



***Avaliação do impacto nos níveis de partículas inaláveis resultante do reforço das lavagens na Avenida da Liberdade***

FEVEREIRO 2006





## ***Avaliação do impacto nos níveis de partículas inaláveis resultante do reforço das lavagens na Avenida da Liberdade***

### **Equipa DCEA – FCT/UNL**

Prof. Doutor Francisco Ferreira (coordenação)

Eng.º Pedro Gomes

Paulo Pereira

### **Acompanhamento CCDR-LVT**

Eng.ª Luísa Nogueira

### **Acompanhamento CML**

Eng.º Fernando Santos (DLU)

Fevereiro 2006



## Índice

Resumo Executivo .....	0
1. Introdução .....	0
1.1. Enquadramento .....	0
1.2. Contexto legislativo da Qualidade do Ar em Portugal .....	0
1.3. Objectivos do Estudo .....	0
2. Metodologia .....	0
2.1.1. Amostragem de partículas.....	0
2.1.2. Análises Químicas .....	0
2.1.3. Dados de tráfego .....	0
2.1.4. Meteorologia .....	0
2.1.5. Identificação de Eventos Naturais.....	0
3. Resultados e Discussão .....	0
3.1. Análise dos dados de PM <sub>10</sub> registados dia-a-dia.....	0
3.2. Análise de perfis horários de concentração de PM <sub>10</sub> .....	0
3.3. Análises Químicas .....	0
4. Conclusões .....	0
5. Referências Bibliográficas .....	0



## Índice de Tabelas

Tabela 1: Resumo dos valores-limite estipulados para os diversos poluentes pelo Decreto-lei n.º111/2002.....	0
Tabela 2 : Valores legislados para as PM10, para protecção da saúde humana, de acordo com o Decreto-lei n.º 111/2002 .....	0
Tabela 3: Resultados de PM <sub>10</sub> obtidos para a estação de monitorização da qualidade do ar da Avenida da Liberdade .....	0
Tabela 4: Detalhes técnicos do amostrador Partisol Plus 2025.....	0
Tabela 5: Detalhes técnicos do analisador de PM <sub>10</sub> da EQA da Avenida da Liberdade .....	0
Tabela 6: Dados estatísticos de PM <sub>10</sub> e comparação com legislação para Setembro de 2004 e 2005.....	0
Tabela 7: Estatísticas descritivas das amostras de PM <sub>10</sub> recolhidas no amostrador colocado na EQA da Avenida da Liberdade .....	0
Tabela 8: Estatísticas descritivas das amostras de PM <sub>10</sub> recolhidas no amostrador colocado junto ao cinema S. Jorge .....	0
Tabela 9: Algumas estatísticas descritivas da composição química do aerossol colhido em Alfragide em 2003 .....	0
Tabela 10: Concentrações médias diárias de PM <sub>10</sub> para os diversos locais de campanha, e valores diários de precipitação e velocidade do vento.....	0
Tabela 11: Resultados dia-a-dia da campanha de medição com a estação móvel SNIF Air Lab .....	0
Tabela 12: Concentrações médias diárias de PM <sub>10</sub> na Avenida da Liberdade, em Setembro de 2004 e 2005. Os dias com Evento Natural apresentam-se a vermelho	0
Tabela 13: Altura de base da inversão térmica, para cada dia em que se verificou a sua ocorrência .....	0



## Índice de Figuras

Figura 1: Representação esquemática do enquadramento legislativo da avaliação e gestão qualidade do ar ambiente na UE e em Portugal.....	0
Figura 2: Perfil horário das concentrações de PM <sub>10</sub> obtidas para a estação da Avenida da Liberdade, em 2004 (excluindo os Domingos) .....	0
Figura 3: Camião utilizado na lavagem da rua. ....	0
Figura 4: Estação de monitorização da qualidade do ar da Avenida da Liberdade, com o Amostrador no topo.....	0
Figura 5: Amostrador colocado nas proximidades do cinema S. Jorge, junto à via lateral.....	0
Figura 6: Estação móvel de qualidade do ar SNIF Air Lab .....	0
Figura 7: Localização relativa dos equipamentos de monitorização de qualidade do ar .....	0
Figura 8: Exemplos de perfis verticais de temperatura da atmosfera, em situação normal (à esquerda) e com a ocorrência de inversão térmica (à direita) .....	0
Figura 9: Concentração de partículas à superfície para o dia 30 de Setembro, de acordo com o modelo DREAM.....	0
Figura 10: Variação diária das concentrações de PM <sub>10</sub> registadas nos dois amostradores gravimétricos, durante o mês de Setembro. Os dias correspondentes aos fins de semana estão assinalados a cinzento.....	0
Figura 11: Comparação entre as concentrações de PM <sub>10</sub> registadas nos dois amostradores e na EQA da Avenida da Liberdade, durante o mês de Setembro. Os dias correspondentes aos fins de semana estão assinalados a cinzento. ....	0
Figura 12: Concentrações médias diárias de PM <sub>10</sub> registados pelo SNIF entre os dias 16 e 23 de Setembro e respectiva comparação com os valores da EQA da Avenida	0
Figura 13: Comparação entre as concentrações de PM <sub>10</sub> registadas durante Setembro de 2004 e Setembro de 2005.....	0
Figura 14: Variação diária da concentração de PM <sub>10</sub> registada nas três EQA, Avenida de Liberdade, Olivais e Entrecampos, durante o mês de Setembro.....	0
Figura 15: Dados de tráfego diário em circulação no corredor central da Avenida da Liberdade, durante o mês de Setembro. ....	0
Figura 16: Comparação entre as concentrações de PM <sub>10</sub> e os valores de tráfego na Avenida da Liberdade. Os dias correspondentes aos fins de semana estão assinalados a cinzento.....	0
Figura 17: Comparação entre a concentração média diária de PM <sub>10</sub> e a precipitação. ....	0
Figura 18: Rosas de ventos relativas à primeira (à esquerda) e segunda (à direita) quinzenas de Setembro.....	0
Figura 19: Relação entre a altura da inversão térmica e a concentração de PM <sub>10</sub> registada na Avenida da Liberdade, durante o mês de Setembro. ....	0
Figura 20: Perfis médios horários de PM <sub>10</sub> registados na Avenida da Liberdade, durante as duas quinzenas de Setembro (sem Domingos) .....	0
Figura 21: Perfis médios horários de NO <sub>2</sub> registados na Avenida da Liberdade, durante as duas quinzenas de Setembro (sem Domingos) .....	0
Figura 22: Perfis médios horários de CO registados na Avenida da Liberdade, durante as duas quinzenas de Setembro (sem Domingos) .....	0
Figura 23: Perfis médios horários de PM <sub>10</sub> registados nas EQA da Avenida, Entrecampos e Olivais, durante a primeira quinzena de Setembro .....	0
Figura 24: Perfis médios horários de PM <sub>10</sub> registados nas EQA da Avenida, Entrecampos e Olivais, durante a segunda quinzena de Setembro .....	0
Figura 25: Evolução do perfil médio horário de PM <sub>10</sub> durante a 2 <sup>a</sup> quinzena de Setembro, e durante a 1 <sup>a</sup> semana de Outubro (excluindo Domingos).....	0
Figura 26: Comparação entre o tráfego médio horário e as concentrações médias horárias de PM <sub>10</sub> durante a 1 <sup>a</sup> quinzena de Setembro .....	0
Figura 27: Comparação entre o tráfego médio horário e as concentrações médias horárias de PM <sub>10</sub> durante a 2 <sup>a</sup> quinzena de Setembro .....	0



Figura 28: Comparação entre o tráfego médio horário registado na primeira e na segunda quinzenas de Setembro ..... 0

Figura 29: Perfis médios horários de PM<sub>10</sub> registados na EQA da Avenida, durante a primeira quinzena de Setembro de 2004 e 2005 ..... 0

Figura 30: Perfis médios horários de PM<sub>10</sub> registados na EQA da Avenida, durante a segunda quinzena de Setembro de 2004 e 2005 ..... 0

Figura 31: Comparação entre a composição química de PM<sub>10</sub> recolhidas nos dois locais de amostragem e de PM<sub>10</sub> recolhidas em Alfragide ..... 0

Figura 32: Composição relativa das PM<sub>10</sub> recolhidas na EQA, durante o período sem reforço das lavagens e durante o reforço das lavagens ..... 0

Figura 33: Composição relativa das PM<sub>10</sub> recolhidas junto ao S. Jorge, durante o período sem reforço das lavagens e durante o reforço das lavagens ..... 0

Figura 34: Composição relativa média das PM<sub>10</sub> durante um episódio de evento natural ..... 0



## Resumo Executivo

A Directiva 99/30/CE transposta para o ordenamento jurídico interno pelo Decreto-Lei nº 111/2002, de 16 de Abril fixa os valores-limite e respectivas margens de tolerância para um conjunto de poluentes, entre eles as partículas inaláveis (PM<sub>10</sub> – partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 10 µm).

No que respeita a este poluente, a qualidade do ar na cidade de Lisboa tem apresentado sistematicamente concentrações acima dos valores admitidos. Este problema é particularmente visível na estação de monitorização da qualidade do ar (EQA) da Av. Liberdade (uma das principais vias de tráfego existentes em Lisboa, com congestionamentos frequentes e grande fluxo de veículos), que apresenta valores de PM<sub>10</sub> dos mais elevados do país e do conjunto das capitais europeias. Sendo este poluente um dos que maiores preocupações levanta a nível de saúde, quer em termos de exposição aguda, quer crónica, a situação impõe uma grande prioridade na tomada de medidas.

A legislação relativa à qualidade do ar, em particular a Directiva-Quadro 96/62/CE transposta pelo Decreto-Lei nº 276/99, de 22 de Julho, obriga ao desenvolvimento de Planos e Programas no prazo de dois anos após a verificação de que o valor de concentração de um determinado poluente excedeu o valor-limite acrescido de uma margem de tolerância. Estes Planos e Programas consistem num conjunto de medidas locais, regionais e/ou nacionais a aplicar promovendo uma melhoria da qualidade do ar e que deverão assegurar o cumprimento do valor-limite do(s) poluente(s) em causa na data da sua entrada em vigor (no caso das partículas, o ano de cumprimento de 2005 já foi ultrapassado).

Neste contexto, uma das medidas sugeridas para reduzir a ressuspensão das partículas em vias de tráfego, para além da redução da velocidade dos veículos, é a promoção de uma maior frequência de lavagem das vias. Esta medida já foi testada noutros locais, sendo que apenas nalguns deles teve o efeito esperado, dado um conjunto de condições relativas à natureza do pavimento (material e estado de conservação), tipologia de veículos, velocidade dos veículos e até condições meteorológicas locais, sendo recomendável a realização de ensaios que permitam averiguar da sua eficácia em termos de custo-benefício face ao problema em causa.

Neste sentido, procedeu-se à realização de uma campanha durante o mês de Setembro de 2005, contemplando duas situações distintas:

- Entre os dias 1 e 14 de Setembro, não houve reforço das lavagens (apenas a lavagem nocturna que é efectuada diariamente neste corredor e noutras vias seleccionadas como prioritárias do ponto de vista da higiene urbana da cidade de Lisboa);
- Nos dias 15 a 30 de Setembro, efectuou-se a duplicação da lavagem do piso do corredor central da Avenida da Liberdade entre os Restauradores e o Marquês de Pombal em Lisboa, entre as 10h e as 11h da manhã, nos dias úteis e sábados (com excepção dos Domingos).

