



# **Universidade Fernando Pessoa**

Faculdade de Ciência e Tecnologia

CIAGEB - Centro de Investigação em Alterações Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia

GAEA – Grupo de Ambiente e Ecologia Aplicada

## **INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA CIDADE DO PORTO**



**Equipa Técnica**

Tânia Fontes

**Coordenação**

Prof. Doutor Nelson Barros



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	8
Sumário executivo .....	9
1. Introdução.....	10
3. Estimativas das emissões .....	13
3.1. Emissões de fontes em área.....	16
3.1.1. Análise das emissões por sector de actividade.....	18
3.1.2. Análise das emissões por freguesia .....	21
3.2. Emissões de fontes em linha .....	28
3.2.1. Análise dos resultados .....	32
3.3. Emissões de fontes pontuais .....	39
3.3. Emissões de fontes pontuais .....	39
4. Conclusão.....	42
5. Referências .....	45

## Anexos

Anexo I - Análise de tráfego na VCI. Resultados da campanha de 30/03 a 05/04/2004.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Domínio de estudo e densidade populacional por freguesia no concelho do Porto (hab.km <sup>-2</sup> ).....	12
Figura 2 – Metodologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> (adaptado de Baldasano, 1998). ...	14
Figura 3 – Modelo de emissões ARLIPE (adaptado de Fontes et al, 2007). ....	15
Figura 4 – Metodologia <i>top-down</i> usada no cálculo das emissões em área. ....	17
Figura 5 – Emissões de CO <sub>2</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto. ....	19
Figura 6 – Emissões de CH <sub>4</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto. ....	19
Figura 7 – Emissões de N <sub>2</sub> O de fontes em área em 2003 no concelho do Porto.....	19
Figura 8 – Emissões de NO <sub>x</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto. ....	19
Figura 9 – Emissões de CO de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto. ....	19
Figura 10 – Emissões de COVNM de fontes em área por actividade em 2003 concelho do Porto.....	19
Figura 11 – Emissões de SO <sub>2</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto.....	20
Figura 12 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO <sub>x</sub> provenientes do sector da indústria e de produção de energia para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ).....	22
Figura 13 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO <sub>x</sub> provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ).....	23
Figura 14 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO <sub>x</sub> provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residências para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ).....	24
Figura 15 – Emissões por bairro para o concelho do Porto para o poluente NO <sub>x</sub> provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residências para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ).....	25



Figura 16 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO <sub>x</sub> provenientes do sector de actividade da agricultura, floresta e pescas para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	25
Figura 17 – Emissões totais por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO <sub>x</sub> para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	27
Figura 18 – Metodologia <i>bottom-up</i> usada no cálculo das emissões em linha no modelo ARLIPE (Fontes et al, 2007). .....	30
Figura 19 – Localização dos contadores de tráfego do sistema SIGA e das vias de tráfego em análise: VCI. ....	31
Figura 20 – Resultados do FEP para o poluente CO em função da velocidade.....	33
Figura 21 – Resultados do FEP para o NO <sub>x</sub> em função da velocidade. ....	34
Figura 22 – Resultados do FEP para o poluente COV em função da velocidade. ...	34
Figura 23 – Resultados do FEP para o poluente PM em função da velocidade.....	35
Figura 24 – Emissão de NO <sub>x</sub> para a VCI por categoria de veículo (kg.h <sup>-1</sup> ). .....	36
Figura 25 – Emissão de COV para a VCI por categoria de veículo (kg.h <sup>-1</sup> ). .....	36
Figura 26 – Emissão de CO para a VCI por categoria de veículo (kg.h <sup>-1</sup> ). .....	37
Figura 27 – Emissão de PM para a VCI por categoria de veículo (kg.h <sup>-1</sup> ). .....	37
Figura 28 – Localização das indústrias identificadas pelo EPER com emissões atmosféricas no domínio de estudo e áreas envolventes ( <a href="http://www.eper.cec.eu.int/">http://www.eper.cec.eu.int/</a> ). .....	39

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 – População residente, população activa e área para as freguesias do concelho do Porto (CENSOS, 2001). .....	12
Tabela 2 – Vendas de combustível em 2003 no concelho do Porto (toneladas) ( <a href="http://www.dge.pt/arquivo/comb_conc2000_2003.zip">http://www.dge.pt/arquivo/comb_conc2000_2003.zip</a> ). .....	16
Tabela 3 – Metodologia de desagregação usada.....	17
Tabela 4 – Emissões por sector de actividade para o concelho do Porto para o ano 2003 (kg). .....	18
Tabela 5 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector da indústria e da produção de energia para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	22
Tabela 6 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	23
Tabela 7 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector do comércio, instituições e residências para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	24
Tabela 8 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector da floresta, agricultura e pescas para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	26
Tabela 9 – Emissões totais para o concelho do Porto por freguesia e poluente para o ano de referência de 2003 (kg.km <sup>-2</sup> ). .....	27
Tabela 10 – Número médio diário de veículos em 2004 nas vias de tráfego consideradas (Barros et al., 2005). .....	31
Tabela 11 – Parâmetros tidos em conta para a estimativa das emissões em linha na VCI ( <a href="http://www.autoinforma.pt/">http://www.autoinforma.pt/</a> ; ACAP (2001); CENSOS 2001). .....	32
Tabela 12 – Resultados das emissões de NO <sub>x</sub> das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004. ....	37
Tabela 13 – Resultados das emissões de CO das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004. ....	38
Tabela 14 – Resultados das emissões de COV das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004. ....	38
Tabela 15 – Resultados das emissões de PM das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004. ....	38



Tabela 16 – Emissões atmosféricas das indústrias identificadas pelo EPER no domínio de estudo (<http://www.eper.cec.eu.int/>)..... 40



## **Agradecimentos**

À FCT, do Ministério da Ciência e Ensino Superior, e ao Fundo Social Europeu, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio o financiamento do projecto “ImpactAir – Impacte na qualidade do ar e na saúde das grandes linhas de tráfego urbano; O caso da VCI” (Refª POCTI/ESP/47806/2002), bem como a bolsa de Tânia Fontes (Refª SFRH/BD/19027/2004).

Especial agradecimento à Câmara Municipal do Porto, nomeadamente à Sala de Controlo de Tráfego, pela cedência dos dados de contagens de tráfego e à divisão de Ambiente.

## Sumário executivo

Este estudo visa a caracterização da situação de actual face às emissões atmosféricas no concelho do Porto. Para este domínio foram estimadas as emissões consideradas em área, em linha e pontuais. Nas fontes em área foram incluídas todas emissões difusas, com uma distribuição considerada homogénea, podendo incluir fontes de pequena dimensão e/ou dificilmente identificáveis. Nas fontes em linha, de um modo geral associadas às fontes móveis, como sejam o tráfego rodoviário, foi analisada a Via de Cintura Interna (VCI). Por último, nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao domínio de estudo e respectiva área envolvente.

No caso das emissões das fontes consideradas em área recorreu-se aos dados do inventário nacional de emissões para o ano 2003, tendo-se tomado como Gases com Efeito de Estufa (GEE) o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), e como poluentes, o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM). O trabalho foi elaborado considerando as emissões produzidas em quatro sectores de actividade: indústria e produção de energia; transportes rodoviários; comércio, instituições e zonas residenciais; e agricultura, floresta e pescas. Para o cálculo das emissões por freguesia para os diferentes sectores de actividade considerados, teve-se em conta dados das emissões nacionais, consumos dos diferentes tipos de combustível por concelho e distribuição da população e respectiva actividade, por freguesia.

As estimativas das emissões das fontes em área mostram que o sector dos transportes rodoviários são responsáveis por mais de 50% das emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , COVNM,  $\text{NO}_x$  e CO na cidade do Porto, enquanto que as emissões de  $\text{CH}_4$  são maioritariamente provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residenciais. As emissões de  $\text{SO}_2$ , por seu lado, são essencialmente provenientes do sector industrial e de produção de energia.

Relativamente às fontes em linha, foram estimadas as emissões de CO,  $\text{NO}_x$ , COV e partículas (PM) para a Via de Cintura Interna (VCI), com base em factores de emissão ponderados calculados pelo modelo ARLIPE (Área, Line and Point Source Emission Model) (Fontes et al., 2007). Nesta estimativa foram tidos em conta diversos factores, tais como: volume de tráfego por categoria de veículo, idade, cilindrada, tara, tipo de combustível, velocidade média de deslocação e factores de emissão e de consumo publicados no Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe/CORe INventory AIR emissions (EMEP/CORINAIR) (EEA, 2006). Os resultados das emissões em linha para a VCI indicam que os veículos ligeiros de passageiros, em particular pelo seu número, são a categoria de veículos responsáveis pela maior quantidade de emissões. As emissões deste tipo de veículos oscilam, função do tipo de poluente, entre os 50% e os 95% do total das emissões da VCI. Os picos de emissão ocorrem durante o período diurno entre as 10h00 e as 21h00, mantendo-se relativamente constante durante todo dia, enquanto que os valores mínimos registam-se por volta das 05h00. No caso do  $\text{NO}_x$  e das PM a contribuição dos veículos ligeiros e pesados de mercadorias assumem um papel relevante representando cerca de 32% e 50% das emissões, respectivamente. Em média, na VCI são emitidas anualmente 963 ton de CO, 344 ton de  $\text{NO}_x$ , 102 ton de COV e 17 ton de PM. Em termos relativos, a VCI representará em média 16% do total das emissões rodoviárias do concelho.

As emissões provenientes de fontes pontuais são constituídas essencialmente por GEE e por diversos tipos de poluentes. Nesta fase, este tipo de fontes apenas foi integrado na base de dados.

De realçar que este trabalho constitui o primeiro passo para a modelação da qualidade do ar da cidade do Porto.

## 1. Introdução

Um inventário de emissões consiste numa compilação das estimativas das emissões de poluentes classificados de acordo com os diferentes tipos de fontes de emissão e actividades associadas. Os inventários de emissões são um instrumento indispensável para todos os estudos de poluição atmosférica, não só por fornecerem uma estimativa das principais fontes de poluição e quantidade de poluentes emitidos, como também por serem essenciais para eventuais estudos de modelação. Em geral, os inventários de emissões agregam as estimativas consideradas em três tipos diferentes de fontes de emissão: **fontes pontuais** (instalações industriais que, pela sua dimensão, pelo seu contributo para as emissões totais ou ainda pelo tipo de poluente emitido, justificam um tratamento individual), **fontes em área** (emissões difusas, com uma distribuição mais ou menos homogénea, podendo incluir fontes de pequena dimensão e/ou dificilmente identificáveis); e **fontes em linha** (de um modo geral associadas às fontes móveis, como sejam o tráfego rodoviário, caminhos-de-ferro, tráfego aéreo, etc.).

A qualidade de uma determinada base de dados de emissões não é uniforme e está directamente dependente, não só dos dados usados nas estimativas efectuadas durante o processo de inventariação, como também do tipo de aproximações utilizadas.

Outro aspecto importante, nem sempre considerado, é o comportamento dinâmico das fontes de emissão, isto é, um inventário de emissões deve ser continuamente actualizado. A escolha das metodologias de elaboração de inventários de emissões é o primeiro passo para garantir a precisão das estimativas das emissões.

Este trabalho visou a caracterização da situação actual das emissões para a cidade do Porto, tendo sido estimadas emissões consideradas em área, em linha e pontuais.

As estimativas foram efectuadas tendo em conta a informação actualmente disponível, no entanto, a curto prazo será possível melhorar/actualizar o trabalho agora apresentado função da informação que venha a ser disponibilizada, em particular pelo INE.

De realçar que este trabalho constitui o primeiro passo para a modelação da qualidade do ar da cidade do Porto.

## 2. Domínio de estudo

O domínio de estudo é constituído pela cidade do Porto (Figura 1). Embora sendo o concelho da Área Metropolitana do Porto (AMP) mais pequeno é o que regista maior densidade populacional, 6 337 hab.km<sup>-2</sup> em 2001, acolhendo 263 mil habitantes concentrados essencialmente na freguesia de Paranhos e Vitória 35,5%. Na Tabela 1 são apresentados os dados de população e área por freguesia no domínio de estudo.

O Porto continua a exercer o papel de centro urbano polarizador no contexto da AMP, sendo local de residência de 25% da população da AMP. No entanto, devido às deseconomias decorrentes do relativo congestionamento residencial e ao acréscimo do custo de aquisição de habitação, têm-se verificado nos últimos anos um movimento residencial para as zonas mais periféricas, principalmente das gerações mais jovens, conduzindo a um decréscimo gradual da densidade populacional na cidade (cerca de 13% de 1991 para 2001). Das suas 15 freguesias, 10 apresentam densidades populacionais muito acima da média da AMP, superiores a 6500 hab.km<sup>-2</sup>, sendo esse valor apenas registado em mais duas freguesias da AMP (CENSOS 2001).

A delegação da função residencial nos concelhos vizinhos, porém, não retirou ao concelho do Porto o papel de principal centro empregador da AMP e da disponibilização de um leque alargado de equipamentos e serviços. Por essa razão, o Porto recebe diariamente cerca de 90 000 indivíduos que aí exercem a sua actividade profissional, tornando as deslocações pendulares cada vez mais longas e demoradas (Torres e Pereira, 1999). Os principais eixos de comunicação entre, o interior e o litoral, e o norte e sul do país, cruzam a cidade do Porto, sendo as principais vias a A29 (Porto-Aveiro), a A28 (Porto-Viana), a A3 (Porto-Braga-Valença), o A4/IP4 (Porto-Vila Real-Bragança) e a A1 (Porto-Lisboa).

