3
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Mot - Euro II	0	0.00	0
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Mot - Euro III	0	0.00	0
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	All	37001	21.97	6
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Conventional	12253	7.27	2
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Mot - Euro I	12570	7.46	2
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Mot - Euro II	0	0.00	0
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Mot - Euro III	0	0.00	0
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	All	24823	14.74	4
Two wheelers		All	152330	90.43	25
HDV & Buses	All	All	168444	100.00	2105

7.2. Anexo II- Coordenadas recetores

Tabela 18 - Coordenadas e elevação dos recetores *Caline* otidas no *Google Earth*

Nº	Designação	X Latitude	y Longitude	Elevação [m]	SMHG x	SMHG y
1	Recetor Montante	39°44'6.07"N	8°49'29.43"W	50	140743	307597
2	Recetor Jusante	39°44'4.39"N	8°49'27.80"W	50	140735	307578
3	Recetor Jusante Continente	39°44'3.61"N	8°49'26.72"W	50	140782	307546
4	Recetor ESTG	39°44'11.08"N	8°49'16.15"W	50	141023	307792
5	Recetor AKI	39°44'20.65"N	8°49'16.20"W	50	141024	308069
6	Recetor retunda Ford	39°44'23.44"N	8°49'5.65"W	50	141287	308160
7	Recetor City	39°44'49.52"N	8°49'14.77"W	36	141079	308963
8	Recetor Estádio	39°44'54.86"N	8°49'3.52"W	49	141342	309116
9	Recetor Nova Leiria	39°45'16.10"N	8°48'49.79"W	32	141919	309790
10	Recetor Frente Nova Leiria	39°45'17.22"N	8°49'1.42"W	49	141395	309825
11	Recetor IC2	39°45'29.44"N	8°48'34.19"W	75	142041	310190
12	Recetor IC2 II	39°45'35.15"N	8°48'19.95"W	81	142399	310372
13	Recetor IC2 III	39°45'39.22"N	8°48'21.80"W	93	142353	310496
14	Recetor IC2 IV	39°45'40.87"N	8°47'56.55"W	104	142948	310522
15	Recetor IC2 V	39°45'45.13"N	8°47'50.11"W	112	143092	310675
16	Recetor Zona Industrial	39°45'47.42"N	8°47'39.37"W	122	143354	310735
17	Recetor Ferrus	39°45'47.72"N	8°47'2.60"W	125	144235	310729