Durante este período, monitorizou-se os níveis diários de PM<sub>10</sub> em dois locais de amostragem, junto à estação de monitorização da qualidade do ar (EQA) da Avenida da Liberdade e junto ao cinema S. Jorge. Recorreu-se também aos valores de PM<sub>10</sub> registados na EQA da Avenida da Liberdade, bem como, a uma campanha de medição semanal recorrendo à estação móvel de qualidade do ar SNIF Air Lab® da FCT/UNL, entre os dias 16 e 22 de Setembro. Complementou-se esta informação



com dados de PM<sub>10</sub> e outros poluentes complementares (NO<sub>2</sub> e CO) das EQA de Entrecampos e Olivais, dados meteorológicos para o período em estudo (precipitação, direcção e intensidade do vento), e com dados de tráfego (horários e diários) em circulação na Avenida da Liberdade.

Após a recolha das partículas, efectuou-se a sua caracterização química, para melhor se identificar as fontes que as originaram, nomeadamente, o tráfego rodoviário próximo ou causas naturais distantes como sejam incêndios ou poeiras provenientes do norte de África.

Relativamente às concentrações de partículas verificadas, os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Junto ao cinema S. Jorge registaram-se concentrações mais baixas de PM<sub>10</sub>, não só devido à distância a que se encontra o analisador relativamente ao eixo da via, mas também porque o tráfego automóvel em circulação nas vias adjacentes é significativamente inferior ao que circula na via principal;
- Os níveis de PM<sub>10</sub> durante a segunda quinzena de Setembro, foram mais elevados porque influenciados fortemente por outros factores que não apenas o tráfego rodoviário, nomeadamente condições meteorológicas e intrusão de poeiras provenientes do norte de África. Os resultados das análises químicas das partículas permitem confirmar esta situação.

Relativamente ao papel do reforço das lavagens na redução dos níveis de partículas, os principais resultados indicam o seguinte:

- Efectuando uma análise mais detalhada dos dados (perfis horários médios) de PM<sub>10</sub> para ambos os períodos em estudo, é possível identificar que o reforço das lavagens deverá ter tido influência na redução das concentrações de PM<sub>10</sub> que ocorreram durante a hora de ponta da tarde. O atenuar deste segundo pico traduziu-se igualmente numa redução na ordem de alguns microgramas por metro cúbico (3 µg/m<sup>3</sup>) na média diária. Esta redução terá influência no número de dias em excedência que estejam apenas ligeiramente acima do VL diário, bem como, apesar de menor, na redução da média anual;
- Efectuando uma análise mais detalhada dos dados (perfis horários médios) de PM<sub>10</sub> para ambos os períodos em estudo, é possível identificar que o reforço das lavagens deverá ter tido influência na redução das concentrações de PM<sub>10</sub> que ocorreram durante a hora de ponta da tarde. O atenuar deste segundo pico traduziu-se igualmente numa redução na ordem de alguns microgramas por metro cúbico (3 µg/m<sup>3</sup>) na média diária. Esta redução terá influência no número de dias em excedência que estejam apenas ligeiramente acima do VL diário, bem como, apesar de menor, na redução da média anual.

Neste contexto, apesar das incertezas associadas a um estudo desta natureza, conclui-se que:

- O reforço das lavagens parece ter uma influência positiva, embora não muito significativa, na redução dos níveis de partículas na Avenida da Liberdade,
- Ponderando os custos-benefícios associados a esta medida, considera-se que, desde que se recorra a água reutilizada, e porque o volume em causa é praticamente irrelevante, a medida deve vir a ser implementada; enquanto tal não for viável, recomenda-se a articulação entre a CCDR-LVT e a Câmara Municipal de Lisboa para que em determinadas circunstâncias devidamente avaliadas de elevada





concentração de partículas, seja possível activar por períodos limitados o reforço da lavagem da Avenida da Liberdade nos moldes em que foi testada;

- Sugere-se igualmente a repetição dos testes efectuados em Setembro por um período mais longo desde que as condições meteorológicas e climáticas, bem como logísticas o tornem possível;
- Por forma a assegurar de forma integrada e cumulativa o cumprimento dos valores limite de partículas estabelecidos pela legislação, esta medida deverá ser implementada em conjunto com outras medidas sugeridas nos Planos e Programas desenvolvidos pela CCDR-LVT (por exemplo, limitação do número de veículos que diariamente circulam na Avenida da Liberdade).



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

O presente documento consiste no relatório preliminar relativo à avaliação do impacto nos níveis de partículas inaláveis ( $PM_{10}$ ) resultante do reforço das lavagens na Avenida da Liberdade, efectuado durante o mês de Setembro de 2005.

Este estudo foi elaborado para a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT) pelo Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA – FCT/UNL), em colaboração com a Câmara Municipal de Lisboa (CM Lisboa).

## 1.2. Contexto legislativo da Qualidade do Ar em Portugal

A Directiva 1996/62/CE, de 27 de Setembro, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, também denominada Directiva-Quadro da qualidade do ar, veio definir um novo quadro legislativo e estabelecer as linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar ambiente, no seio da União Europeia (UE). Esta Directiva foi transposta para o ordenamento jurídico interno pelo Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho.

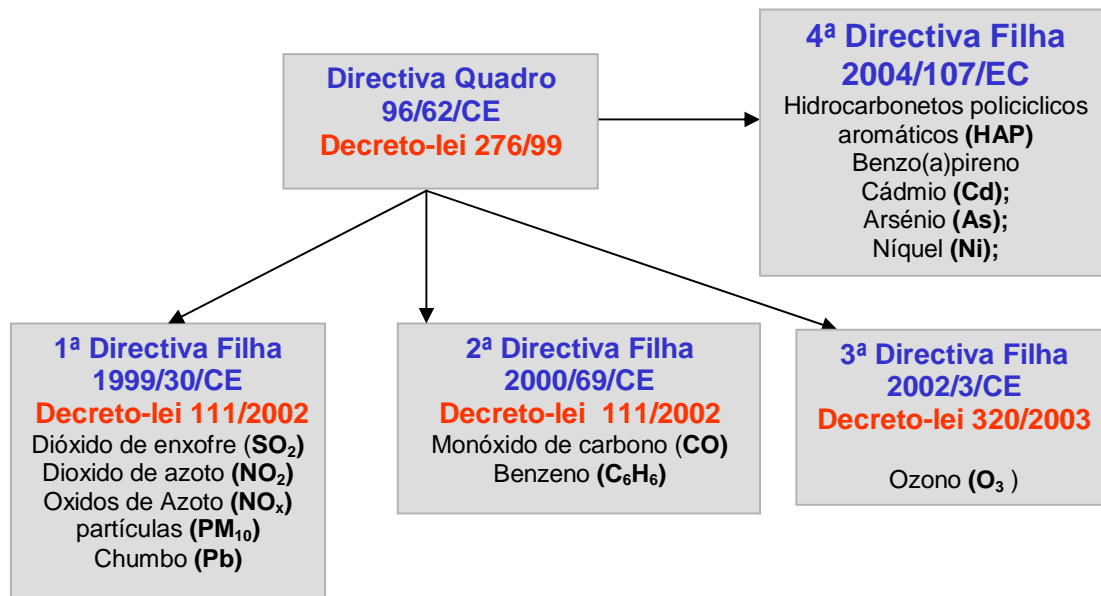
Um dos princípios base introduzidos por esta Directiva, assenta no estabelecimento de objectivos de qualidade do ar ambiente na UE, os quais visam evitar, prevenir ou limitar efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente. O diploma estabeleceu também que a avaliação da qualidade do ar deverá ser feita com base em métodos e critérios comuns em todos os Estados-Membros. Esta avaliação deverá dotar todo e cada Estado-Membro de informações adequadas sobre a qualidade do ar ambiente, por forma a que o público seja delas informado.

O artigo 8º da Directiva, referente às medidas aplicáveis nas zonas onde os níveis são superiores ao valor-limite (VL), define a obrigação dos Estados-membros estabelecerem a lista das zonas/aglomerações em que os níveis de um ou mais poluentes são superiores ao valor-limite acrescido da margem de tolerância (MT)<sup>1</sup>, ou apenas ao valor-limite se uma margem de tolerância não for aplicada. Para estas zonas, os Estados-membros devem garantir que sejam elaborados Planos e Programas, no prazo de dois anos após a verificação de que o valor de concentração de um determinado poluente excedeu o VL+MT. Estes Planos e Programas consistem num conjunto de medidas locais, regionais e/ou nacionais a aplicar para promover uma melhoria da qualidade do ar e assegurar o cumprimento do valor-limite do(s) poluente(s) em causa na data prevista.

O artigo 11º da Directiva, referente ao envio de informações e relatórios, define no nº 1, alínea a), ponto iii), a necessidade de envio dos Planos ou Programas mencionados anteriormente à Comissão Europeia, o mais tardar no prazo de dois anos após o final do ano no decurso do qual se registaram os níveis em questão. Os progressos relativos à aplicação de Planos ou Programas deverão depois ser registados, sendo enviados relatórios de três em três anos à Comissão Europeia.

<sup>1</sup> A margem de tolerância consiste numa percentagem do valor-limite que é adicionado a este e que vai sendo reduzida anualmente até ser zero à data de entrada em vigor do valor-limite.

As “Directivas-filhas” têm vindo a estabelecer os valores-limite para diversos poluentes atmosféricos. A primeira Directiva desta natureza foi a Directiva 99/30/CE, do Conselho de 22 de Abril que estabeleceu os valores-limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) e chumbo no ar ambiente. A segunda destas directivas foi a Directiva 2000/69/CE, do Parlamento e Conselho Europeu de 16 de Novembro de 2000, a qual veio estabelecer os valores-limite para o benzeno e para o monóxido de carbono. Ambos os diplomas legais foram transpostos para o direito interno através do Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril. Outras directivas abrangendo poluentes como o ozono, os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e alguns metais pesados foram posteriormente publicadas (Figura 1).



**Figura 1: Representação esquemática do enquadramento legislativo da avaliação e gestão qualidade do ar ambiente na UE e em Portugal**

Alguns dos valores-limite introduzidos começam a ser aplicados no corrente ano de 2005 (como é o caso das partículas), enquanto outros serão apenas aplicáveis em 2010 (como p.ex. o valor-limite para os óxidos de azoto), tal como indicado na Tabela 1.



Tabela 1: Resumo da data de entrada em vigor dos valores-limite estipulados para os diversos poluentes pelo Decreto-lei n.º111/2002

Legislação nacional	Poluentes	Média horária	Protecção da saúde humana		
			Máx. diário médias 8horárias	Média diária	Média anual
DL 111/2002	NO <sub>2</sub>	VL2010 MT			VL2010 MT
	PM <sub>10</sub>			VL2005 MT	VL2005 MT
	SO <sub>2</sub>	VL2005 MT		VL2005	
	Pb				VL2005 MT
	CO		VL2002		
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>				VL2010 MT

Legenda: VL – Valor-limite do ano de entrada em vigor; MT -Margem de Tolerância

Os valores-limite em vigor para as PM<sub>10</sub> apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 : Valores legislados para as PM<sub>10</sub>, para protecção da saúde humana, de acordo com o Decreto-lei n.º 111/2002

PM <sub>10</sub>		
Período de referência	Designação	Valor legislado (µg/m <sup>3</sup> )
Diário	Valor Limite (a cumprir em 2005)	50 (a não ultrapassar mais do que 35 vezes num ano – é avaliado usando o indicador <b>36º máximo diário</b> )
	Valor Limite + MT (a)	Em 2001: 70 Em 2002: 65 Em 2003: 60 Em 2004: 55
		(a não ultrapassar mais do que 35 vezes num ano – é avaliado usando o indicador <b>36º máximo diário</b> )
Anual	Valor Limite (a cumprir em 2005)	40 (é avaliado usando o indicador <b>média anual</b> )
	Valor Limite + MT (b)	Em 2001: 46 Em 2002: 45 Em 2003: 43 Em 2004: 42
		(é avaliado usando o indicador <b>média anual</b> )

Legenda: (a), (b) Margem de tolerância variável de acordo com o ano.