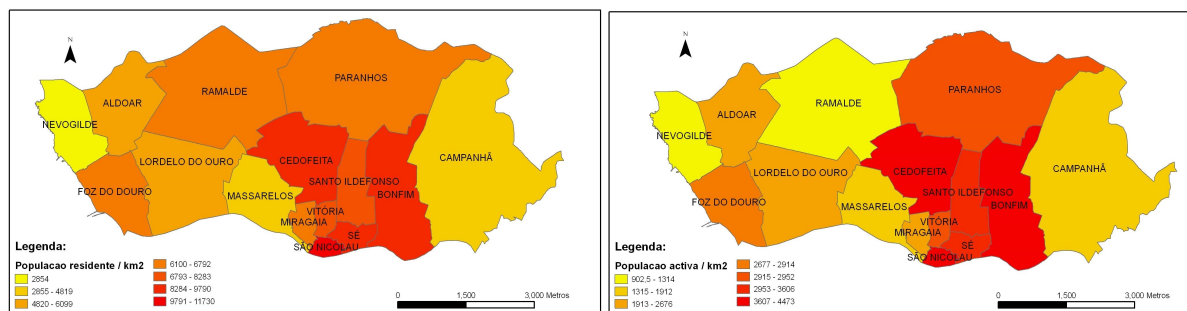


Figura 1 – Domínio de estudo e densidade populacional por freguesia no concelho do Porto (hab.km<sup>-2</sup>).

Tabela 1 – População residente, população activa e área para as freguesias do concelho do Porto (CENSOS, 2001).

Freguesia	População residente	% População residente relativa ao concelho	População activa	% População activa relativa ao concelho	Área (km <sup>2</sup> )	% Área relativa ao concelho
São Nicolau	2 937	1,1	1 120	1,1	0,25	0,6
Sé	4 751	1,7	1 750	1,7	0,49	1,2
Massarelos	7 756	2,8	3 537	3,5	1,94	4,7
Miragaia	2 810	1,0	1 129	1,1	0,43	1,0
Vitória	2 720	1,0	967	1,0	0,33	0,8
Foz do douro	12 235	4,5	5 493	5,4	1,88	4,6
Lordelo do Ouro	22 212	8,1	9 745	9,6	3,64	8,8
Cedofeita	24 784	9,0	11 140	11,0	2,71	6,6
Santo Ildefonso	10 044	3,7	4 028	4,0	1,24	3,0
Bonfim	28 578	10,4	12 254	12,1	3,1	7,5
Campanhã	38 757	14,1	15 380	15,1	8,04	19,5
Nevogilde	5 257	1,9	2 421	2,4	1,84	4,5
Aldoar	13 957	5,1	6 164	6,1	2,41	5,8
Ramalde	37 647	17,8	5 257	5,2	5,83	14,1
Paranhos	48 686	17,8	21 161	20,8	7,17	17,4

### 3. Estimativas das emissões

Como já anteriormente referido, as emissões de origem antropogénica podem ser consideradas em área, linha e como fontes pontuais e, como tal, ser avaliadas de forma distinta.

Desta forma foram usadas duas metodologias de abordagem (Figura 2):

1. *Top-down*: faz a estimativa das emissões numa região ou unidade administrativa a partir das emissões disponíveis para um nível de agregação superior (ex.: de NUT<sup>1</sup> I para NUT V). Estas emissões são distribuídas para um nível espacial inferior de acordo com determinados parâmetros de ponderação como a densidade de tráfego, densidade populacional, industrial, etc.;
2. *Bottom-up*: consiste em, partindo de dados de base, estimar a emissão total de um determinado poluente numa região ou unidade administrativa associado a uma determinada actividade.

---

<sup>1</sup> NUT - Nomenclatura de Unidade Territorial.

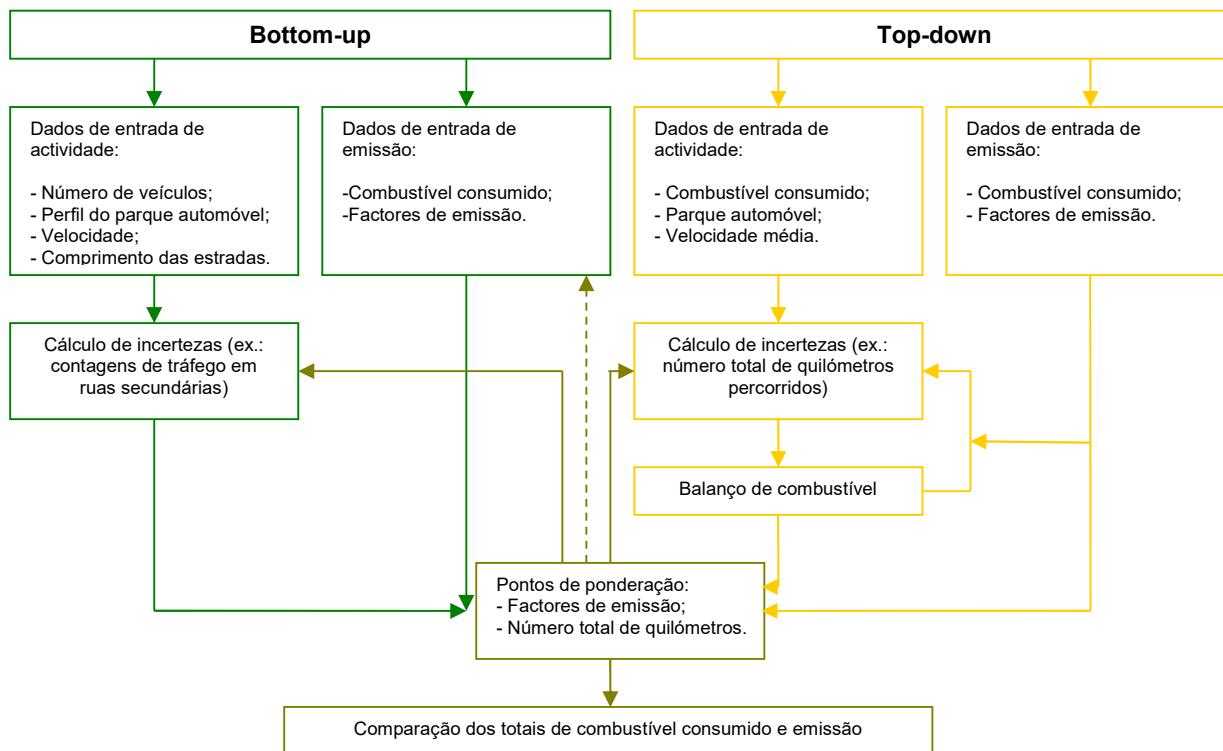


Figura 2 – Metodologias *top-down* e *bottom-up* (adaptado de Baldasano, 1998).

Por questões metodológicas e de disponibilidade de informação, para o cálculo das emissões provenientes das fontes em área foi aplicada uma metodologia *top-down*, enquanto que para emissões provenientes das fontes em linha foi aplicada uma metodologia *bottom-up*. Nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao domínio de estudo e respectiva área envolvente considerada passível de influenciar a sua qualidade do ar. Estas fontes foram directamente integradas na base de dados. Na estimativa das emissões em área e em linha foi usado o modelo ARLIPE (Figura 3). O ARLIPE está preparado para a realidade existente em Portugal, podendo no entanto ser aplicado a outras situações, uma vez que a interacção com o utilizador é bastante simples facilitada pela existência de um guia e um manual de ajuda.

O ARLIPE (Área, Line and Point Source Emission Model) é uma aplicação escrita em C# e SQL e desenhada para construir cenários de emissões em área, em linha e

emissões pontuais. Trata-se de um software desenvolvido de raiz pelo **GAEA** – Grupo de Ambiente e Ecologia Aplicada do **CIAGEB** - Centro de Investigação em Alterações Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia da Universidade Fernando Pessoa (Fontes et al., 2007).

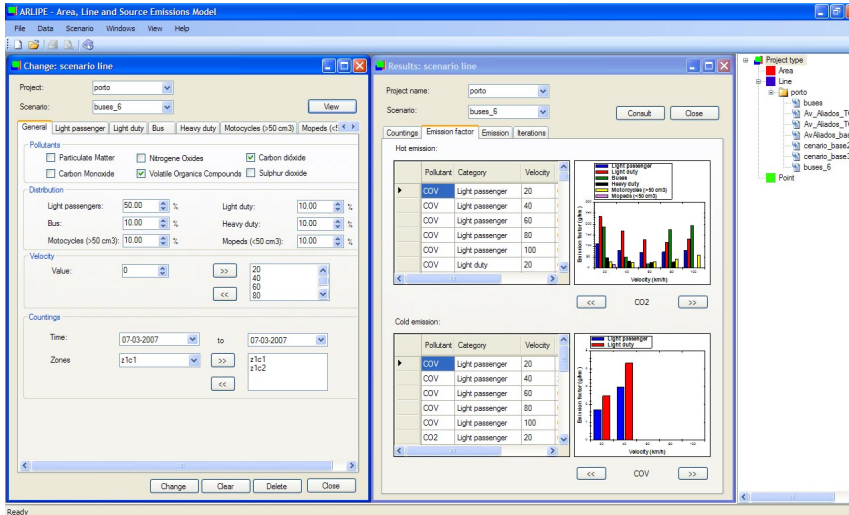


Figura 3 – Modelo de emissões ARLIPE (adaptado de Fontes et al, 2007).

### 3.1. Emissões de fontes em área

Para o cálculo das emissões em área recorreu-se aos dados do inventário nacional de emissões para o ano 2003 ([http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories/submissions/items/2761.txt.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories/submissions/items/2761.txt.php)). Os dados apresentam-se agrupados em quatro grupos: emissões provenientes do sector industrial e de produção de energia; emissões provenientes do sector dos transportes rodoviários; emissões provenientes do comércio, instituições e zonas residenciais; e emissões provenientes da agricultura, floresta e pescas.

As emissões foram calculadas por freguesia ou quarteirão, consoante a disponibilidade de informação, usando dois níveis de desagregação: primeiro do nível nacional (NUT I) para concelho (NUT IV); e depois de NUT IV para freguesia (NUT V) ou quarteirão (NUT VI).

Para a estimativa das emissões por NUT IV para os diferentes sectores considerados, teve-se em conta as emissões NUT I e os consumos dos diferentes tipos de combustível por NUT IV (Tabela 2).

Tabela 2 – Vendas de combustível em 2003 no concelho do Porto (toneladas) ([http://www.dge.pt/arquivo/comb\\_conc2000\\_2003.zip](http://www.dge.pt/arquivo/comb_conc2000_2003.zip)).

	Produtos	Butano	Propano	Gás Auto	Gasolina			Petróleos	Gasóleo	Gasóleo Colorido	Fuel
					Aditivada	IO 95	IO 98				
2003	Continente	367 969	503 789	19 709	173 649	1 295 952	456 741	3 618	4 596 662	324 269	2 125 234
	Porto	2 549	5 637	248	2 578	41 997	10 113	2	77 004	6 160	56 752

As emissões por NUT V ou NUT VI foram estimadas recorrendo-se à distribuição da população por freguesia ou quarteirão.

A Figura 4 resume a metodologia geral para o cálculo das emissões em área. Foram consideradas as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o metano (CH<sub>4</sub>), bem como as emissões dos seguintes poluentes: monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM). O próximo capítulo apresenta os resultados das estimativas das emissões das fontes em área e encontra-se estruturado segundo duas vertentes: (i) análise das emissões por concelho e actividade emissora; (ii) análise espacial por freguesia, por fonte e poluente.

A Tabela 3 apresenta uma síntese dos diferentes parâmetros de desagregação usados para cada um dos sectores de actividade.

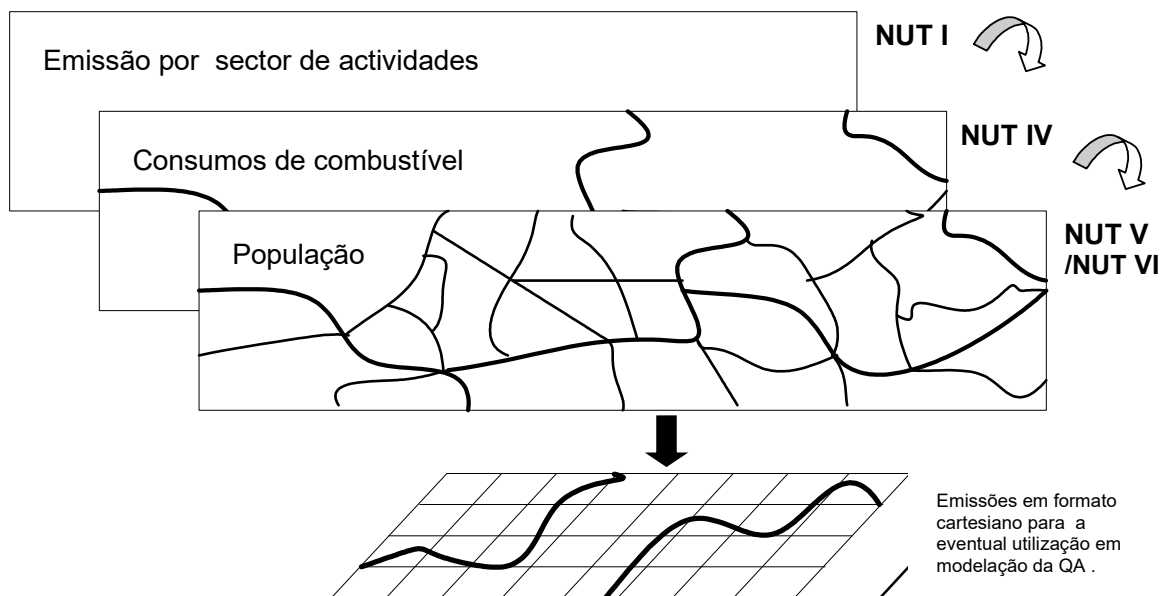


Figura 4 – Metodologia *top-down* usada no cálculo das emissões em área.

Tabela 3 – Metodologia de desagregação usada.

Actividade	Consumos de combustível (NUT I → NUT IV)	População (NUT IV → NUT V/NUT VI)
Indústria e produção de energia	Fuel Gasóleo	População do sector secundário
Transportes rodoviários	Gasolina (aditivada, IO95, I98) Gasóleo	População activa
Comércio, instituições e zonas residenciais	Butano Propano	População residente
Agricultura, floresta e pescas	Gasóleo colorido	População do sector primário

### 3.1.1. Análise das emissões por sector de actividade

Segundo dados do Instituto do Ambiente (IA, 2002), enquanto que na maioria dos Estados Membros da União Europeia as emissões de poluentes atmosféricos associadas ao tráfego automóvel tem vindo a diminuir desde a década de 90, em Portugal a evolução é inversa. Portugal tem vindo a evidenciar claras dificuldades no controlo das suas emissões atmosféricas associadas ao tráfego automóvel. No ano 2000, o sector dos transportes foi responsável em Portugal por 44% das emissões de NO<sub>x</sub>, 55% das emissões de CO e 12% das emissões de COVNM, o que testemunha a importância deste tipo de emissões no contexto das emissões atmosféricas nacionais. Nesse mesmo ano, os transportes representavam 34,9% do consumo final de energia, dos quais quase 90% eram relativos aos transportes rodoviários, sendo estes dependentes em 99,4% do petróleo (Borrego J., e Fonseca C., 2004). Apesar da evolução tecnológica em matéria de controlo das emissões, qualidade dos combustíveis e eficiência dos motores de combustão interna, o elevado crescimento do parque automóvel nacional tem vindo a anular por completo as melhorias alcançadas. Além disso, as áreas urbanas, como a cidade do Porto, são fortemente penalizadas em termos de emissões atmosféricas derivadas da elevada densidade de tráfego rodoviário, nomeadamente durante as horas de ponta.

Relativamente ao concelho do Porto, a estimativa dos valores de emissão por sector de actividade (Tabela 4), permite verificar que as emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, COVNM, NO<sub>x</sub> e CO são maioritariamente provenientes do sector dos transportes. No caso das emissões de CH<sub>4</sub>, verifica-se que o sector do comércio, instituições e zonas residenciais é o maior responsável por este tipo de emissões, enquanto que as emissões de SO<sub>2</sub> são essencialmente provenientes do sector industrial e de produção de energia (Figura 5 à Figura 11).

Tabela 4 – Emissões por sector de actividade para o concelho do Porto para o ano 2003 (kg).

	Emissões (kg)						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	SO <sub>2</sub>
Indústria e produção de energia	213 346 255	49 096	5 968	1 066 956	530 913	206 403	<b>770 092</b>
Transportes rodoviários	<b>378 480 816</b>	49 867	<b>33 251</b>	<b>1 975 081</b>	<b>5 614 738</b>	<b>729 425</b>	68 239
Comércio, instituições e zonas residenciais	51 828 741	<b>139 685</b>	2 715	255 133	2 369 090	201 287	29 277
Agricultura, floresta e pescas	20 436 962	1 708	5 295	338 118	86 328	40 523	18 504
Total	643 655 812	238 648	41 935	3 297 170	8 514 740	1 137 115	867 608

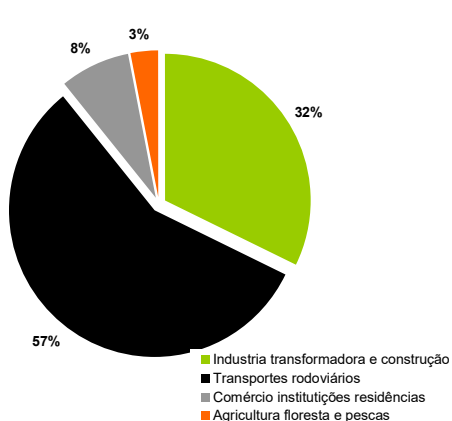


Figura 5 – Emissões de CO<sub>2</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto.

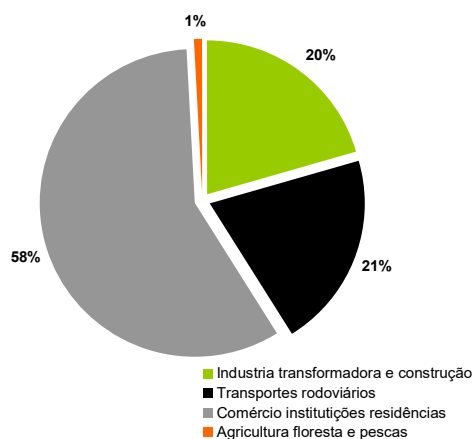


Figura 6 – Emissões de CH<sub>4</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto.

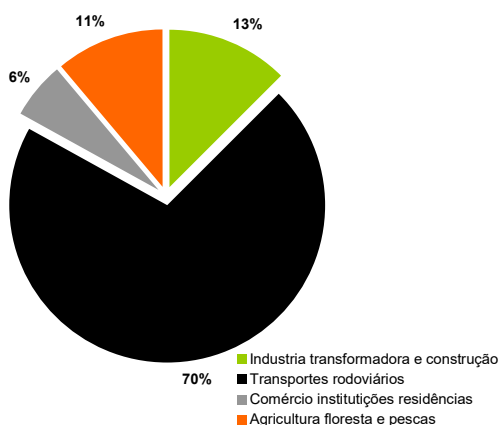


Figura 7 – Emissões de N<sub>2</sub>O de fontes em área em 2003 no concelho do Porto.

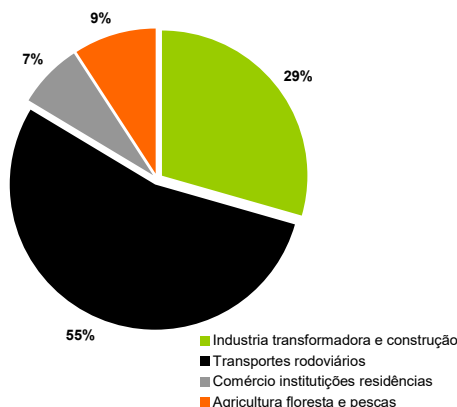


Figura 8 – Emissões de NO<sub>x</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto.

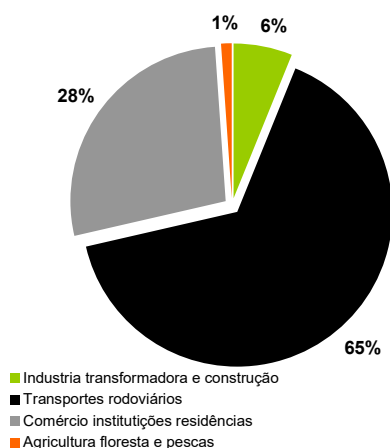


Figura 9 – Emissões de CO de fontes em área por actividade em 2003 no concelho o Porto.

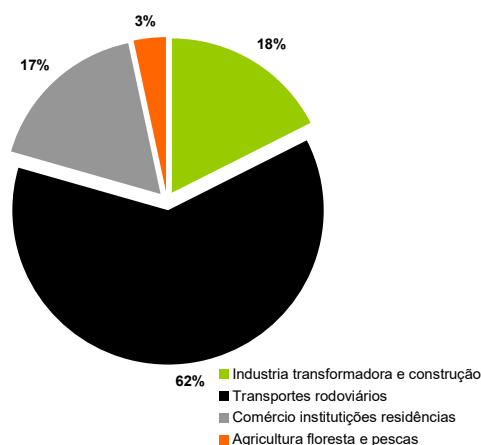


Figura 10 – Emissões de COVNM de fontes em área por actividade em 2003 concelho do Porto.

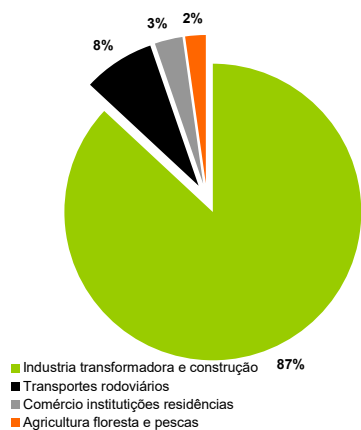


Figura 11 – Emissões de SO<sub>2</sub> de fontes em área por actividade em 2003 no concelho do Porto.

### 3.1.2. Análise das emissões por freguesia

A análise dos resultados mostra que existem variações significativas entre freguesias, quando a análise é efectuada espacialmente (por km<sup>2</sup>), embora o padrão de distribuição seja muito semelhante quando a análise é efectuada por poluente. Quando a análise é efectuada por sector de actividade, a distribuição das emissões por freguesia é constante para todos os poluentes pelo que para cada uma das actividades será apresentado um exemplo do padrão de distribuição dessas emissões.

Assim, em relação às emissões provenientes, quer do sector industrial e de produção de energia, quer do sector dos transportes rodoviários o padrão é idêntico. As freguesias da São Nicolau, Cedofeita e Bonfim são as que apresentam valores mais elevados enquanto que Nevogilde, Massarelos e Campanhã apresentam os valores mais reduzidos (Figura 12 e Figura 13). A utilização de dados mais detalhados por freguesia, como por exemplo, do consumo de combustíveis, do número de empresas, ou da população empregada (residente e não residente) no sector industrial nesse local (freguesia) poderia conduzir a resultados mais realistas no que respeita às emissões provenientes do sector industrial e de produção de energia.

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam, para todos os poluentes analisados, um resumo da informação relativa aos valores de emissão por poluente e freguesia do domínio em estudo para o sector industrial e energético e para o sector dos transportes rodoviários respectivamente.

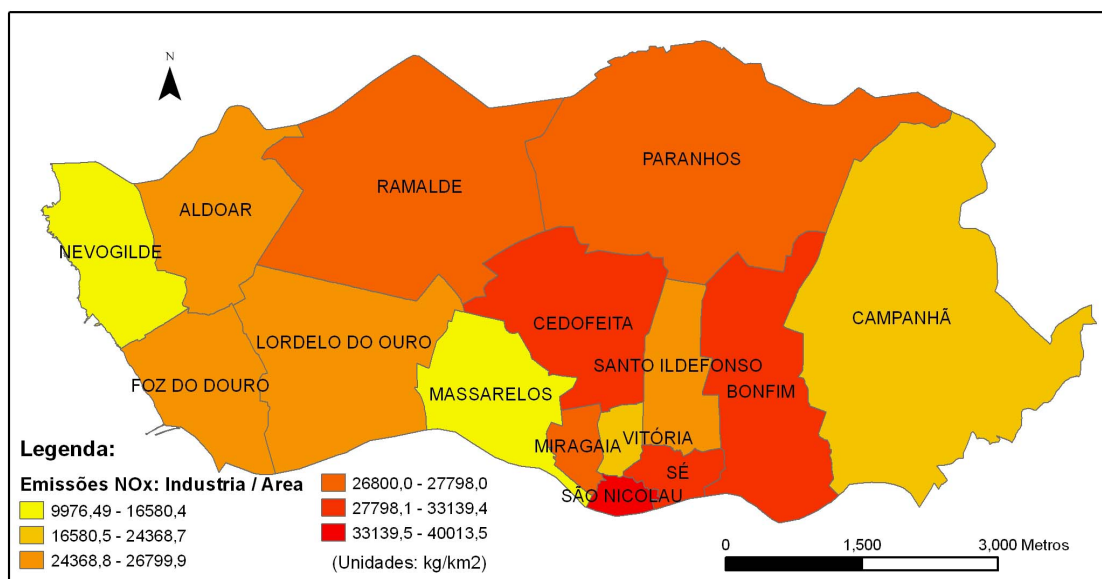


Figura 12 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO<sub>x</sub> provenientes do sector da indústria e de produção de energia para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Tabela 5 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector da indústria e da produção de energia para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Local		Poluente/G.E.E (kg.km <sup>-2</sup> )						
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	SO <sub>2</sub>
Freguesia	São Nicolau	8 012 780	1 844	224	40 072	19 940	7 752	28 924
	Sé	6 386 229	1 469	180	31 939	15 892	6 178	23 051
	Massarelos	3 323 792	765	93	16 623	8 271	3 215	11 997
	Miragaia	5 513 130	1 270	153	27 572	13 719	5 333	19 900
	Vitória	4 849 048	1 115	136	24 252	12 067	4 691	17 503
	Foz do douro	5 088 061	1 171	143	25 446	12 662	4 922	18 366
	Lordelo do Ouro	5 210 209	1 199	146	26 057	12 966	5 041	18 807
	Cedofeita	6 215 292	1 430	174	31 083	15 467	6 013	22 435
	Santo Ildefonso	5 343 511	1 230	149	26 723	13 298	5 169	19 288
	Bonfim	6 618 690	1 523	185	33 100	16 471	6 403	23 891
	Campanhã	4 629 246	1 065	129	23 151	11 520	4 479	16 710
	Nevogilde	1 997 011	460	56	9 987	4 970	1 932	7 208
	Aldoar	5 331 494	1 227	149	26 663	13 268	5 158	19 244
	Ramalde	5 530 151	1 273	155	27 657	13 762	5 350	19 962
	Paranhos	5 480 258	1 261	153	27 407	13 638	5 302	19 781
<b>Média:</b>		5 301 927	1 220	148	26 515	13 194	5 129	19 138