### 1.3. Objectivos do Estudo

As partículas constituem um grupo consideravelmente extenso de poluentes do ar ambiente, provenientes de múltiplas fontes, nomeadamente do tráfego automóvel, indústria ou de eventos naturais. Em zonas de tipologia claramente urbana como a cidade de Lisboa os transportes rodoviários são a maior fonte de poluição, sendo que se observam junto das vias de tráfego mais intenso, as maiores concentrações de partículas. As concentrações deste poluente resultam sobretudo de emissões directas do escape dos veículos, do desgaste dos pneus e dos travões, ou da ressuspensão das poeiras das estradas (CCDR-LVT e DCEA – FCT/UNL, 2005).

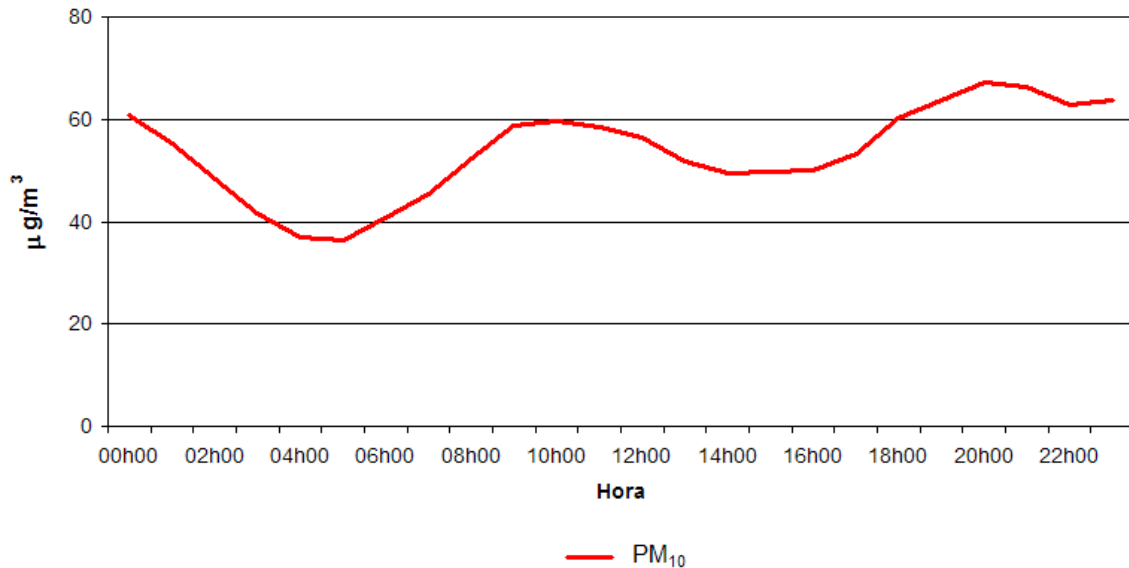
A Avenida da Liberdade é uma das principais vias de tráfego existentes em Lisboa, com congestionamentos frequentes e grande fluxo de veículos. Trata-se de uma via com elevado grau de importância na circulação rodoviária, quer por constituir um acesso aos locais mais centrais da cidade, como a Baixa, quer por constituir um ponto chave na entrada e saída da cidade (pela Auto-Estrada de Cascais – A5 e pela Auto-Estrada do Sul – A2). No que respeita aos níveis de PM<sub>10</sub>, a estação de monitorização da qualidade do ar da Av. Liberdade apresenta valores muito acima do estabelecido na legislação, dos mais elevados do país e do conjunto das capitais europeias. De facto, desde o ano de 2001 (data de entrada em vigor do Decreto-lei n.º 111/2002) que se verifica um generalizado incumprimento dos valores-limite de PM<sub>10</sub>. A situação é particularmente problemática no caso do valor-limite diário, que tem sido consecutivamente ultrapassado em mais de 100 dias por ano, ou seja, muito acima dos 35 dias permitidos (ver Tabela 3). O VL anual (sem MT) bem como o VL diário (50 µg/m<sup>3</sup>, a não ser excedido em mais do que 35 dias por ano) deveria ser cumprido no ano de 2005.

**Tabela 3: Resultados de PM<sub>10</sub> obtidos para a estação de monitorização da qualidade do ar da Avenida da Liberdade**

Tipo estação	Nome estação	Ano	Eficiência (%)	Média anual (µg/m <sup>3</sup> )	Nº dias >VL+MT	Nº dias >VL
Tráfego	Av. da Liberdade	2001	99	62	111	229
		2002	98	59	140	213
		2003	99	56	131	187
		2004	97	51	119	147

**Legenda:** VL – Valor limite; VL+MT – Valor limite acrescido de margem de tolerância

Analisando os perfis médios horários desta estação identifica-se uma influência preponderante do tráfego rodoviário nos níveis detectados, que se demonstra pela existência de dois picos no ciclo diário, correspondentes às horas de maior tráfego da manhã e do final da tarde (ver Figura 2).



**Figura 2: Perfil horário das concentrações de PM<sub>10</sub> obtidas para a estação da Avenida da Liberdade, em 2004 (excluindo os Domingos)**

Tendo em conta os elevados níveis de PM<sub>10</sub> verificados nesta zona, impõe-se o desenvolvimento e implementação de um conjunto de medidas que possibilite, num prazo tão curto quanto possível, o cumprimento dos valores-limite e, por inerência, a protecção da saúde humana.

Neste sentido, a CCDR-LVT protocolou com o DCEA/FCT/UNL a elaboração de um estudo concluído em Junho de 2005 de proposta de medidas para a melhoria da qualidade do ar nas diferentes aglomerações consideradas em termos de qualidade do ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo.

Deste trabalho resultou um conjunto de propostas que estão actualmente a ser avaliadas por diferentes entidades. Num futuro próximo, as medidas seleccionadas deverão ser aplicadas e monitorizadas, dando resposta às exigências da legislação e à previsível redução dos impactes na saúde sofridos pela população exposta a níveis demasiado elevados.

De todo um conjunto de medidas propostas e avaliadas no estudo faz parte a lavagem mais frequente de vias com tráfego intenso em que se registem elevadas concentrações de partículas. Tal escolha baseou-se no levantamento feito junto de outros centros urbanos com problemas semelhantes tendo esta medida sido avaliada e apresentada em várias conferências científicas da especialidade.

Em zonas urbanas as concentrações de partículas provenientes do tráfego automóvel resultam de emissões directas do escape dos veículos, do desgaste dos pneus e dos travões, ou da ressuspensão das poeiras das estradas quando os veículos passam. Com base em resultados de algumas análises químicas efectuadas pelo Instituto do Ambiente em Alfragide, a ressuspensão aparece como o terceiro factor mais importante na constituição das partículas, pois a composição identificada está associada a partículas provenientes do solo (material crustal) e da ressuspensão ao nível do pavimento, nomeadamente proveniente da estrada. Esta associação é suportada pela presença de elementos característicos da composição do solo como Fe, Al ou K. Fazem ainda parte integrante desta componente elementos como o chumbo (Pb), o qual tem sido frequentemente associado com a ressuspensão proveniente de estradas.



A ressuspensão de partículas, particularmente da fracção  $PM_{10}$ , é assim o resultado do movimento dos veículos sobre esses materiais depositados na via, o que faz com que estes voltem a estar em suspensão. Diversos estudos que têm vindo a ser publicados na Europa sugerem que a importância deste efeito pode ser bastante significativa, especialmente para países com climas secos como é o caso de Portugal. Alguns países onde os inventários de emissões estimam a ressuspensão de  $PM_{10}$  indicam que, no mínimo, a magnitude das emissões provenientes deste fenómeno são da mesma ordem de grandeza das emissões geradas ao nível do tubo de escape dos veículos. Na Alemanha, Pregger e Friedrich estimaram em 2002 as emissões totais de  $PM_{10}$  provenientes da ressuspensão como sendo cerca de 25% superiores às emissões ao nível do escape, utilizando o modelo US EPA AP-42 modificado; enquanto Duering e Lohmeyer derivaram factores de emissão de medições que fizeram em diversos locais em 2003 e concluíram que as emissões totais de  $PM_{10}$  eram seis vezes superiores às emissões do tubo de escape (CAFE WG, 2004 in CCDR-LVT e DCEA – FCT/UNL, 2005). A influência da ressuspensão decresce substancialmente caso se meçam fracções granulométricas mais pequenas como  $PM_{2.5}$ .

Neste contexto, uma das medidas sugeridas para reduzir a ressuspensão das partículas em vias de tráfego, para além da redução da velocidade dos veículos, é a promoção de uma maior frequência de lavagem das vias. Esta medida já foi testada noutros locais, sendo que apenas nalguns deles teve o efeito desejado, devido a um conjunto de condições relativas à natureza do pavimento (material e estado de conservação), tipologia e velocidade dos veículos e até condições meteorológicas locais cujo resultado difere de situação para situação. Recomenda-se assim a realização de ensaios que permitam averiguar da sua eficácia em termos de custo-benefício face ao problema em causa.



## 2. Metodologia

Tendo como objectivo a realização de uma comparação entre as concentrações de  $PM_{10}$  registadas na Avenida da Liberdade em situação “normal” (com apenas uma lavagem diária) e em situação de reforço das lavagens, efectuou-se uma campanha durante o mês de Setembro, contemplando duas situações distintas:

- Entre os dias 1 e 14 de Setembro, não houve reforço das lavagens (apenas a lavagem nocturna que é efectuada diariamente neste corredor e noutras vias seleccionadas como prioritárias do ponto de vista da higiene urbana da cidade de Lisboa);
- Nos dias 15 a 30 de Setembro, efectuou-se a duplicação da lavagem do piso do corredor central da Avenida da Liberdade entre os Restauradores e o Marquês de Pombal em Lisboa, entre as 10h e as 11h da manhã, nos dias úteis e sábados (com excepção dos Domingos).

Pretendeu-se com a comparação entre os valores de  $PM_{10}$  registados nas duas quinzenas de Setembro determinar se o reforço das lavagens tem influência na redução dos níveis deste poluente.

Este reforço da lavagem envolveu a mobilização de dois camiões de lavagem usando no total do circuito um volume inferior a  $18\text{ m}^3$  de água (Figura 3).



**Figura 3: Camião utilizado na lavagem da rua.**


É conveniente referir que a água utilizada para efectuar esta lavagem, bem como a restante que suporta a higiene urbana, é retirada do sistema de distribuição do concelho. Tal deve-se, de acordo com a Câmara Municipal de Lisboa, à incapacidade técnica, por agora, de recorrer à água subterrânea ou à reutilização de águas residuais de estações de tratamento, quer por incapacidade de locais com capacidade técnica para fornecer um caudal suficiente para abastecer as viaturas num tempo relativamente curto (para evitar o recurso à água da rede), quer também pelo facto dos camiões de lavagem já terem alguns anos e não conseguirem ultrapassar as insuficiências a montante em termos de bombagem.



### 2.1.1. Amostragem de partículas

No sentido de complementar a informação da Estação de Monitorização da Qualidade do Ar (EQA) situada na Avenida da Liberdade, a campanha envolveu a recolha de amostras de PM<sub>10</sub> através da utilização de dois amostradores gravimétricos de referência, Partisol<sup>®</sup> Plus 2025 (Tabela 4). Este equipamento permite recolher amostras diárias de partículas em filtros, que são pesados antes e depois da amostragem, numa balança de precisão (método de referência para a medição de PM<sub>10</sub>). Antes de cada pesagem os filtros são previamente estabilizados.