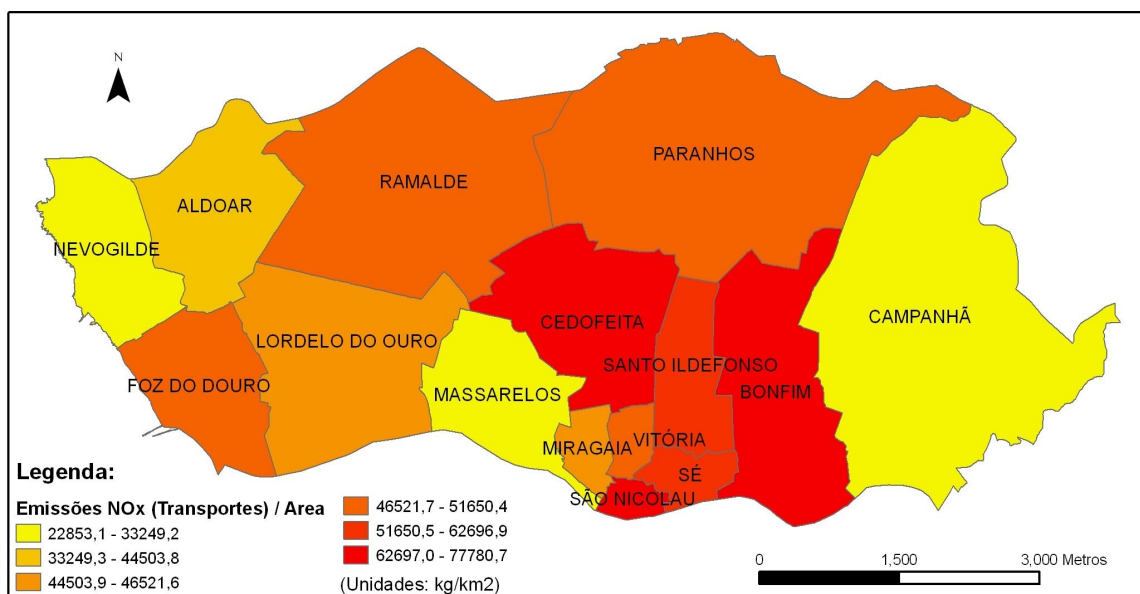


Figura 13 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO<sub>x</sub> provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Tabela 6 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector dos transportes rodoviários para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Local		Poluente/G.E.E (kg.km <sup>-2</sup> )						
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	SO <sub>2</sub>
Freguesia	São Nicolau	14 926 888	1 967	1 311	77 895	221 439	28 768	2 691
	Sé	11 899 624	1 568	1 045	62 098	176 530	22 933	2 145
	Massarelos	6 074 696	800	534	31 700	90 118	11 707	1 095
	Miragaia	8 748 160	1 153	769	45 652	129 778	16 860	1 577
	Vitória	9 763 461	1 286	858	50 950	144 840	18 817	1 760
	Foz do douro	9 735 160	1 283	855	50 802	144 420	18 762	1 755
	Lordelo do Ouro	8 920 140	1 175	784	46 549	132 330	17 191	1 608
	Cedofeita	13 696 421	1 805	1 203	71 474	203 185	26 396	2 469
	Santo Ildefonso	10 823 282	1 426	951	56 481	160 563	20 859	1 951
	Bonfim	13 170 658	1 735	1 157	68 730	195 386	25 383	2 375
	Campanhã	6 373 699	840	560	33 261	94 553	12 284	1 149
	Nevogilde	4 383 977	578	385	22 878	65 036	8 449	790
	Aldoar	8 521 909	1 123	749	44 471	126 422	16 424	1 536
	Ramalde	9 889 383	1 303	869	51 607	146 708	19 059	1 783
	Paranhos	9 833 503	1 296	864	51 316	145 879	18 952	1 773
<b>Média:</b>		9 784 064	1 289	860	51 058	145 146	18 856	1 764

No que respeita ao sector do comércio, instituições e zonas residenciais os resultados mais elevados em termos de emissões verificam-se nas freguesias de São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita. À semelhança das actividades anteriores Nevogilde, Massarelos e Campanhã são as freguesias que apresentam valores mais baixos de emissão (Figura 14). A Tabela 7 apresenta para todos os poluentes analisados um resumo da informação relativa aos valores de emissão para o sector

do comércio, instituições e zonas residenciais, por poluente e freguesia para o domínio em estudo. A título de exemplo e dado estar disponível informação suficiente para a sua estimativa, foram também calculadas as emissões por quarteirão para actividade comercial, institucional e residencial verificando-se também aqui que é na zona central da cidade onde se concentram este tipo de emissões (Figura 15).

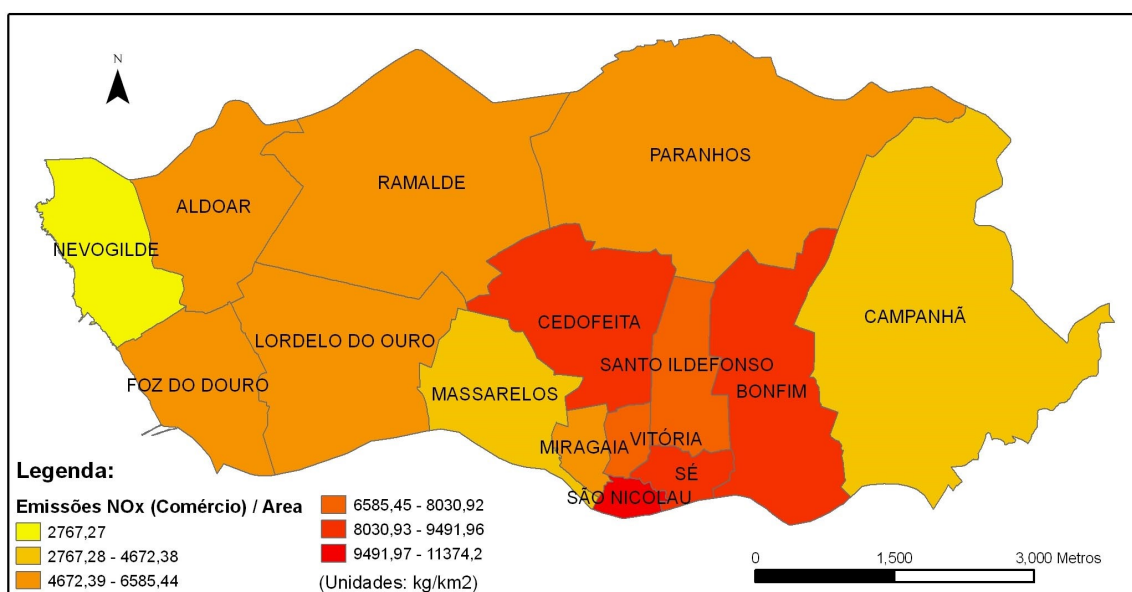


Figura 14 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO<sub>x</sub> provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residências para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Tabela 7 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector do comércio, instituições e residências para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Local	Poluente/G.E.E (kg.km <sup>-2</sup> )						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	SO <sub>2</sub>
São Nicolau	2 313 996	6 237	121	11 391	105 773	8 987	1 307
Sé	1 909 799	5 147	100	9 401	87 297	7 417	1 079
Massarelos	787 471	2 122	41	3 876	35 995	3 058	445
Miragaia	1 287 172	3 469	67	6 336	58 837	4 999	727
Vitória	1 623 505	4 376	85	7 992	74 210	6 305	917
Foz do douro	1 281 872	3 455	67	6 310	58 594	4 978	724
Lordelo do Ouro	1 201 946	3 239	63	5 917	54 941	4 668	679
Cedofeita	1 801 361	4 855	94	8 867	82 340	6 996	1 018
Santo Ildefonso	1 595 452	4 300	84	7 854	72 928	6 196	901
Bonfim	1 815 803	4 894	95	8 939	83 000	7 052	1 026
Campanhã	949 495	2 559	50	4 674	43 401	3 688	536
Nevogilde	562 754	1 517	29	2 770	25 723	2 186	318
Aldoar	1 140 706	3 074	60	5 615	52 142	4 430	644
Ramalde	1 271 922	3 428	67	6 261	58 140	4 940	718
Paranhos	1 337 468	3 605	70	6 584	61 136	5 194	756
<b>Média:</b>	<b>1 392 048</b>	<b>3 752</b>	<b>73</b>	<b>6 853</b>	<b>63 630</b>	<b>5 406</b>	<b>786</b>

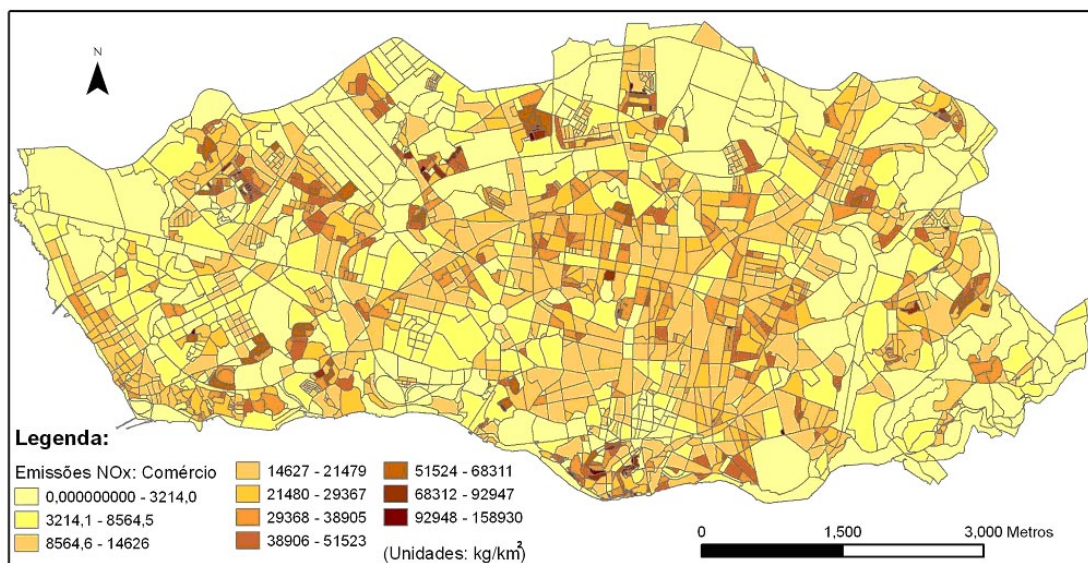


Figura 15 – Emissões por quarteirão para o concelho do Porto para o poluente NO<sub>x</sub> provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residências para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

No sector agrícola, floresta e pescas as maiores emissões registam-se nas freguesias de São Nicolau, Vitória e Foz do Douro. Campanhã e Massarelos são as freguesias que apresentam os valores mais reduzidos. A Figura 16 exemplifica a distribuição das emissões de NO<sub>x</sub> neste sector de actividade. O resumo da informação relativa aos valores de emissão para o sector da agricultura, floresta e pescas por poluente e freguesia são apresentados na Tabela 8 para todos os poluentes analisados.

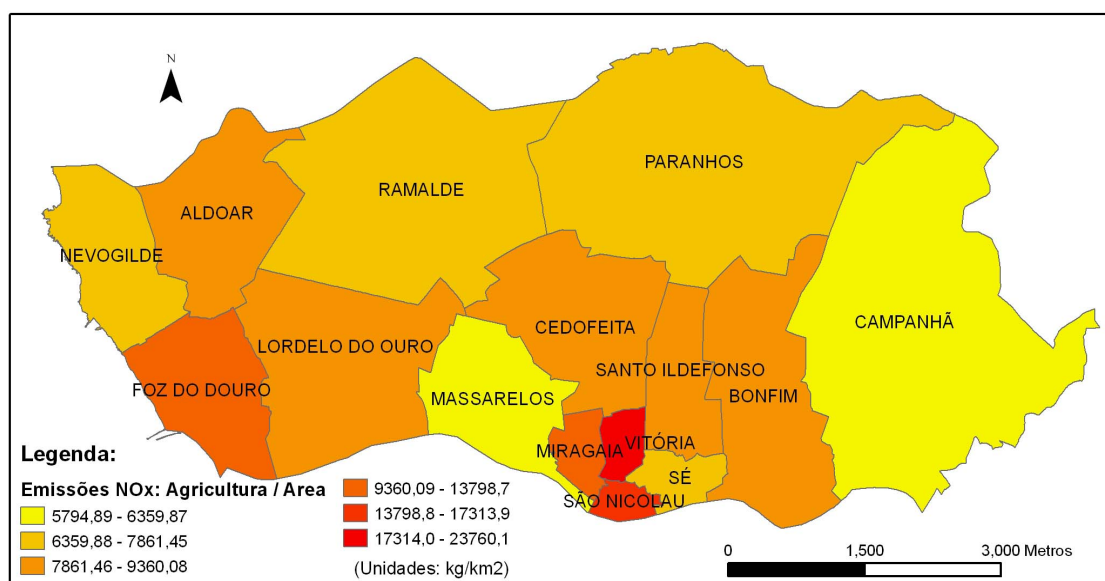


Figura 16 – Emissões por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO<sub>x</sub> provenientes do sector de actividade da agricultura, floresta e pescas para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Tabela 8 – Emissões para o concelho do Porto por freguesia e poluente provenientes do sector da floresta, agricultura e pescas para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Local		Poluente/G.E.E (kg.km <sup>-2</sup> )						
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	SO <sub>2</sub>
Freguesia	São Nicolau	1 048 048	88	272	17 340	4 428	2 080	948
	Sé	427 776	37	110	7 078	1 806	849	388
	Massarelos	351 151	29	91	5 810	1 484	696	318
	Miragaia	731 198	60	188	12 098	3 088	1 449	663
	Vitória	1 429 158	118	370	23 645	6 036	2 833	1 294
	Foz do douro	836 210	70	216	13 835	3 532	1 658	757
	Lordelo do Ouro	503 870	42	130	8 336	2 128	999	456
	Cedofeita	560 765	47	145	9 277	2 369	1 112	508
	Santo Ildefonso	507 121	43	131	8 390	2 142	1 006	459
	Bonfim	507 121	42	131	8 390	2 142	1 005	459
	Campanhã	384 546	32	100	6 362	1 624	762	348
	Nevogilde	455 673	38	118	7 539	1 925	903	413
	Aldoar	565 338	47	146	9 353	2 388	1 121	512
	Ramalde	458 409	38	119	7 584	1 936	909	415
	Paranhos	475 057	40	123	7 860	2 007	942	430
<b>Média:</b>		616 096	51	160	10 193	2 602	1 222	557

Como já referido, relativamente à análise das emissões totais, correspondente à soma das emissões dos quatro sectores de actividade considerados, verifica-se que existem variações significativas entre freguesias quando a análise é efectuada espacialmente (por km<sup>2</sup>), embora o padrão de distribuição seja muito semelhante quando a análise é efectuada por poluente. A título de exemplo a Figura 17 mostra a distribuição das emissões por quilómetro quadrado e por freguesia para o NO<sub>x</sub>.

Por comparação das emissões resultantes dos quatro sectores analisados destaca-se o facto do sector da agricultura ser o que menos contribui para as emissões totais em área, ao contrário dos sectores da indústria e energia e, principalmente, o sector dos transportes que são os que maior peso têm nas emissões totais.

A análise dos resultados das emissões totais para os diversos poluentes em estudo mostra que genericamente as maiores emissões são registadas nas freguesias de São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita onde a densidade urbanística e populacional é também bastante elevada. Nevogilde, Massarelos e Campanhã são as freguesias que apresentam valores mais reduzidos de emissões totais em área por quilómetro quadrado. O resumo da informação relativa aos valores de emissão total por poluente e freguesia estão apresentados na Tabela 9 para todos os poluentes analisados.