**Tabela 4: Detalhes técnicos do amostrador Partisol Plus 2025**

Poluente	Método de medição	Equipamento utilizado
Partículas de diâmetro inferior a 10 µm PM <sub>10</sub>	método gravimétrico (método de referência)	 Rupprecht & Patashnick <sup>®</sup> Partisol Plus 2025

Os amostradores foram programados para um período de integração de 24h, dado que períodos de tempo mais reduzidos poderiam levar à obtenção de dados menos fiáveis. O analisador automático da EQA da Avenida da Liberdade (método de radiação beta), permite a obtenção de dados horários, possibilitando assim a representação horária das concentrações de PM<sub>10</sub> ao longo do dia. (ver Tabela 5).

**Tabela 5: Detalhes técnicos do analisador de PM<sub>10</sub> da EQA da Avenida da Liberdade**

Poluente	Método de medição	Equipamento utilizado
Partículas de diâmetro inferior a 10 µm PM <sub>10</sub>	método de medição contínua (atenuação de radiação beta)	 Environnement <sup>®</sup> MP101M

Por forma a poder comparar os dados obtidos por estes dois métodos, um dos amostradores gravimétricos foi colocado no topo da EQA da Avenida da Liberdade, situada num dos corredores pedonais do lado direito da via (no sentido Restauradores – Marquês de Pombal), nas proximidades do Instituto Português da Juventude (Figura 4). A distância da estação ao eixo da via principal é de cerca de 10 metros.



**Figura 4: Estação de monitorização da qualidade do ar da Avenida da Liberdade, com o Amostrador no topo**

Para avaliar o efeito da dispersão de  $PM_{10}$  resultante do afastamento da via central, foi colocado outro amostrador junto a uma das faixas laterais, no terraço de um estabelecimento comercial situado junto ao cinema S. Jorge, a cerca de 30 metros do eixo da via principal (Figura 5).



**Figura 5: Amostrador colocado nas proximidades do cinema S. Jorge, junto à via lateral**

Recorreu-se também, a medições efectuadas pela estação móvel de qualidade do ar SNIF Air Lab® da FCT/UNL entre os dias 16 e 22 de Setembro. O SNIF foi instalado um pouco mais abaixo, próximo da Travessa da Glória, no lado esquerdo da via (sentido Restauradores – Marquês de Pombal), tal como se pode ver na Figura 6. Esta escolha deveu-se ao facto de ser este o local onde se espera que sejam registadas as maiores concentrações de  $PM_{10}$ , uma vez que é o ponto de

amostragem mais próximo do eixo da via (cerca de 8 metros), e também devido à presença de um cruzamento com semáforo a cerca de 25 metros do local.



**Figura 6: Estação móvel de qualidade do ar SNIF Air Lab**

A localização dos diversos equipamentos de medição utilizados encontra-se na Figura 7.



**Figura 7: Localização relativa dos equipamentos de monitorização de qualidade do ar**

Para além das concentrações de  $PM_{10}$ , analisou-se também os níveis de outros poluentes tais como o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de azoto ( $NO_2$ ), uma vez que estes poluentes são tipicamente associados ao tráfego automóvel.



Foram analisados dados de outras EQA (nomeadamente a estação de tráfego de Entrecampos e a estação de fundo urbano dos Olivais) durante o período em análise, por forma a poder comparar a evolução das concentrações de  $PM_{10}$  registadas no local em estudo e noutros locais onde não foi efectuado o reforço das lavagens.

### 2.1.2. Análises Químicas

A caracterização química das partículas é um elemento importante para melhor se identificar as fontes que as originam, nomeadamente, o tráfego rodoviário próximo ou causas naturais distantes como sejam incêndios ou poeiras provenientes do norte de África.

Neste contexto, com o objectivo de determinar a origem das partículas  $PM_{10}$  medidas na Av. da Liberdade, após a obtenção das suas concentrações mássicas, uma metade de cada filtro amostrado e de filtro branco foram sujeitas a uma digestão ácida. O método de digestão consiste sinteticamente em (Tente, 2005):

1. uma fracção do filtro é introduzido num recipiente de digestão de PTFE (*Teflon*), sendo adicionados 2.5 ml de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) e 5 ml de ácido fluorídrico (HF);
2. o recipiente fechado é aquecido durante a noite a uma temperatura de  $90^\circ C$ ;
3. após o arrefecimento do recipiente, este é aberto sendo adicionados 2.5 mL de ácido perclórico ( $HClO_4$ );
4. a digestão ácida resultante é secada numa placa de aquecimento a  $230^\circ C$ ;
5. o resíduo resultante é dissolvido com 2.5 ml de  $HNO_3$  e é transferido para um balão volumétrico, no qual água bidestilada é adicionada, por forma a que se obtenha um volume de 50 ml.

As soluções ácidas resultantes do processo de digestão dos filtros foram analisadas por Espectrofotometria de emissão atómica com acoplamento indutivo de plasma (ICP-AES), efectuada no Laboratório de Análises do Centro de Química Fina e Biotecnologia da FCT/UNL (CQFB-FCT/UNL).

A restante metade do filtro foi analisada da seguinte forma: a fracção solúvel existente num quarto ( $1/4$ ) de cada filtro foi extraída com água destilada (recorrendo a ultra-sons) a  $60^\circ C$ , para permitir a análise dos iões solúveis (por cromatografia iónica ou electroforese capilar). A determinação de iões por cromatografia iónica foi efectuada nos laboratórios do DCEA – FCT/UNL, enquanto que a determinação de iões solúveis por electroforese capilar foi efectuada no Laboratório de Referência do Instituto do Ambiente (IA), pelo Núcleo Operacional da Qualidade do Ar e do Ruído deste instituto. O último quarto ( $1/4$ ) de cada filtro foi encaminhado para a determinação do Carbono, Orgânico e Elementar (ou Negro). Esta determinação foi efectuada num analisador de Carbono Sunset Laboratory<sup>®</sup>, modelo 3, existente no Laboratório de Referência do IA.

Das amostras de  $PM_{10}$  recolhidas nos dois locais de amostragem, foram determinados os seguintes elementos:



- |     |                 |     |  |
|-----|-----------------|-----|--|
| 1.  | Al (Alumínio)   | 15. | Ti (Titânio)   |
| 2.  | As (Arsénio)    | 16. | Zn (Zinco)   |
| 3.  | B (Boro)        | 17. | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Aluminatos –<br>determinação indirecta a<br>partir dos níveis de Al)     |
| 1.  | Ca (Cálcio)     | 18. | SiO <sub>2</sub> (Silicatos – determinação<br>indirecta a partir dos níveis de<br>Al)                    |
| 2.  | Cr (Crómio)     | 19. | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (Carbonatos –<br>determinação indirecta a<br>partir dos níveis de Ca e Mg) |
| 3.  | Cu (Cobre)      | 20. | Cl <sup>-</sup> (Cloretos)   |
| 4.  | Fe (Ferro)      | 21. | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (Nitratos)  |
| 5.  | K (Potássio)    | 22. | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Sulfatos)   |
| 6.  | Li (Lítio)      | 23. | CO (Carbono Orgânico)  |
| 7.  | Mg (Magnésio)   | 24. | CE (Carbono elementar ou<br>Carbono negro)   |
| 8.  | Mn (Manganês)   |     |  |
| 9.  | Mo (Molibdénio) |     |  |
| 10. | Na (Sódio)      |     |  |
| 11. | Ni (Níquel)     |     |  |
| 12. | P (Fósforo)     |     |  |
| 13. | Pb (Chumbo)     |     |  |
| 14. | Sb (Antimónio)  |     |  |

A análise directa de Ca, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $Al/0,53 = Al_2O_3$ ), Fe, K, Mg, Ti e a determinação indirecta do Si ( $2*Al_2O_3 = SiO_2$ ) e do CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ( $1,5*Ca + 2,5*Mg = CO_3^{2-}$ ) permite a determinação da carga mineral com origem natural. Os níveis de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO e CE, bem como, os níveis de metais pesados deverão representar a carga antropogénica (emissões directas provenientes do escape e partículas secundárias), enquanto que os níveis de Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup> deverão representar a carga proveniente dos aerossóis marinhos (Williams e Bruckmann, 2001).

### 2.1.3. Dados de tráfego

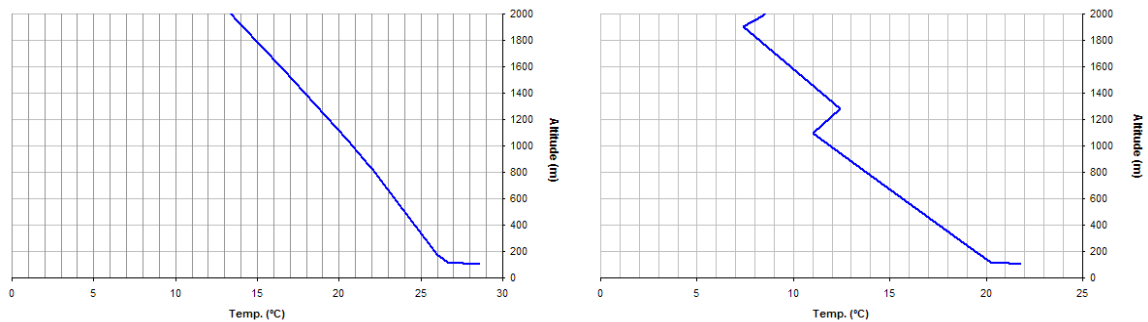
Para complementar a informação de qualidade do ar, foram também considerados os dados de contagem diária de tráfego (trânsito individual e autocarros, em ambos os sentidos) em circulação na Avenida da Liberdade (fornecidos pelo sistema GERTRUDE), durante o mês de Setembro. Por forma a poder determinar o perfil médio horário do número de veículos em circulação na Avenida, nas duas quinzenas de Setembro, utilizou-se ainda dados de contagem horária de tráfego correspondentes aos dias 5, 7, 9, 19, 21 e 23 de Setembro.

### 2.1.4. Meteorologia

Dado que as condições meteorológicas influenciam a concentração e a distribuição das PM<sub>10</sub>, utilizaram-se, para análise dos resultados da medição de partículas, dados provenientes da Estação Meteorológica Automática do Geofísico (situada na Rua da Escola Politécnica), propriedade do Instituto de Meteorologia, nomeadamente, medições da velocidade e direcção do vento e pluviosidade.

Por outro lado, foram também analisados os perfis verticais de temperatura da atmosfera (até cerca de 2000 metros de altura) registados diariamente às 12h, para identificar os dias em que se verificou a existência de fenómenos de inversão térmica. A temperatura do ar normalmente decresce com a altitude a uma razão de aproximadamente 1°C/100 m. Esta taxa de arrefecimento, devida apenas ao facto de uma massa de ar seco em ascensão ser sujeita a pressões cada vez menores (aumentando o seu volume e diminuindo a temperatura), denomina-se de gradiente adiabático. Por vezes, ocorre o encontro entre duas massas de ar diferentes, em que o ar quente passa sobre o ar frio, ficando assim acima dele.

Esta situação, denominada por inversão térmica (Figura 8), influencia as condições de turbulência e de estabilidade da atmosfera, podendo contribuir para o aumento dos níveis de poluentes na atmosfera, uma vez que propicia a ocorrência de condições desfavoráveis à sua dispersão.



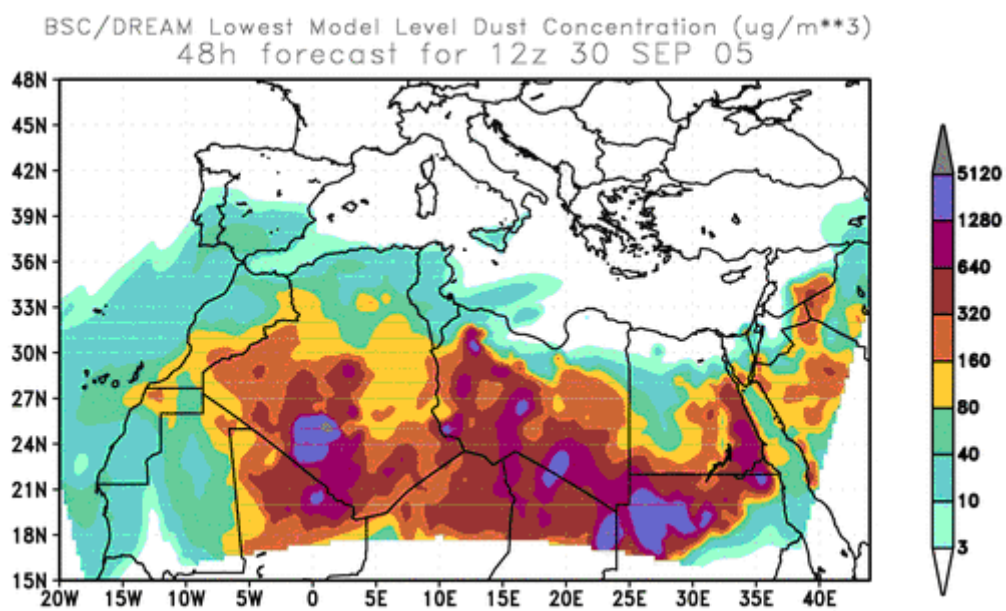
**Figura 8: Exemplos de perfis verticais de temperatura da atmosfera, em situação normal (à esquerda) e com a ocorrência de inversão térmica (à direita)**

### 2.1.5. Identificação de Eventos Naturais

Foi também analisada a ocorrência de eventos naturais (intrusão de massas de ar com elevadas concentrações de partículas provenientes do norte de África) durante o período de campanha. Os dias em que se observou intrusão de massas de ar foram identificados segundo metodologia de detecção de eventos naturais, desenvolvida pelo DCEA – FCT/UNL em colaboração com o Instituto de Ciências da Terra “Jaume Almera”. Esta metodologia recorre ao modelo DREAM (*Dust Regional Atmospheric Model*), desenvolvido pela Universidade de Malta. O resultado deste modelo dá-nos o índice de dispersão dos aerossóis. Com estes dados pode-se analisar dia a dia, qual a dispersão do índice de aerossóis sobre o território. Esta informação pode ser utilizada para explicar a ocorrência de valores mais elevados de  $PM_{10}$ .

Aplicando esta metodologia para todos os dias do mês de Setembro, foram identificados quatro dias com intrusão de massas de ar do Sahara: dia 15, 16, 29 e 30. Estes dias, dado o seu carácter excepcional, não foram tidos em conta na análise da variação das concentrações diárias de  $PM_{10}$  verificadas em ambas as quinzenas de Setembro.

Como exemplo, apresenta-se esta análise para o dia 30 de Setembro (para o qual se verificou a existência de evento natural de  $PM_{10}$ ), na Figura 9. Tendo em consideração a informação qualitativa do resultado do modelo DREAM, é possível afirmar que se está perante um evento natural. A dispersão do aerossol contribuirá para o aumento das concentrações de  $PM_{10}$  no ar ambiente e, conseqüentemente, terá a sua influência sobre os resultados das medições efectuadas na EQA da Avenida da Liberdade.



Fonte: <http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/>

Figura 9: Concentração de partículas à superfície para o dia 30 de Setembro, de acordo com o modelo DREAM

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Análise dos dados de $PM_{10}$ registados dia-a-dia

As concentrações diárias de  $PM_{10}$  registadas durante o mês de Setembro, para os dois amostradores gravimétricos (S. Jorge e EQA) encontram-se na Figura 10.

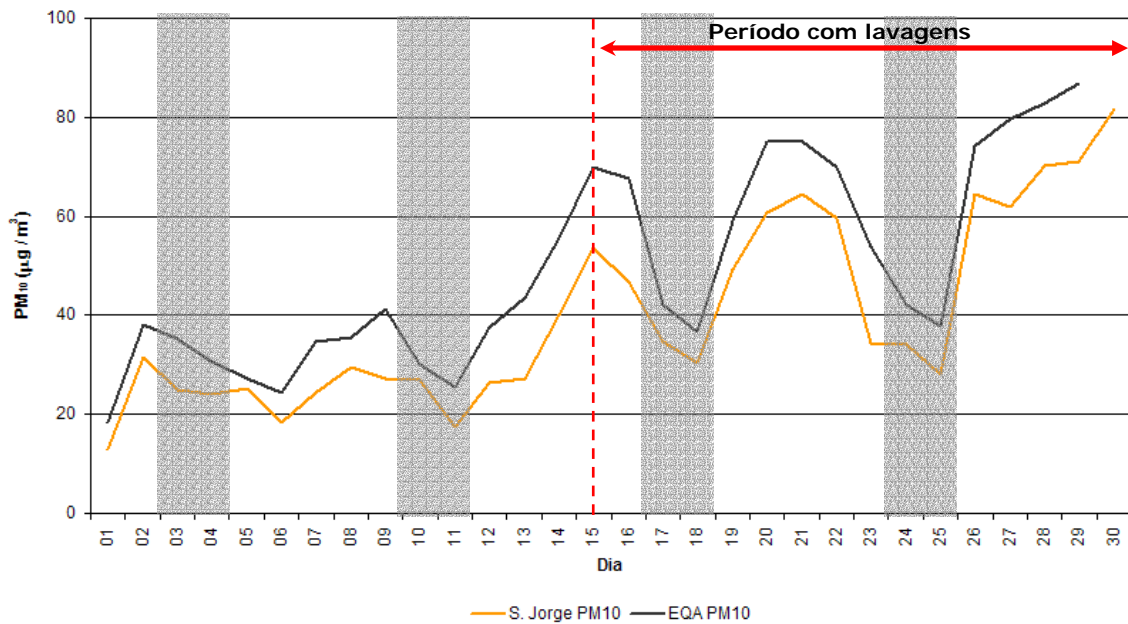
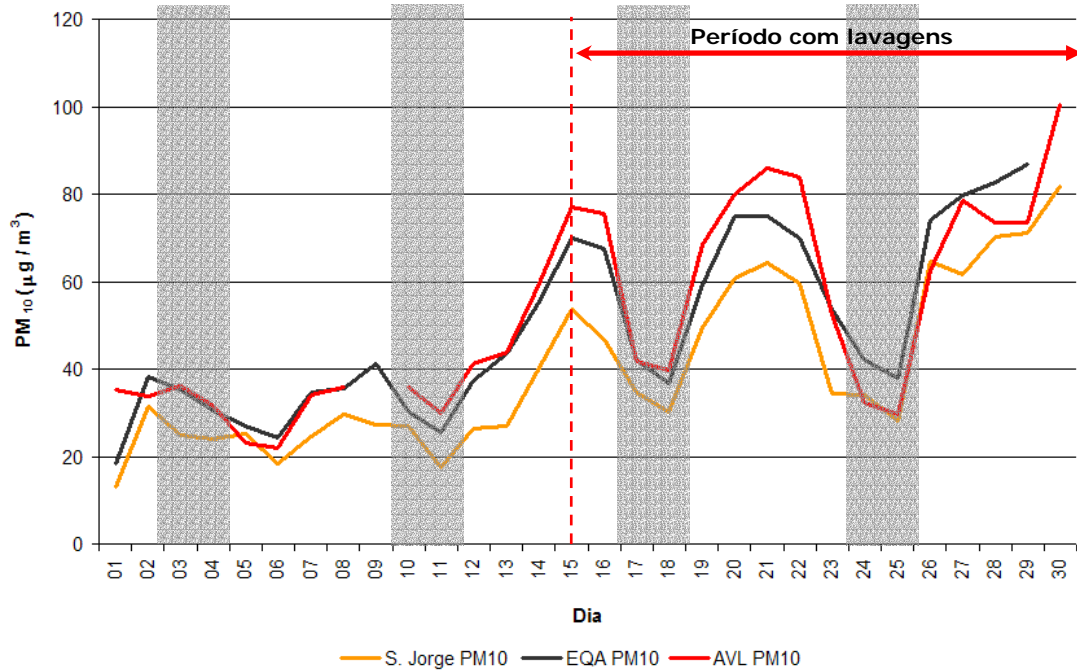


Figura 10: Variação diária das concentrações de  $PM_{10}$  registadas nos dois amostradores gravimétricos, durante o mês de Setembro (os dias correspondentes aos fins de semana estão assinalados a cinzento)

A variação diária de  $PM_{10}$  apresenta perfis muito semelhantes nos dois locais de amostragem, embora com concentrações mais elevadas junto à EQA da Avenida da Liberdade. Esta diferença é normal e expectável face à maior proximidade deste ponto de amostragem em relação ao eixo da via.

Por forma a aferir a validade dos dados obtidos, comparou-se os valores de concentração diária de  $PM_{10}$  registados nos dois amostradores gravimétricos com os valores medidos na EQA da Avenida (Figura 11). Os perfis obtidos foram bastante consistentes entre si, ou seja, os resultados obtidos pelo método da radiação  $\beta$  (na EQA) estão muito próximos dos obtidos pelo método gravimétrico (no Amostrador).



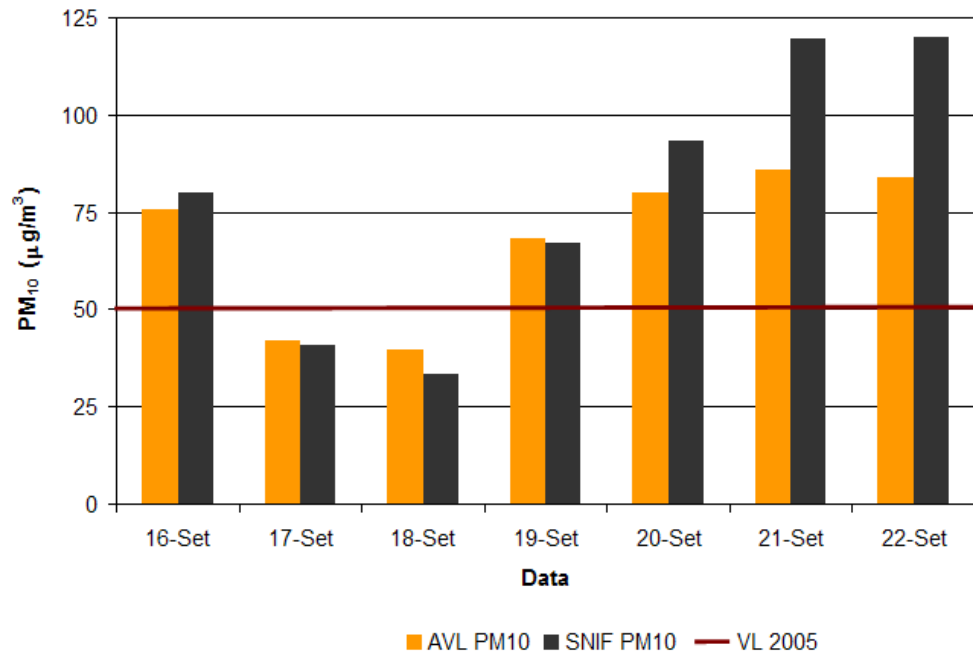


**Figura 11: Comparação entre as concentrações de PM<sub>10</sub> registadas nos dois amostradores e na EQA da Avenida da Liberdade, durante o mês de Setembro (os dias correspondentes aos fins de semana estão assinalados a cinzento)**

Na primeira quinzena de Setembro não ocorreram excedências ao VL diário de PM<sub>10</sub> permitido pelo Decreto-Lei n.º 111/2002, enquanto que na segunda quinzena se identificaram nove dias em excedência ao VL diário de PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>). Apenas nos dias correspondentes ao fim-de-semana este valor não foi excedido. Apesar da ocorrência de acções diárias de lavagem da via durante a 2ª quinzena de Setembro, verificou-se um aumento das concentrações diárias de PM<sub>10</sub>.