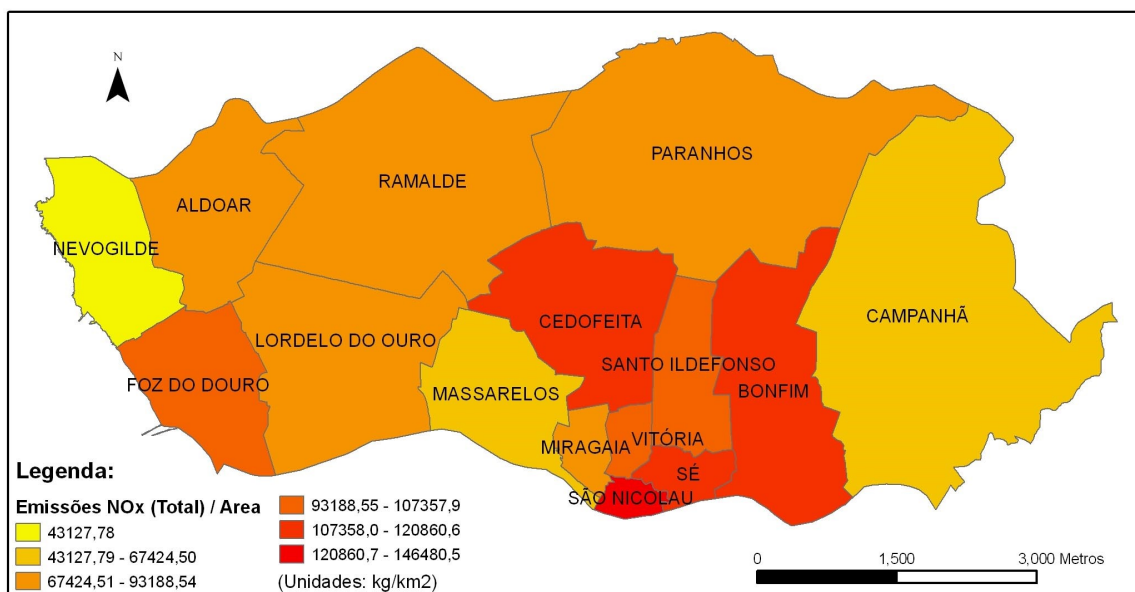


Figura 17 – Emissões totais por freguesia para o concelho do Porto para o poluente NO<sub>x</sub> para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Tabela 9 – Emissões totais para o concelho do Porto por freguesia e poluente para o ano de referência de 2003 (kg.km<sup>-2</sup>).

Local	Poluente/G.E.E (kg.km <sup>-2</sup> )						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	SO <sub>2</sub>
São Nicolau	491 181 916	177 848	34 712	2 672 004	6 385 868	871 580	652 184
Sé	204 048 390	71 886	14 384	1 107 808	2 624 047	360 010	272 202
Massarelos	19 329 003	6 797	1 372	106 962	241 272	33 706	27 252
Miragaia	31 662 616	11 091	2 519	184 744	417 867	57 640	37 353
Vitória	300 573 839	109 542	20 436	1 643 279	3 681 321	516 809	456 658
Foz do douro	36 461 726	13 512	2 587	196 486	489 732	65 700	45 759
Lordelo do Ouro	6 223 630	2 384	448	33 878	84 800	11 320	7 699
Cedofeita	22 273 838	8 137	1 617	120 702	303 361	40 517	26 429
Santo Ildefonso	46 486 806	16 602	3 297	254 973	594 038	81 897	63 260
Bonfim	10 274 080	3 625	777	58 458	132 939	18 388	13 101
Campanhã	725 063	283	59	4 385	9 734	1 340	881
Nevogilde	3 804 486	1 391	276	21 420	48 007	6 693	5 344
Aldoar	8 482 154	2 992	611	46 696	109 371	15 035	11 154
Ramalde	1 733 358	691	121	9 289	23 662	3 142	2 241
Paranhos	917 075	353	67	5 115	12 259	1 659	1 181
<b>Média</b>	<b>78 945 199</b>	<b>28 476</b>	<b>5 552</b>	<b>431 080</b>	<b>1 010 552</b>	<b>139 029</b>	<b>108 180</b>

### 3.2. Emissões de fontes em linha

No presente ponto, é apresentada a metodologia para a estimativa das emissões atmosféricas em linha, implementada no modelo de cálculo ARLIPE – Área, Line and Point Source Emission Model (Fontes et al., 2007).

De acordo com esta metodologia, as emissões totais resultantes dos veículos automóveis são calculadas efectuando a soma das emissões a quente (que corresponde ao funcionamento estável do motor), as emissões a frio (que correspondem à operação de aquecimento do motor) e as emissões correspondentes à evaporação. Neste trabalho são apenas calculadas as emissões a quente, considerando que o tráfego em análise é composto essencialmente por veículos em circulação e por isso em condições térmicas estabilizadas.

O cálculo das emissões é dado pela seguinte expressão:

$$E = FEP_{ijv} * C \quad [1]$$

Onde:

E = Emissão;

FEP = Factor de emissão ponderado;

i = Poluente;

j = Categoria de veículo;

v = Velocidade;

C = Número de veículos.

Assim, inicialmente procedeu-se ao cálculo dos Factores de Emissão Ponderados (FEP) associados ao tráfego rodoviário para os poluentes, CO, NO<sub>x</sub>, COV e PM. Estes poluentes correspondem a poluentes “regulados”, isto é, poluentes objecto de legislação relevante. Os FEP para os vários poluentes foram calculados tendo por base o relatório EMEP/CORINAIR (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe/CORe INventory AIR emissions), (EMEP/CORINAIR, 2006). Para a estimativa dos FEP recorreu-se aos volumes de tráfego por categoria de veículo, à idade, à cilindrada, à tara, ao tipo de combustível e à velocidade média de deslocação segundo uma metodologia desenvolvida por Barros et al., (2004).

$$FEP_{ijv} = \left[ \%_g * \sum_{n=1}^x (\%_n * FE_{ng})_{ijv} \right] + \left[ \%_d * \sum_{n=1}^x (\%_n * FE_{nd})_{ijv} \right] \quad [2]$$

Onde:

- i = Poluente;
- j = Categoria de veículo;
- v = Velocidade;
- n = Classes de idade dos veículos;
- g = Gasolina;
- d = Diesel;
- % g = Percentagem de veículos a gasolina;
- % d = Percentagem de veículos a gasóleo;
- % n = Percentagem de veículos da classe de idades n;
- x = Número de classes de idades.

Os dados do número de veículos disponíveis dizem respeito ao volume total de tráfego em circulação não efectuando distinção entre categorias. Tendo em conta as definições adoptadas pelo EMEP/CORINAIR (2006) e pelo Instituto de Seguros de Portugal (ISP, 2003), estes dados foram desagregados considerando seis categorias de veículos:

- a) Ligeiros de passageiros: englobam os ligeiros particulares, praças, táxis, aluguer sem condutor para transporte de passageiros com o máximo de 9 lugares;
- b) Ligeiros de mercadorias: englobam os ligeiros particulares de carga até 1600 kg de peso bruto, ligeiros sem condutor de carga até 3,5 toneladas, misto particular, camionetas;
- c) Pesados de passageiros: englobam os autocarros;
- d) Pesados de mercadorias: englobam os reboques e os camiões com peso bruto entre 3,5 e 16 toneladas;
- e) Motociclos > 50 cm<sup>3</sup>;
- f) Motociclos < 50 cm<sup>3</sup>.

A Figura 18 descreve a metodologia *bottom-up* implementada pelo modelo ARLIPE para o cálculo de emissões em linha.

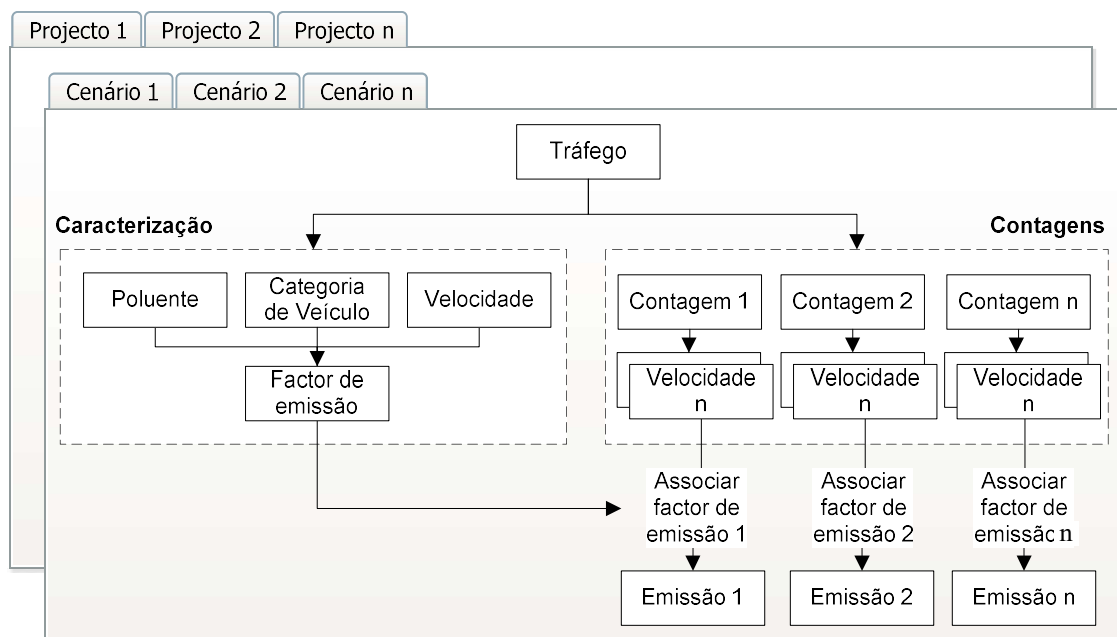


Figura 18 – Metodologia *bottom-up* usada no cálculo das emissões em linha no modelo ARLIPE (Fontes et al, 2007).

Dada a ausência de dados de contagens de tráfego na Avenida da Boavista foi considerada apenas uma via de tráfego: a Via de Cintura Interna (VCI). Por outro lado, como não existem contadores automáticos do sistema SIGA na Via de Cintura Interna foram usadas as contagens manuais de tráfego realizadas no âmbito do projecto ImpactAir (Barros et al. 2005). Dada a dimensão da VCI, cerca de 11 km, esta foi dividida em quatro sub-domínios considerados representativos: Boavista, Prelada, Amial e Antas. A Tabela 10 mostra as suas características e a Figura 19 apresenta a sua localização.

As contagens na VCI foram efectuadas por categoria de veículo, ao longo de 24 horas, em períodos alternados de 15 minutos, perfazendo um total de 48 períodos por dia, o que equivale a 12 horas de contagens por ponto e sentido de tráfego. Admitiu-se assim, que os períodos alternados de 15 minutos, num total de meia hora, são representativos da hora em que se inserem. Foram amostrados nove dias (Tabela I do Anexo I). Destes, em dois dias, um na zona do Amial e outro na zona da Prelada, por razões técnicas, não foi possível amostrar a totalidade do dia, ficando apenas disponíveis 8 e 16 horas de amostragens, respectivamente.

Pelo facto da VCI se tratar de uma auto-estrada, os motociclos com menos de 50 c.c. não foram considerados a circular nesta via.

Tabela 10 – Número médio diário de veículos em 2004 nas vias de tráfego consideradas (Barros et al., 2005).

Local	Comprimento	N.º médio diário de veículos	Fonte de dados
VCI: zona da Boavista	2,5 km	119 815	Contagens manuais realizadas entre 30/03 e 05/04/2004 (Anexo I)
VCI: zona da Prelada	1,85 km	148 737	
VCI: zona do Amial	1,6 km	124 072	
VCI: zona das Antas	5 km	84 390	

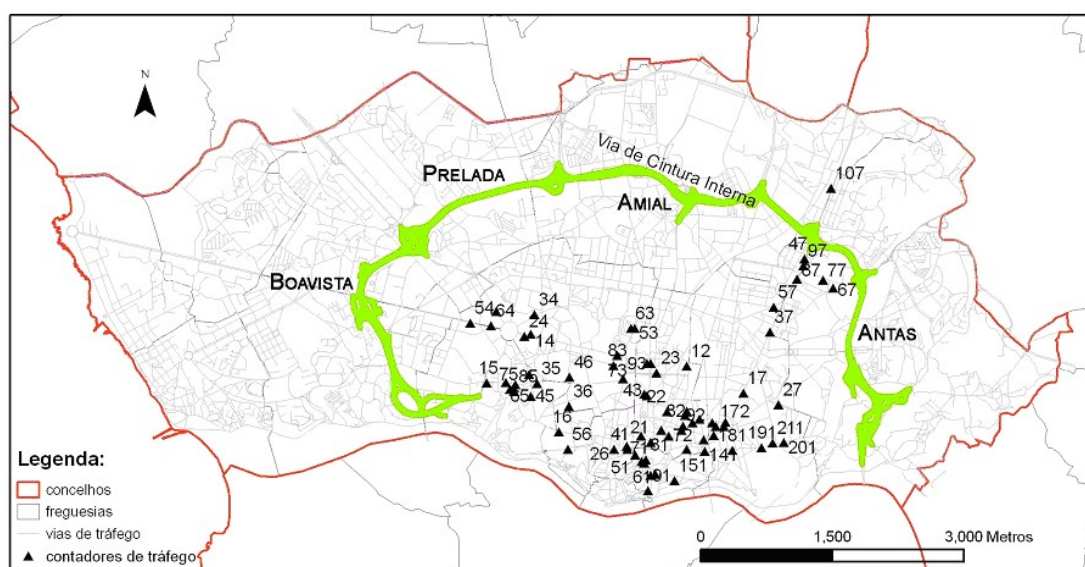


Figura 19 – Localização dos contadores de tráfego do sistema SIGA e das vias de tráfego em análise: VCI.

Como referido, o factor de emissão para cada categoria de veículo do parque automóvel português foi seleccionado e ponderado de acordo com a idade, cilindrada, tara, tipo de combustível e velocidade média de deslocação de acordo com dados médios do parque automóvel nacional. De acordo com medições efectuadas na VCI foi considerada a velocidade média e circulação de 75 km.h<sup>-1</sup>. Para a determinação dos factores de emissão aplicando a metodologia EMEP/CORINAIR foram tidos em conta os factores constantes na Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros tidos em conta para a estimativa das emissões em linha na VCI (<http://www.autoinforma.pt/>; ACAP (2001); CENSOS 2001).

		Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50cm <sup>3</sup> )
Distribuição dos veículos por categoria	VCI: Boavista	77,5%	11,9%	0,2%	10,0%	0,4%
	VCI: Prelada	87,0%	9,2%	0,3%	3,0%	0,5%
	VCI: Amial	87,2%	9,4%	0,2%	2,7%	0,5%
	VCI: Antas	78,8%	12,7%	0,5%	7,7%	0,4%
Combustível	Gasolina	62,7 %	2,00%	0,0%	10,0%	100,0%
	Gasóleo	37,4%	98,00%	100,0%	100,0%	0,0%
Classe de idade	[0-5]: 26,2%	[0-5]: 28,0%	[0-5]: 23,9%	[0-5]: 15,6%	[0-5]: 37,2%	
	]5-10]: 34,8%	]5-10]: 31,9%	]5-10]: 21,8%	]5-10]: 24,3%	]5-10]: 32,9%	
	]10-30]: 39,0%	]10-30]: 40,1%	]10-30]: 54,3%	]10-30]: 60,0%	]10-30]: 29,9%	
Cilindrada (l)	[<1,4]: 50,1%	[<1,4]: 63,8%	[<28]:100%	[<7,5]: 3,9%	[50-250]: 31,6%	
	]1,4-2,0]: 42,7%	]1,4-2,0]: 36,2%		]7,5-16]: 23,4%	]250-750]: 38,8%	
	]2,0]: 7,2%			]16,-32]: 72,6%	]750]: 29,6%	

### 3.2.1. Análise dos resultados

A análise da distribuição percentual das diferentes classes de veículos mostra que, em média, na VCI, durante o período de amostragem, circularam cerca de 119 mil veículos por dia em ambos os sentidos, dos quais 82,6% eram ligeiros de passageiros, 10,8% eram ligeiros de mercadorias, 5,9% eram pesados de mercadorias e apenas 0,3% eram pesados de passageiros. Os motociclos constituíam a fracção restante, cerca de 0,4%. Esta distribuição média flutua relativamente pouco entre os dois sentidos de tráfego (Arrábida/Freixo ou Freixo/Arrábida). Verifica-se uma diferença significativa no padrão de distribuição de fim-de-semana quando comparado com o verificado ao longo da semana de trabalho, em particular relativamente a ligeiros de passageiros e pesados de mercadorias, atingindo os primeiros quotas 10 a 20% mais elevadas ao fim-de-semana e os segundos apenas valores residuais, em particular, ao Domingo, como seria de esperar, dada a legislação em vigor limitativa da circulação deste tipo de veículo.

Em termos de distribuição percentual das diferentes classes de veículos nos diferentes sub-domínios da VCI durante a semana de trabalho, verifica-se que os sub-domínios da Prelada e do Amial apresentam um perfil de tráfego essencialmente associado aos ligeiros de passageiros ao contrário dos sub-domínios da Boavista e das Antas, onde o tráfego pesado de mercadorias tem

um volume significativo. Este padrão de distribuição indicia a presença de tráfego pesado de longo curso nos sub-domínios das Antas e da Boavista, justificado pela presença dos nós de Francos e das Antas, ambos distribuidores de tráfego para Norte.

Em termos de pesados de passageiros, a sua presença é baixa face às restantes classes e praticamente constante, quer em termos temporais, quer em termos espaciais. Os motociclos apresentam uma peso relativamente baixo, sendo apenas de destacar o sua maior expressão, face aos restantes sub-domínios, no sub-domínio da Boavista (Barros et al, 2005).

A análise do FEP para o CO mostra que os motociclos emitem entre 3 a 6 g.km<sup>-1</sup>. Verifica-se ainda que os veículos ligeiros de passageiros emitem entre 4 a 5 vezes mais do que os veículos ligeiros de mercadorias. Quanto aos veículos pesados, os FEP calculados são muito semelhantes entre si, em média 0,6 g.km<sup>-1</sup>. A variação dos FEP com a velocidade mostra que todas as categorias emitem mais CO à velocidade de 20 km.h<sup>-1</sup>, com excepção dos motociclos onde a emissão é também elevada a 100 km.h<sup>-1</sup> (Figura 20).

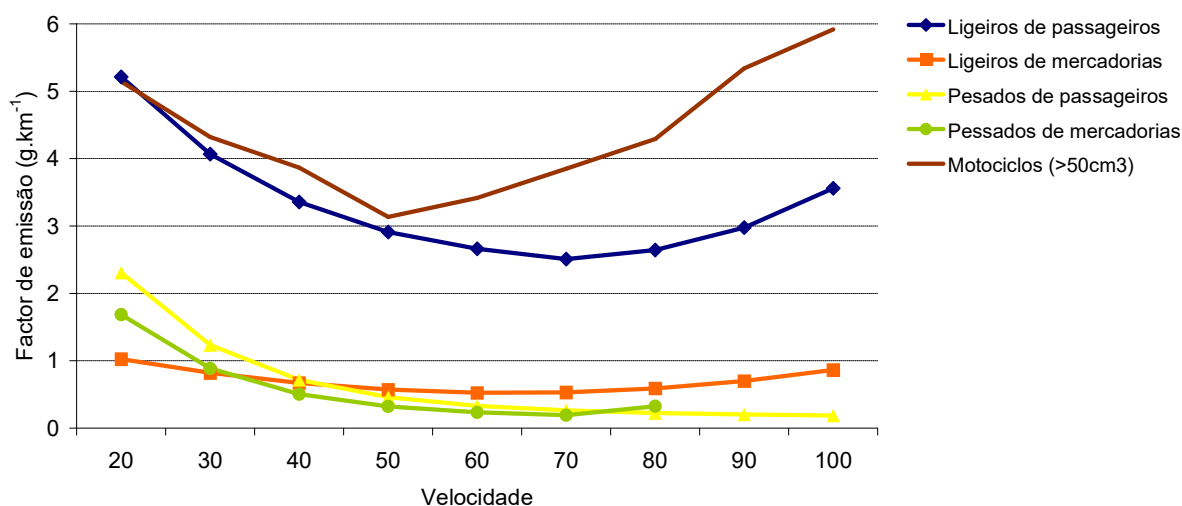


Figura 20 – Resultados do FEP para o poluente CO em função da velocidade.

Relativamente aos FEP do NO<sub>x</sub> constata-se que os veículos pesados emitem quantidades muito superiores aos das restantes categorias, entre 0,2 e 5,2 g.km<sup>-1</sup>, sendo os motociclos os que apresentam valores mais reduzidos, entre 0,09 e 0,18 g.km<sup>-1</sup>. Verifica-se uma tendência decrescente das emissões com a velocidade (Figura 21).

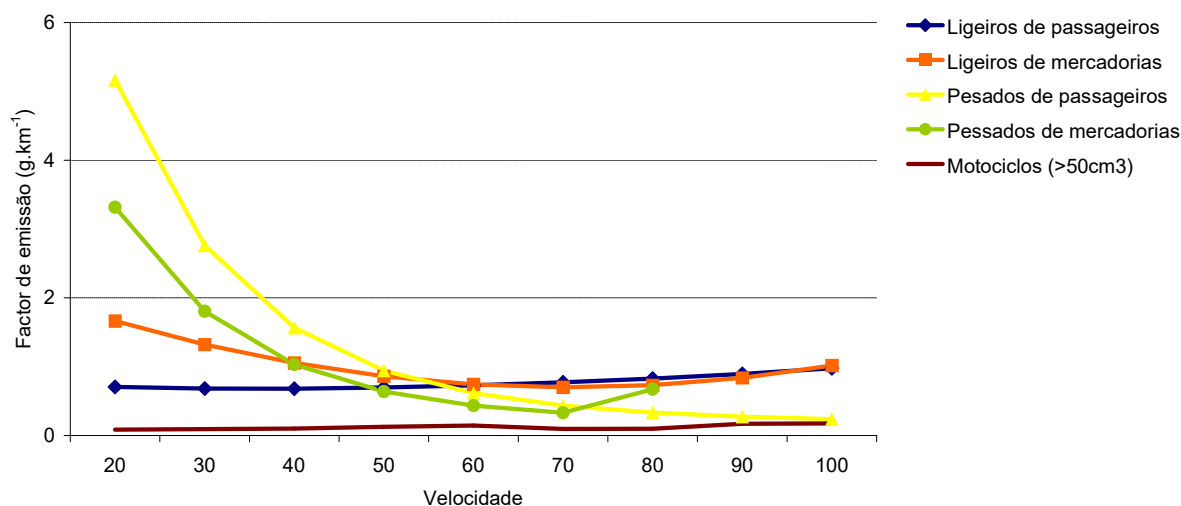


Figura 21 – Resultados do FEP para o NO<sub>x</sub> em função da velocidade.

A análise do FEP dos COV's, tal como referido previamente, mostra que os motociclos são a classe de veículos que mais emitem, entre 0,7 e 1,5 g.km<sup>-1</sup>. Os veículos pesados assim como os veículos ligeiros de passageiros emitem em média 0,3 g.km<sup>-1</sup>, enquanto que os ligeiros de mercadorias emitem um pouco menos, em média 0,1 g.km<sup>-1</sup>. Com exceção dos motociclos, a análise em função da velocidade mostra que a emissão diminui com o aumento da velocidade (Figura 22).

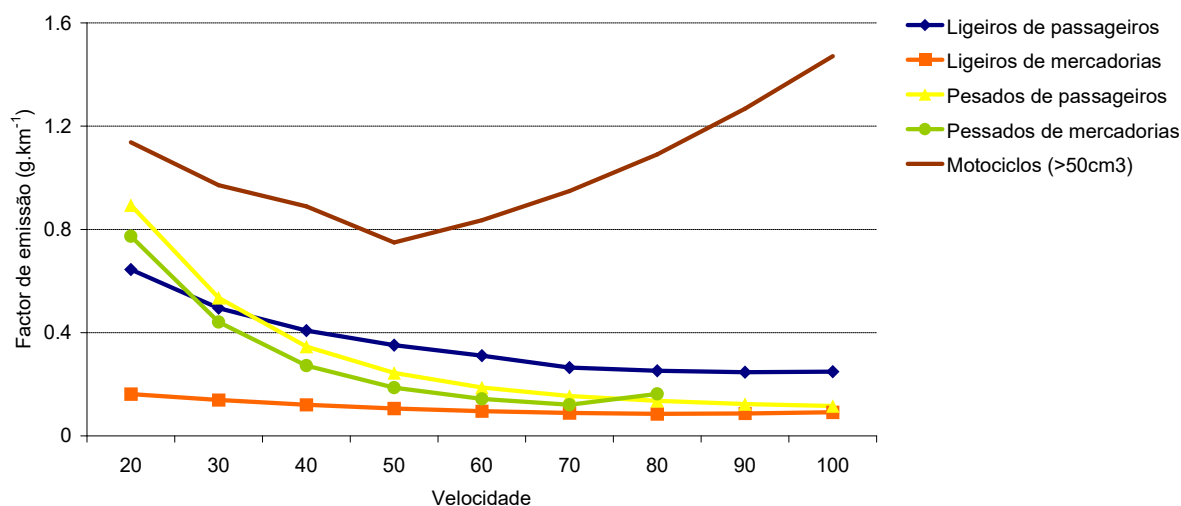


Figura 22 – Resultados do FEP para o poluente COV em função da velocidade.

Em relação às PM, os veículos pesados, nomeadamente os de mercadorias, são os principais responsáveis pela emissão deste poluente. Enquanto que nos veículos pesados a emissão tende a diminuir com a velocidade, nos veículos ligeiros verifica-se que a emissão mínima é atingida à velocidade intermédia (entre os 50 e 70 km.h<sup>-1</sup>) (Figura 23).

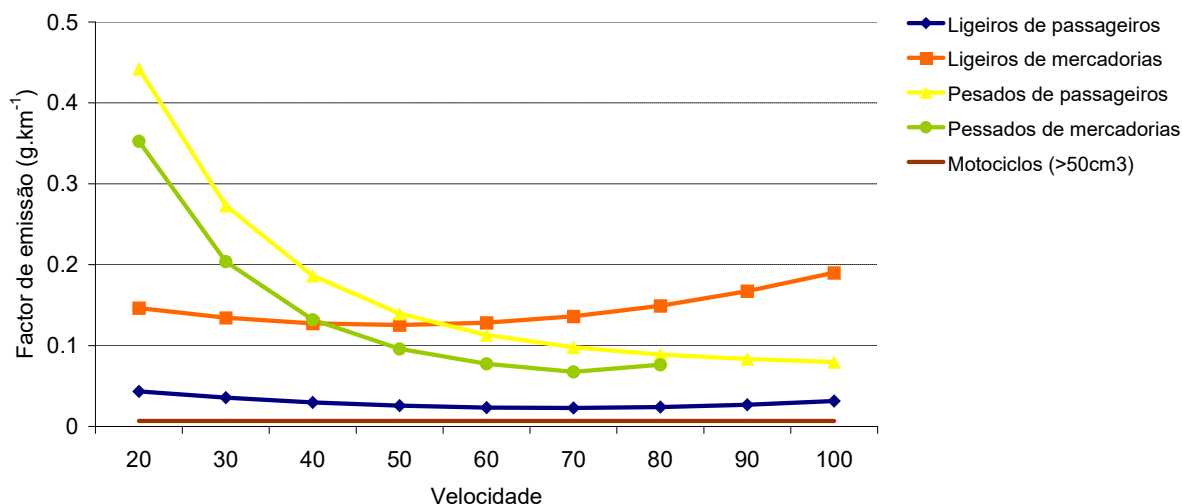


Figura 23 – Resultados do FEP para o poluente PM em função da velocidade.

Relativamente às emissões ocorridas durante o período analisado, verificou-se que o maior volume se verificou no sub-domínio da Prelada, que corresponde também ao local onde o volume de tráfego total é maior.

À semelhança da variação diária do tráfego, a análise das emissões permitiu constatar que os valores mínimos são registados durante a noite, entre as 04h00 e as 06h00, enquanto que os máximos se registam durante a manhã, entre as 09h00 e as 21h00, sendo esta essencialmente marcada pela circulação de veículos ligeiros de passageiros. Durante o período diurno a variação não é muito significativa.

No que respeita às emissões de CO e COV estas são essencialmente provenientes da circulação de veículos ligeiros de passageiros (cerca de 95%). No que respeita ao NO<sub>x</sub> a influencia dos veículos ligeiros de passageiros é maioritária (84%), sendo também importante a contribuição dos veículos ligeiros e pesados de mercadorias cuja contribuição ronda os 10% e os 5% respectivamente. Em relação às PM, os veículos ligeiros de passageiros são também a categoria com maior peso (48%) sendo o restante essencialmente emitido pelos veículos ligeiros e pesados de mercadorias cuja contribuição ronda os 41% e os 11%.

No que respeita às quantidades emitidas, verifica-se que a globalmente a VCI emite anualmente, em média, 963 mil kg de CO, 344 mil kg de NO<sub>x</sub>, 102 mil kg de COV e 17 mil kg de PM. Comparativamente com o total em área, verifica-se que esta



grande via de tráfego corresponde, em média, a 16% do total das emissões rodoviárias da cidade do Porto

As Figura 24 à Figura 27 apresentam a distribuição média horária das emissões para os diversos poluentes em análise e as Tabela 12 à Tabela 15 mostram as emissões totais por ano e sub-domínio.

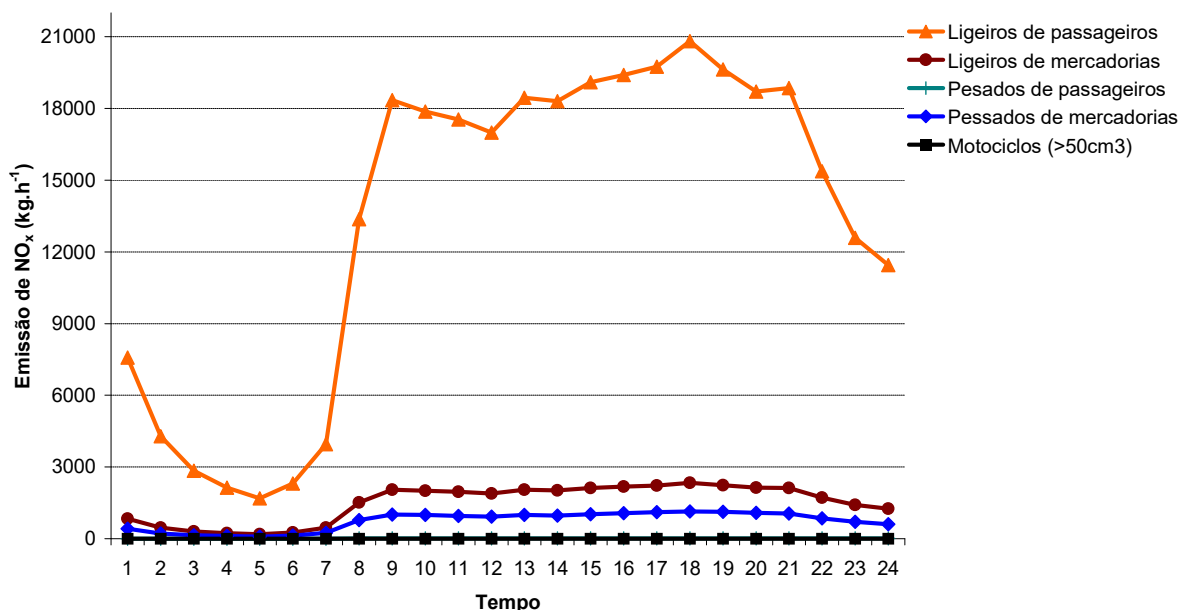


Figura 24 – Emissão de NO<sub>x</sub> para a VCI por categoria de veículo (kg.h<sup>-1</sup>).

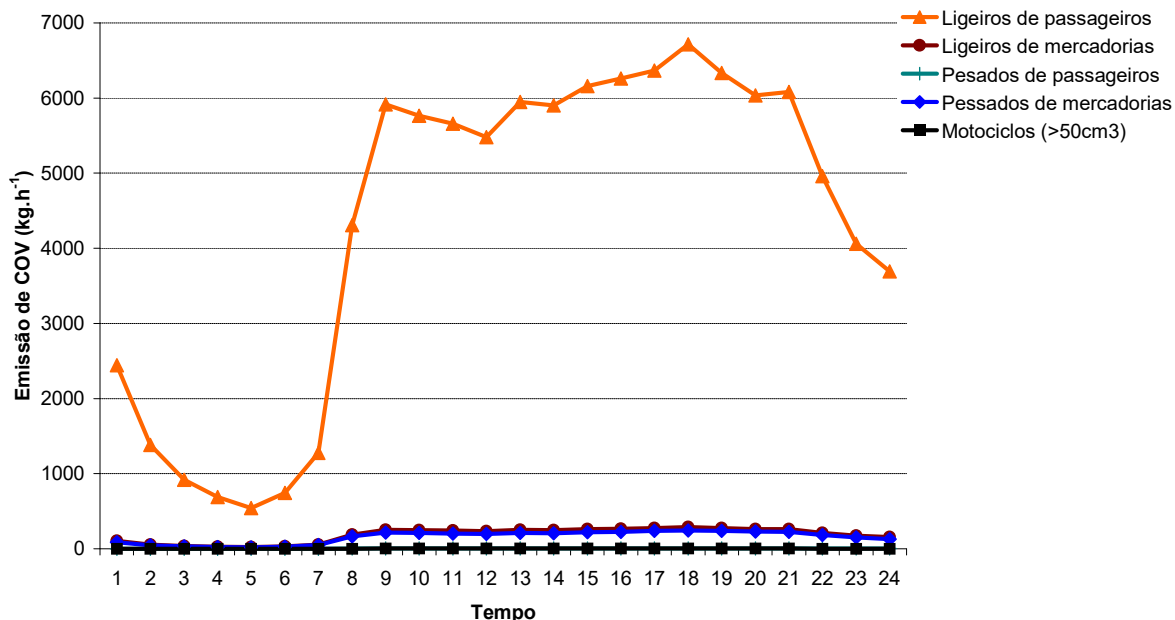


Figura 25 – Emissão de COV para a VCI por categoria de veículo (kg.h<sup>-1</sup>).

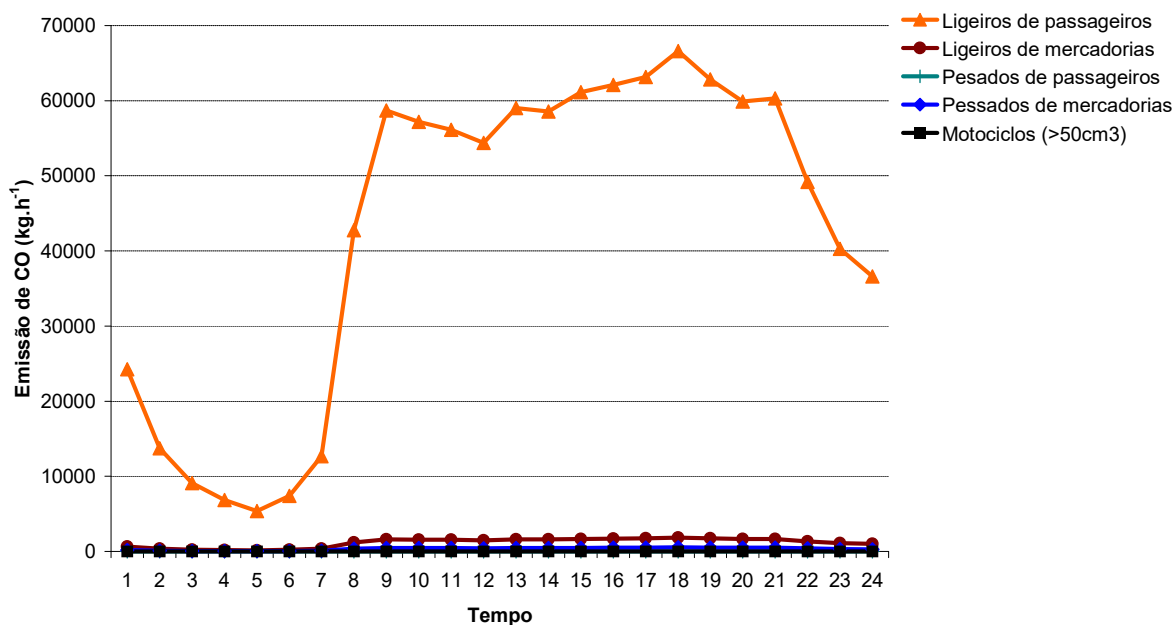


Figura 26 – Emissão de CO para a VCI por categoria de veículo (kg.h<sup>-1</sup>).

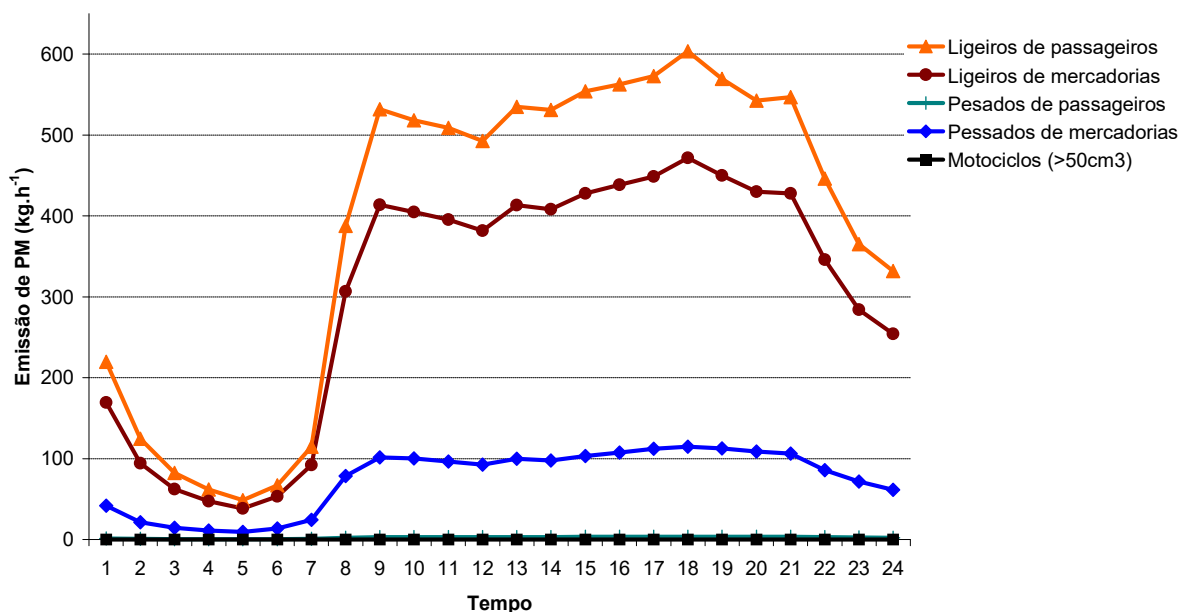


Figura 27 – Emissão de PM para a VCI por categoria de veículo (kg.h<sup>-1</sup>).

Tabela 12 – Resultados das emissões de NO<sub>x</sub> das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de NO <sub>x</sub> (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm <sup>3</sup> )
VCI: zona da Boavista	84 187	67 622	9 180	81	7 304	1
VCI: zona da Prelada	78 570	69 904	6 535	112	2 018	1
VCI: zona do Amial	58 136	51 850	4 942	0	1 344	1
VCI: zona das Antas	122 744	100 234	14 300	0	8 209	1

Tabela 13 – Resultados das emissões de CO das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de CO (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm <sup>3</sup> )
VCI: zona da Boavista	227 059	216 369	7 213	50	3 389	0
VCI: zona da Prelada	229 856	223 671	5 135	69	936	44
VCI: zona do Amial	170 444	165 906	3 883	0	624	32
VCI: zona das Antas	335 819	320 718	11 236	0	3 809	55

Tabela 14 – Resultados das emissões de COV das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de COV (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm <sup>3</sup> )
VCI: zona da Boavista	24 531	21 811	1 128	29	1 555	0
VCI: zona da Prelada	23 830	22 547	803	40	429	10
VCI: zona do Amial	17 625	16 724	607	0	286	8
VCI: zona das Antas	35 848	32 330	1 757	0	1 747	13

Tabela 15 – Resultados das emissões de PM das fontes em linha para o domínio de estudo (kg) para o ano 2004.

Local	Emissão de PM (kg)					
	Total	Ligeiros de passageiros	Ligeiros de mercadorias	Pesados de passageiros	Pesados de mercadorias	Motociclos (>50 cm <sup>3</sup> )
VCI: zona da Boavista	4 562	1 961	1 849	18	734	0
VCI: zona da Prelada	3 571	2 027	1 317	25	203	0
VCI: zona do Amial	2 634	1 504	996	0	135	0
VCI: zona das Antas	6 613	2 907	2 881	0	825	0

### 3.3. Emissões de fontes pontuais

Nas fontes pontuais foram incluídas todas as fontes fixas incluídas na base de dados do European Pollutant Emission Register (EPER) relativas ao domínio de estudo e respectiva área envolvente considerada passível de influenciar a sua qualidade do ar. Estas unidades desenvolvem actividade nos sectores têxtil, transformação, produção e processamento de metais e cogeração. Os mapas da Figura 28 mostram a evolução do número de fontes de emissão de 2001 para 2004.