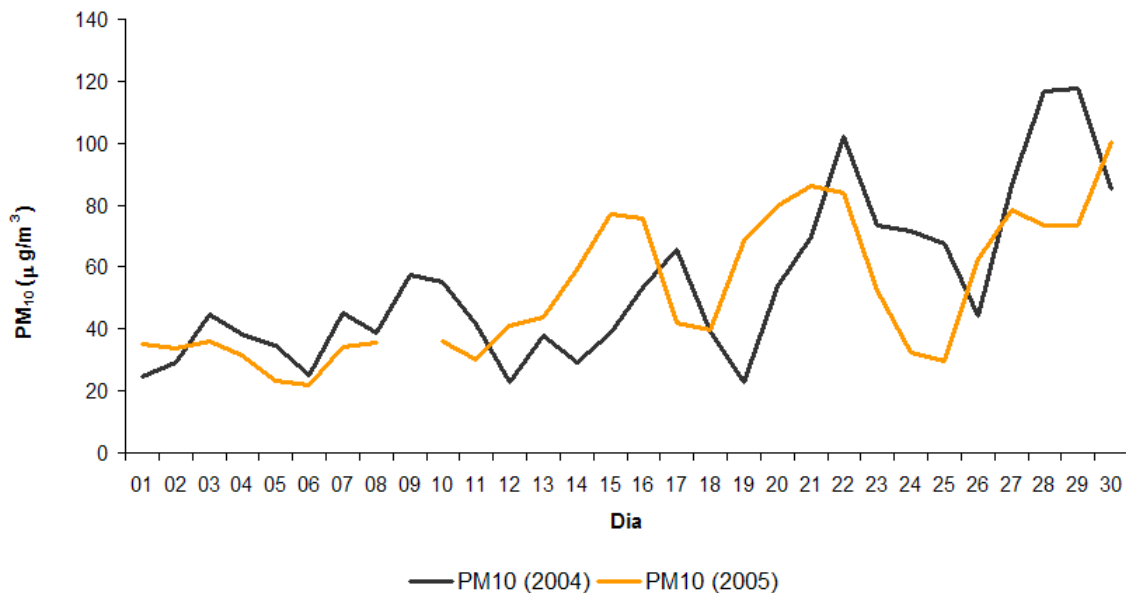
Os dados de PM<sub>10</sub> registados pela estação móvel de qualidade do ar durante a semana de medição são também consistentes com estes resultados. Durante este período, registaram-se cinco dias em excedência ao VL diário de 50 µg/m<sup>3</sup> coincidentes com os dias em excedência registados na EQA da Avenida da Liberdade. Apenas no fim-de-semana este valor não foi excedido. Tal como seria de esperar, tendo em conta a distância da estação ao eixo da via, as concentrações foram ligeiramente superiores às registadas na EQA.

Na Figura 12 apresentam-se os valores de PM<sub>10</sub> registados pelo SNIF entre os dias 16 e 23 de Setembro, bem como, a sua comparação com os valores de PM<sub>10</sub> da EQA da Avenida, para o mesmo período.



**Figura 12: Concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub> registados pelo SNIF entre os dias 16 e 23 de Setembro e respectiva comparação com os valores da EQA da Avenida**

O aumento da concentração de PM<sub>10</sub> durante a 2<sup>a</sup> quinzena de Setembro, na EQA da Avenida, também foi registado durante igual período do ano passado (Figura 13). Para este facto terá contribuído a ocorrência de um evento natural (EN) nos dias 27, 28 e 29 de Setembro de 2004 (apresentando estes dois últimos dias os piores valores de PM<sub>10</sub> registados em todo o mês).



**Figura 13: Comparação entre as concentrações de PM<sub>10</sub> registadas durante Setembro de 2004 e Setembro de 2005**

Na Tabela 6 apresentam-se algumas estatísticas relativas aos resultados de PM<sub>10</sub> obtidos para a EQA da Avenida da Liberdade, comparando os anos de 2004 e 2005.



Tabela 6: Dados estatísticos de PM<sub>10</sub> e comparação com a legislação para Setembro de 2004 e Setembro de 2005

Base Diária	Setembro 2004	Setembro 2005
Média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	54	52
Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	118	100
Mínimo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	23	22
Nº dias > VL 2005	14	13
Nº dias com EN	3	4

Pela análise dos resultados obtidos pode afirmar-se que, estatisticamente, não houve uma diferença significativa entre os meses de Setembro de 2004 e Setembro de 2005, apresentando os dois períodos igual tendência: concentrações de PM<sub>10</sub> mais baixas durante a 1ª quinzena, e aumento dos níveis de partículas durante a 2ª quinzena.

O aumento das concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub> ocorrido durante o período de reforço das lavagens não se verificou apenas na Avenida da Liberdade. Também foi registado em Entrecampos e nos Olivais, tal como se pode ver na Figura 14.

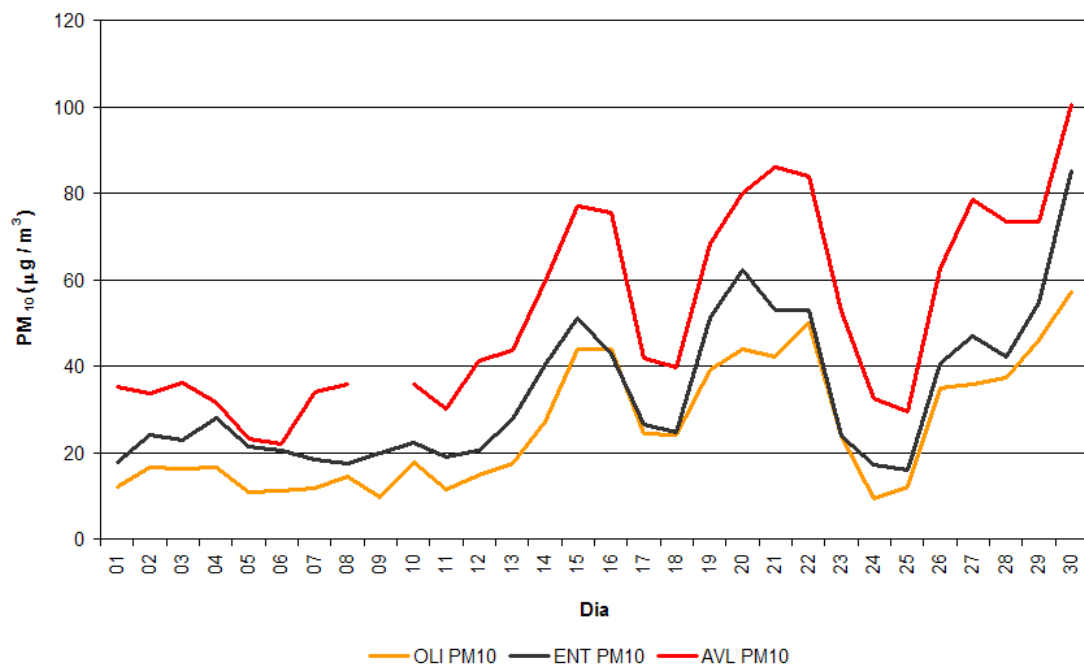
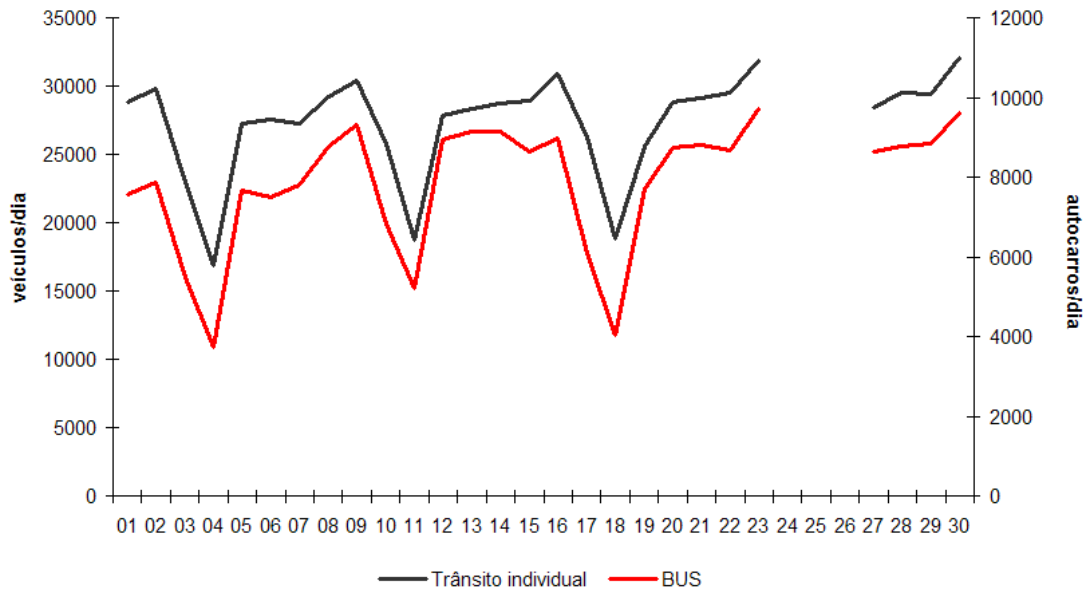


Figura 14: Variação diária das concentrações de PM<sub>10</sub> registadas nas três EQA, Avenida de Liberdade, Olivais e Entrecampos, durante o mês de Setembro

Os resultados obtidos parecem indicar que o reforço das lavagens não permitiu reduzir os níveis de partículas na Avenida da Liberdade (pelo menos no que diz respeito ao valor médio diário de PM<sub>10</sub>).

É no entanto necessário analisar outro tipo de informação, nomeadamente dados meteorológicos e dados do tráfego médio diário no local, para se perceber com detalhe o que poderá ter levado a este aumento.

Após o tratamento e análise dos dados do número de veículos em circulação diária na Avenida da Liberdade, foi possível determinar a evolução do mesmo (trânsito individual e autocarros, em ambos os sentidos), ao longo do mês de Setembro (Figura 15). Não foi possível utilizar dados para o mês inteiro devido a uma anomalia do contador, não estando disponíveis os dados relativos aos dias 24, 25 e 26.

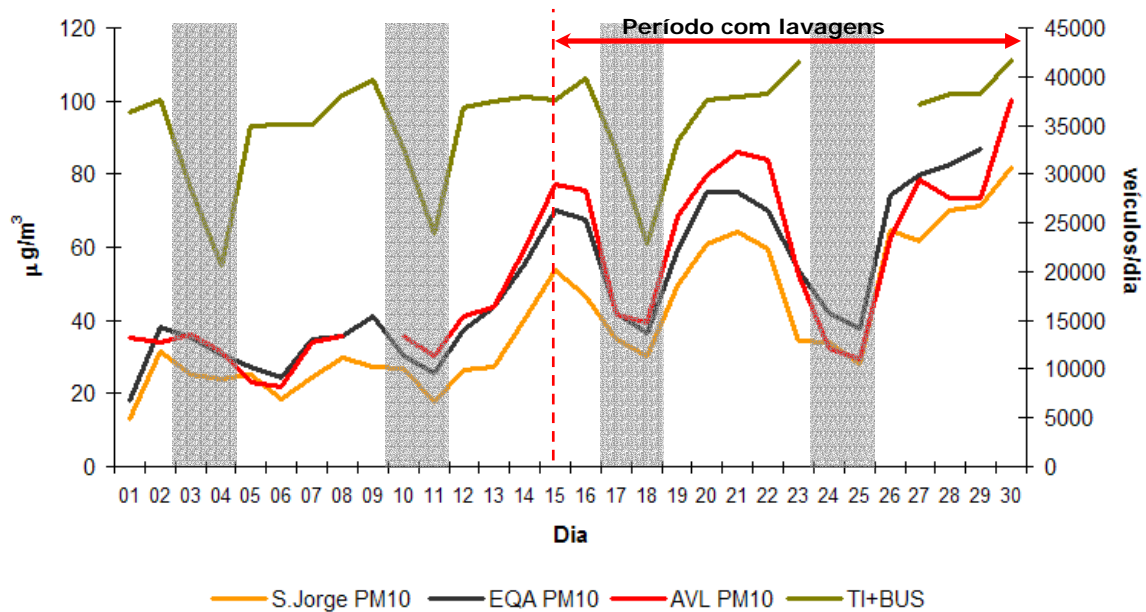


**Figura 15: Dados de tráfego diário em circulação no corredor central da Avenida da Liberdade, durante o mês de Setembro.**

A variação do trânsito individual e do número de autocarros apresentou um comportamento semelhante nas duas quinzenas. Observa-se que o número de veículos em circulação aumentou durante a 2ª quinzena de Setembro, apesar deste não ser muito significativo. Este aumento estará provavelmente relacionado com o final do período de férias de muitos lisboetas.

É também possível identificar que o número de veículos em circulação aumenta gradualmente durante a semana, até atingir o pico máximo à sexta-feira. Ocorre depois uma diminuição do número de veículos em circulação durante o fim-de-semana, em especial nos Domingos, devido ao menor número de deslocações pendulares (casa-trabalho-casa).

Quando se comparam as concentrações de  $PM_{10}$  com os valores de tráfego diário, verifica-se que existe uma boa correlação entre estas duas variáveis, ou seja, a concentrações elevadas de  $PM_{10}$  corresponde um maior número de veículos em circulação. Tal facto permite explicar a ocorrência de baixas concentrações de  $PM_{10}$  aos fins-de-semana.

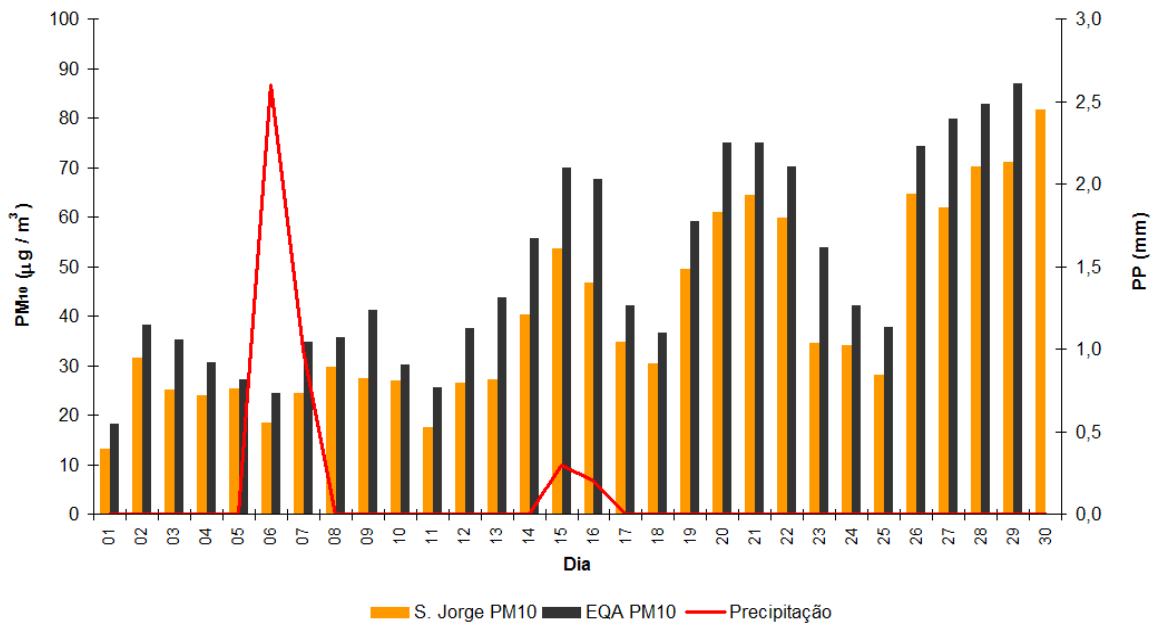


**Figura 16: Comparação entre as concentrações de PM<sub>10</sub> e os valores de tráfego na Avenida da Liberdade. Os dias correspondentes aos fins de semana estão assinalados a cinzento.**

Apesar do aumento do número de veículos em circulação durante o período de reforço das lavagens na Avenida não ter sido muito significativo, as concentrações de PM<sub>10</sub> aumentaram substancialmente durante este período. É portanto de esperar que as condições meteorológicas tenham desempenhado um papel mais importante no aumento das concentrações de PM<sub>10</sub> do que o incremento do número de veículos em circulação.

A precipitação tem uma relação inversa com os níveis de PM<sub>10</sub>, ou seja, a períodos mais pluviosos associam-se valores baixos de partículas. Analisando os valores de precipitação diária registados ao longo do mês de Setembro (Figura 17), verifica-se que o período sem reforço das lavagens foi mais pluvioso, embora os valores de precipitação tenham sido baixos. O valor mais elevado (2,6 mm) verificou-se no dia 6. No período com reforço das lavagens praticamente não choveu (não mais de 0,3 mm), e num dos dias em que se registou a queda de chuva (dia 15 de Setembro) ocorreu um evento natural, o que levou a que as concentrações de PM<sub>10</sub> tivessem sido elevadas, apesar da ocorrência de precipitação.

A ausência de chuva durante praticamente todo o período em estudo (associada ao período de seca que se registou até meados de Outubro) foi propícia à ocorrência de elevadas concentrações de partículas. Tendo em conta os baixos valores de precipitação verificados durante o mês de Setembro, pode concluir-se que, com excepção de dia 6, este parâmetro terá tido pouca influência nos níveis de PM<sub>10</sub>, sobretudo durante o período de reforço das lavagens.



**Figura 17: Comparação entre a concentração média diária de PM<sub>10</sub> e a precipitação.**

Outros parâmetros meteorológicos, nomeadamente a direcção e velocidade do vento e a temperatura do ar, podem ter influência na concentração média diária de PM<sub>10</sub>, sobretudo porque influenciam as suas condições de dispersão.

Analisando as rosas de vento relativas a cada uma das quinzenas de Setembro (Figura 18), verifica-se que em ambos os períodos de amostragem a direcção predominante do vento se situou nos quadrantes Norte e Noroeste (com ocorrências acima dos 50%). Por outro lado, a velocidade do vento também foi muito semelhante nos dois períodos, com maior frequência de ventos na ordem dos 1,54 m/s a 5,14 m/s.

Deste modo, é possível concluir que o regime de ventos observado durante as duas quinzenas do mês de Setembro não terá tido uma influência significativa no aumento das concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub> verificado durante o período de reforço das lavagens.

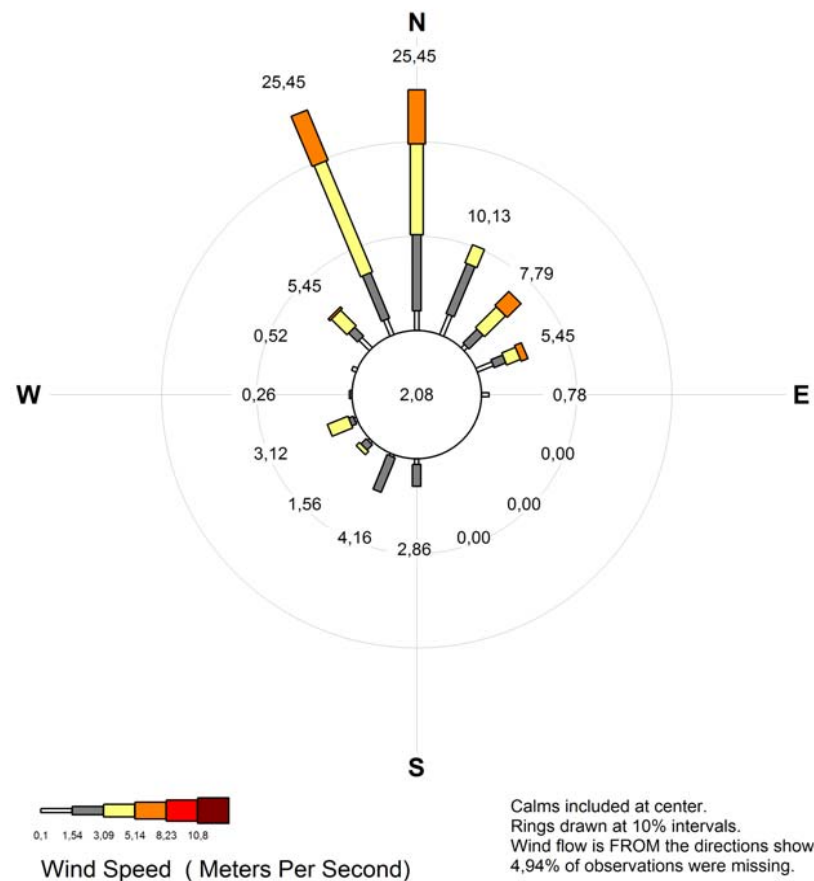
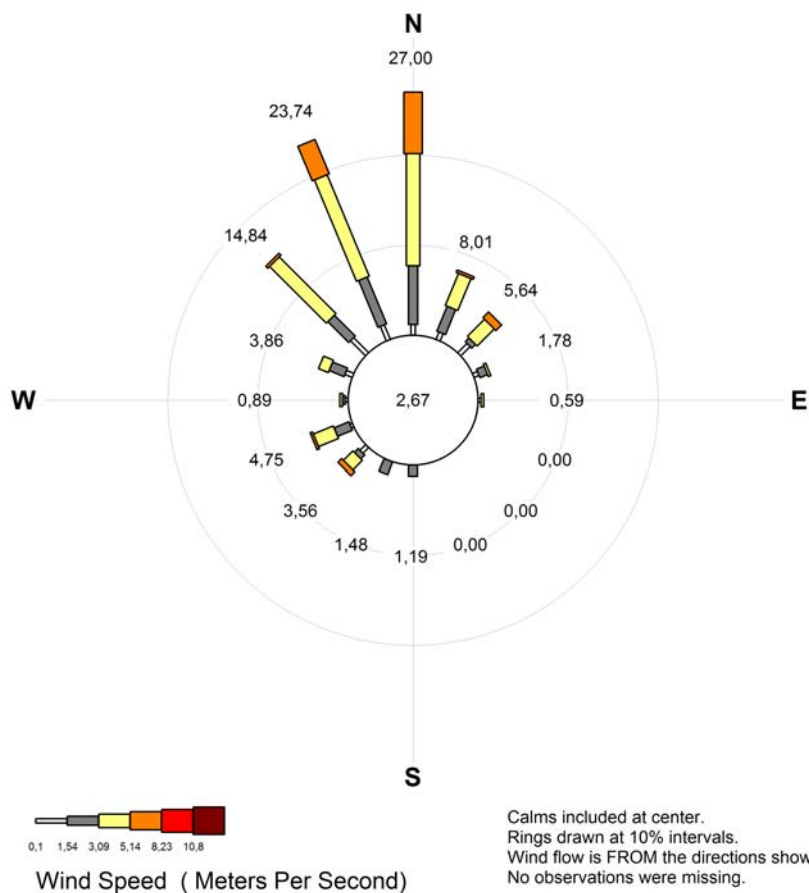
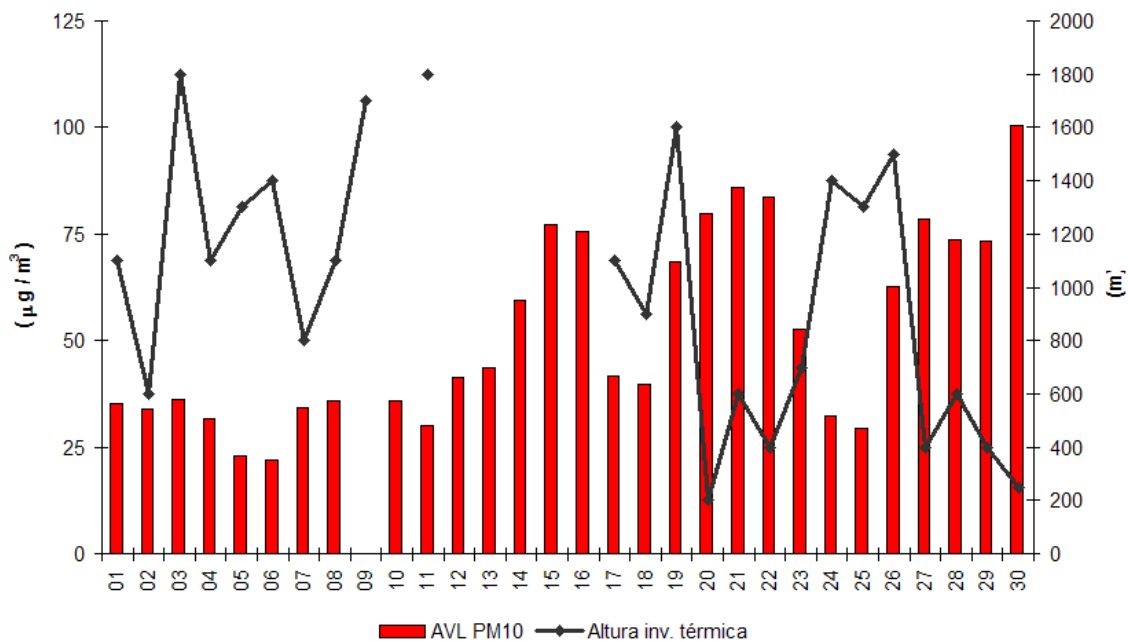