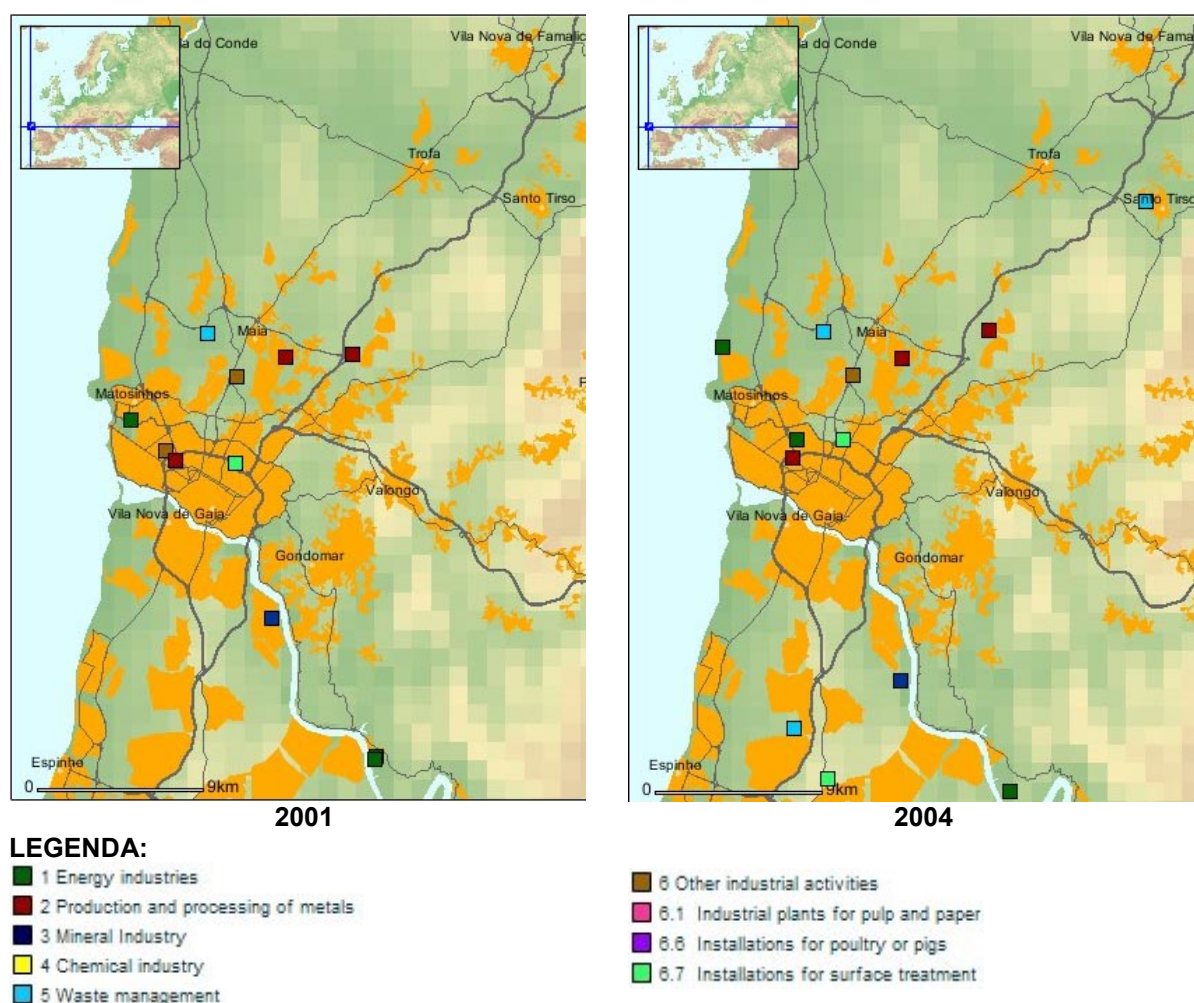


Figura 28 – Localização das indústrias identificadas pelo EPER com emissões atmosféricas no domínio de estudo e áreas envolventes (<http://www.eper.cec.eu.int/>).

A Tabela 16 apresenta o inventário das fontes emissoras identificadas no domínio de estudo e sua área envolvente. As emissões são constituídas por diversos tipos de poluentes, nomeadamente, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COVNM, CH<sub>4</sub> e metais (níquel, zinco, cádmio, etc.).

Tabela 16 – Emissões atmosféricas das indústrias identificadas pelo EPER no domínio de estudo (<http://www.eper.cec.eu.int/>).

Empresa	Longitude / Latitude	Poluente	Quantidade (toneladas)	
			2001	2004
RAR – Cogeração Unipessoal Lda.	-8.645628 / 41.174586	SO <sub>2</sub>	-	158
		Níquel	-	0,0918
Monteiro Ribas - Indústrias SA	-8.617592 / 41.183216	COVNM	1400	770
Erneste do Sousa Ribeiro SA	-8.644076 / 41.166507	Tricloroetano	60	47
Unidade Fabril de Avintes	-8.531148,4 / 1.086923	NO <sub>x</sub>	429	192
		SO <sub>x</sub>	206	307
		Arsénio	-	0,0232
		Chumbo	0,706	0,348
Aterro Sanitário de Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira (Sermonde)	-8.584110 / 41.047243	CH <sub>4</sub>	-	372
Soplaril Portugal-Industria de transformação e venda de suportes flexíveis para embalagem, Lda	-8.553568 / 41.030773	COVNM	-	863
SN MAIA Siderurgia Nacional, SA	-8.554412 / 41.257542	CO	-	2 660
		CO <sub>2</sub>	535 000	167 000
		NO <sub>x</sub>	134	143
		SO <sub>x</sub>	243	241
		Arsénio	-	0,0571
		Níquel	0,191	0,0898
		Chumbo	0,671	0,616
		Zinco	6,73	3,18
		PM10	-	73,2
Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro	-8.441872 / 41.057915	CO <sub>2</sub>	2 720 000	2 310 000
		N <sub>2</sub> O	-	31,5
		NO <sub>x</sub>	3 170	2 410
PortCast, Fundação nodular SA	-8.600008 / 41.229552	Cádmio	0,015	0,0241
		Mercúrio	-	0,138
Unicer Cervejas SA - Centro de Produção de Leça do Balio	-8.626640 / 41.213630	NO <sub>x</sub>	389	319
Central de Tratamento de Resíduos Urbanos do Grande Porto	-8.652983 / 41.227506	CO <sub>2</sub>	-	369 000
		NO <sub>x</sub>	259	383
		HCl	17	12,3
Refinaria do Porto	-8.710568 / 41.202227	CO	-	313 000
		CO <sub>2</sub>	958 000	1 130 000
		N <sub>2</sub> O	-	11,3
		COVNM	-	374
		NO <sub>x</sub>	2 380	2 660
		SO <sub>x</sub>	15 400	10 700
		Cádmio	0,269	0,523
		Crómio	1,7	0,532
		Cobre	-	0,275
		Níquel	11,4	1,42
Zinco	-	1,58		
Aterro Sanitário de Santo Tirso	-8.488712 / 41.342600	CH <sub>4</sub>	-	156

Da análise dos dados da Tabela 16 verifica-se que de 2001 para 2004 a emissões



tem vindo a diminuir. Por outro lado a análise dos mapas da Figura 28 mostra que o número de empresas situadas nos concelhos vizinhos ao Porto têm vindo a aumentar, de 7 em 2001, para 10 em 2004 (dois aterros sanitários e uma empresa de tratamentos de superfície e produtos orgânicos solventes).

Como anteriormente referido, estas fontes foram integradas na base de dados criada durante este trabalho.

## 4. Conclusão

A presença de poluentes na atmosfera tem efeitos na qualidade de vida e saúde humana, impacte na fauna e flora, bem como nos materiais, no clima e nas características da atmosfera. A exposição por curtos períodos a concentrações elevadas de poluentes atmosféricos tem impactos associados facilmente identificados. No entanto, exposições prolongadas a concentrações relativamente baixas têm efeitos cujo conhecimento está ainda em clara evolução, pois dependem da amplitude temporal que pode ainda não ter sido atingida. Apesar de ser vastíssimo o conjunto dos compostos que actualmente são considerados poluentes atmosféricos, pode-se encontrar um grupo mais restrito, sobre o qual recai hoje em dia o maior número de estudos e políticas de controlo como sejam, as PM, o SO<sub>2</sub>, os NO<sub>x</sub>, o CO e um conjunto de COV's. Acrescem a estes gases poluentes, os gases com efeito de estufa (GEE), tais como o CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub>.

Com este trabalho pretendeu-se efectuar uma avaliação da situação das emissões provenientes de vários tipos de fontes localizadas na cidade do Porto. Assim, concluiu-se que:

### 1. Emissões de fontes em área

Pela análise das emissões por freguesia segundo origem da fonte, verifica-se que a maioria das emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO e COVNM, são provenientes do sector dos transportes rodoviários, enquanto as emissões de CH<sub>4</sub> são maioritariamente provenientes do sector do comércio, instituições e zonas residenciais e o SO<sub>2</sub> é fundamentalmente proveniente do sector industrial e de produção de energia.

A análise espacial por freguesia, fonte e poluente mostra que em termos de emissões totais em área as maiores emissões se registam na freguesia de São Nicolau, enquanto que as menores emissões se registam nas freguesias de Nevogilde, Massarelos e Campanhã.

Em relação à análise por sector de actividade, verifica-se que as maiores emissões são provenientes do sector industrial e da produção de energia, bem como do sector dos transportes rodoviários, e se registam com maior expressão na freguesia da São Nicolau, Cedofeita e Bonfim. No que



respeita ao sector comercial, instituições e zonas residenciais, os resultados mais elevados em termos de emissões registam-se na zona central da cidade, nomeadamente São Nicolau, Sé, Bonfim e Cedofeita. No sector da agricultura, floresta e pescas as maiores emissões registam-se nas freguesias São Nicolau, Vitória e Foz do Douro. Globalmente as freguesias com valores mais reduzidos de emissões são Nevogilde, Massarelos e Campanhã.

Dos sectores de actividade analisados destaca-se o facto do sector da agricultura, floresta e pescas ser o que menos contribui para as emissões totais ao contrário do sector dos transportes rodoviários que corresponde ao de maior peso.

Independentemente do sector em análise, o CO<sub>2</sub> é aquele que se destaca em termos de emissão de GEE, já que apresenta sempre valores muito acima aos registados para os restantes GEEs. O N<sub>2</sub>O é o GEE cujos valores de emissão são os menores para todos os sectores em estudo.

## 2. Emissões de fontes em linha

A metodologia utilizada, permite verificar que os motociclos são a categoria de veículos que apresenta um Factor de Emissão Ponderado (FEP) mais elevado para o CO e para os COV's, enquanto que os veículos pesados são a categoria de veículos que apresenta um FEP mais elevado para o NO<sub>x</sub> e para as PM.

Os resultados das emissões em linha para a VCI indicam que os veículos ligeiros de passageiros são os veículos que maior quantidade de poluentes emite. De acordo com o poluente considerado, as emissões relativas variam entre os 48% e os 95%.do tal de emissões. Este aspecto toma especial relevância na zona da Prelada, onde o volume de tráfego é maior. Os picos de emissão ocorrem durante o período diurno entre as 10h0 e as 21h00, mantendo-se relativamente constante durante todo dia, enquanto que os valores mínimos registam-se por volta das 05h00. No caso do NO<sub>x</sub> e das PM a contribuição dos veículos ligeiros e pesados de mercadorias assume um papel relevante, representando cerca de 41% e 11% respectivamente. Em média, na VCI são emitidas anualmente 963 ton



de CO, 344 ton de NO<sub>x</sub>, 102 ton de COV e 17 ton de PM. Comparativamente com o total em área, verifica-se que esta grande via de tráfego corresponde, em média, a 16% do total das emissões rodoviárias da cidade do Porto.

### 3. Emissões de fontes pontuais

Segundo o EPER existem três grandes fontes emissoras no domínio de estudo. Na sua envolvente estão instaladas mais 10 que, pela sua dimensão, têm potencialmente capacidade para influenciar a qualidade do ar na cidade do Porto. Todas estas fontes emissoras foram integradas na base de dados agora constituída.



## 5. Referências

ACAP, (2001). Valores da idade do parque automóvel português. Associação do Comércio Automóvel de Portugal.

Baldasano, J. M., Power, H. (1998). Air Pollution Emissions Inventory. WIT Press.

Barros, N., Fontes, T., Brás, C. (2004). Comparação das Emissões do Tráfego Rodoviário por Análise dos Factores de Emissão. Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa, N.º 1, pp. 29.

Barros, N., Fontes, T., Brás, C., Cunha, L.M., (2005). Emissões nas Grandes Linhas de Tráfego Urbanas: O caso da VCI na cidade do Porto, Lisboa, 8.º Conferência Nacional do Ambiente.

Borrego, J. & Fonseca, C.C. (2004): Transportes e energia: em busca de solução. Transportes em revista, Ano II, n.º 6.

EMEP/CORINAIR (2006). Emission Inventory Guidebook - Technical report N.º 30, 3.º edição, Copenhaga, European Environment Agency.

Fontes, T, Barros, N., Gouveia, A., Marques, R., Borrego, C., (2007). Modelo de cálculo de emissões de poluentes atmosféricos: ARLIPE, Aveiro, 9.º Conferência Nacional do Ambiente, pp. 793-801.

Homepage da Autoinforma. [Em linha]. Disponível em <<http://www.autoinforma.pt/download/Vendas/COMPLP2002.xls>>, [Consultada em 11/02/2005].

Homepage da Direcção Geral de Geologia e Energia do Ministério das Actividades Económicas e do Trabalho. [Em linha]. Disponível em <[http://www.dge.pt/arquivo/comb\\_conc2000\\_2003.zip](http://www.dge.pt/arquivo/comb_conc2000_2003.zip)>, [Consultada em 08/01/2005].

Homepage da EMEP - Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmissions of air pollutants in Europe. [Em linha]. <<http://webdab.emep.int/>>, [Consultada em 16/05/2007].

Homepage da EPER - The European Pollutant Emission Register. [Em linha]. <<http://www.eper.cec.eu.int/>>, [Consultada em 23/04/2007].



Homepage da UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, National Inventory Submissions – Portugal. [Em linha]. Disponível em <[http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/2761txt.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761txt.php)> [Consultada em 08/01/2005].

IA (2002). Relatório do Estado do Ambiente 2001, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.

ISP (2003). Parque Automóvel Seguro 2000-2001, Instituto de Seguros de Portugal.

Torres, S. & Pereira A, Padrões Habitacionais na Área Metropolitana do Porto, Instituto Nacional de Estatística, Estatísticas & Estudos Regionais - Região Norte, Jan-Abr 1999, N.º.19.