Figura 18: Rosas de ventos relativas à primeira (à esquerda) e segunda (à direita) quinzenas de Setembro

Relativamente aos perfis de temperatura da atmosfera, identificaram-se diversos dias consecutivos em que se verificou inversão térmica às 12h, nomeadamente no período compreendido entre os dias 1 e 9 (na primeira quinzena) e os dias 17 e 30 (na segunda quinzena) de Setembro. Contudo, é de referir que os dados analisados se referem apenas a uma medição pontual, não sendo possível determinar se as condições de dispersão se mantiveram ao longo do dia, ou se a inversão térmica foi quebrada.

Apesar das limitações desta análise, dever-se-á ter em conta que houve vários dias consecutivos (praticamente toda a duração da campanha de reforço de lavagens) em que se verificou a ocorrência de uma inversão térmica, e que algumas destas inversões tiveram a sua base a poucos metros da superfície, inferior a 600 metros (tal como se pode ver na Figura 19).



**Figura 19: Relação entre a altura da inversão térmica e a concentração de PM<sub>10</sub> registada na Avenida da Liberdade, durante o mês de Setembro**

Esta série de dias consecutivos com inversão térmica ocorreu logo após o evento natural (que coincidiu com o início da campanha de reforço das lavagens e levou ao aumento dos níveis de PM<sub>10</sub>), e pode ter conduzido a um fenómeno de acumulação das partículas, já que estas acabam por não sofrer uma dispersão eficaz (sobretudo quando a inversão térmica ocorre a poucos metros da superfície), acabando por se acumular novamente na via e sofrendo ressuspensão aquando da passagem dos veículos.

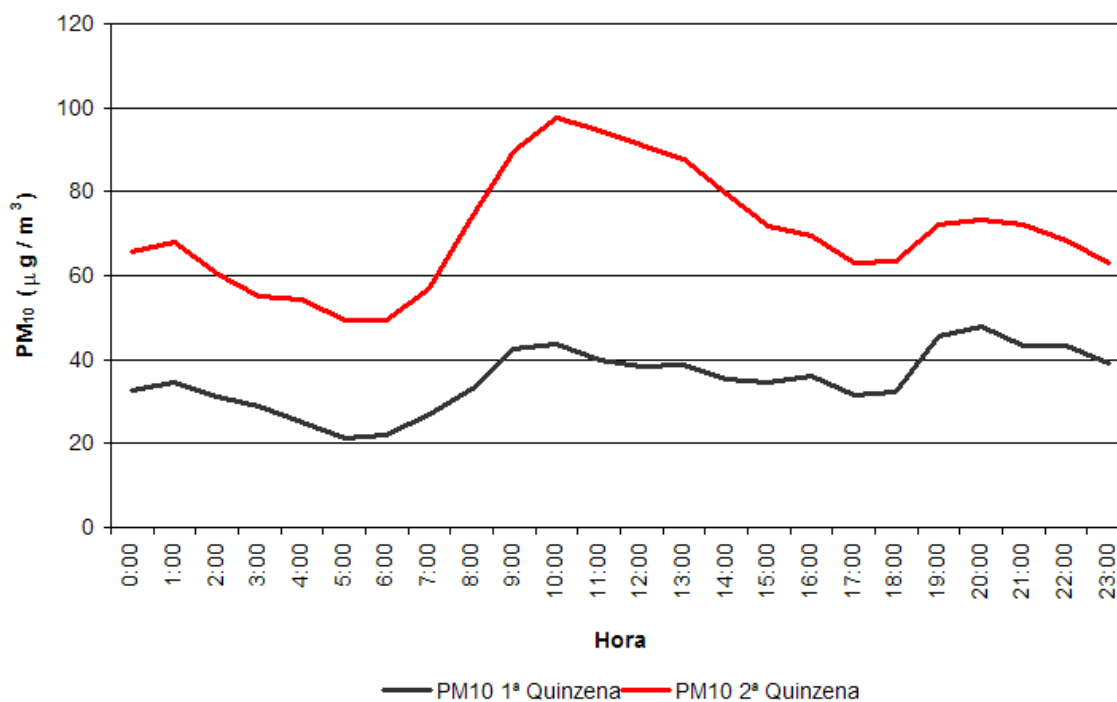
Independentemente do facto de as lavagens terem ou não influência na redução dos níveis de PM<sub>10</sub>, verifica-se que a meteorologia desempenhou um papel significativo na evolução das concentrações de PM<sub>10</sub> (bem como, de outros poluentes como o CO e o NO<sub>2</sub>), uma vez que, na 2<sup>a</sup> quinzena de Setembro, sempre que se verificaram inversões a poucos metros do solo, ocorreu um aumento dos níveis de partículas.



### 3.2. Análise de perfis horários de concentração de $PM_{10}$

A análise de dados horários de  $PM_{10}$  da EQA da Avenida da Liberdade permite efectuar uma avaliação mais detalhada do efeito das lavagens sobre a concentração de  $PM_{10}$  na Avenida.

Na Figura 20 apresentam-se os perfis médios das concentrações horárias de  $PM_{10}$  registadas na EQA, quer durante o período sem reforço das lavagens, quer durante a campanha de reforço de lavagens da via.



**Figura 20: Perfis médios horários de  $PM_{10}$  registados na Avenida da Liberdade, durante as duas quinzenas de Setembro (sem Domingos)**

As concentrações de  $PM_{10}$  apresentam os perfis típicos do local (bimodal) e têm comportamento semelhante, embora apresentem valores mais elevados durante a segunda quinzena de Setembro. Os valores de  $PM_{10}$  diminuem gradualmente ao longo da noite, atingindo o mínimo por volta das 5 horas da manhã. A partir das 6 horas, começa a verificar-se um aumento das concentrações de partículas, devido ao incremento do número de veículos em circulação (hora de ponta da manhã), que atinge o pico máximo por volta das 10 horas da manhã. A partir desta hora, verifica-se novamente a diminuição das concentrações de  $PM_{10}$ , até cerca das 18 horas, aquando do regresso a casa correspondente ao final do dia de trabalho. A partir das 18 (hora de ponta da tarde), ocorre novo pico das concentrações de  $PM_{10}$ , embora de duração mais curta, atingindo o seu máximo duas horas depois, e diminuindo após as 20 horas.

O aumento das concentrações médias na 2ª quinzena de Setembro não se verificou apenas para as partículas. Elaborando o perfil médio horário das concentrações de CO e  $NO_2$  (apresentados na Figura 21 e na Figura 22), verifica-se que este é semelhante ao das  $PM_{10}$ .

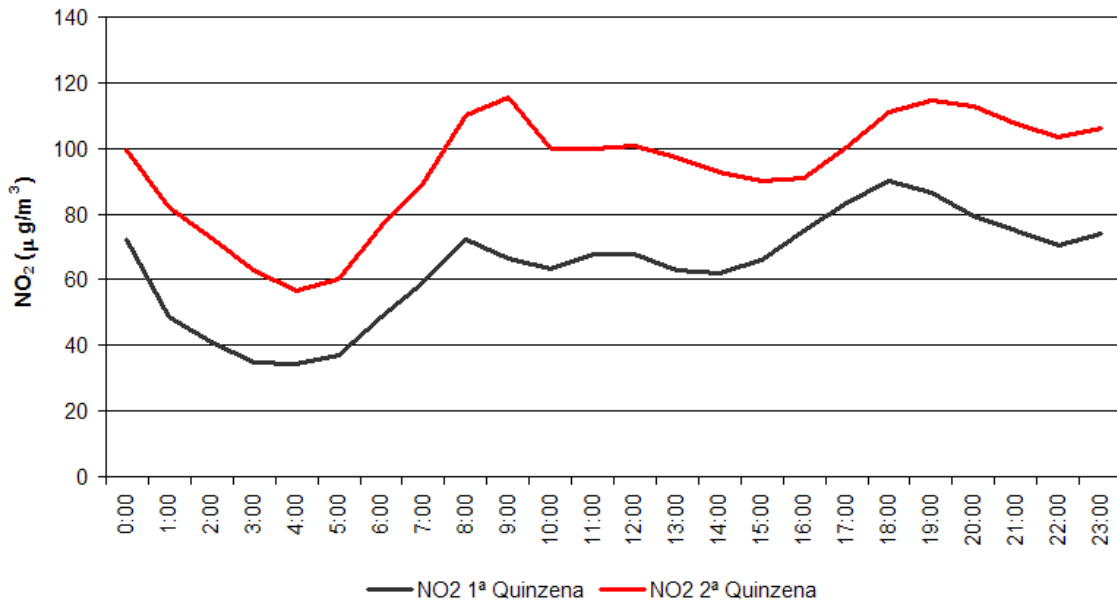


Figura 21: Perfis médios horários de NO<sub>2</sub> registados na Avenida da Liberdade, durante as duas quinzenas de Setembro (sem Domingos)

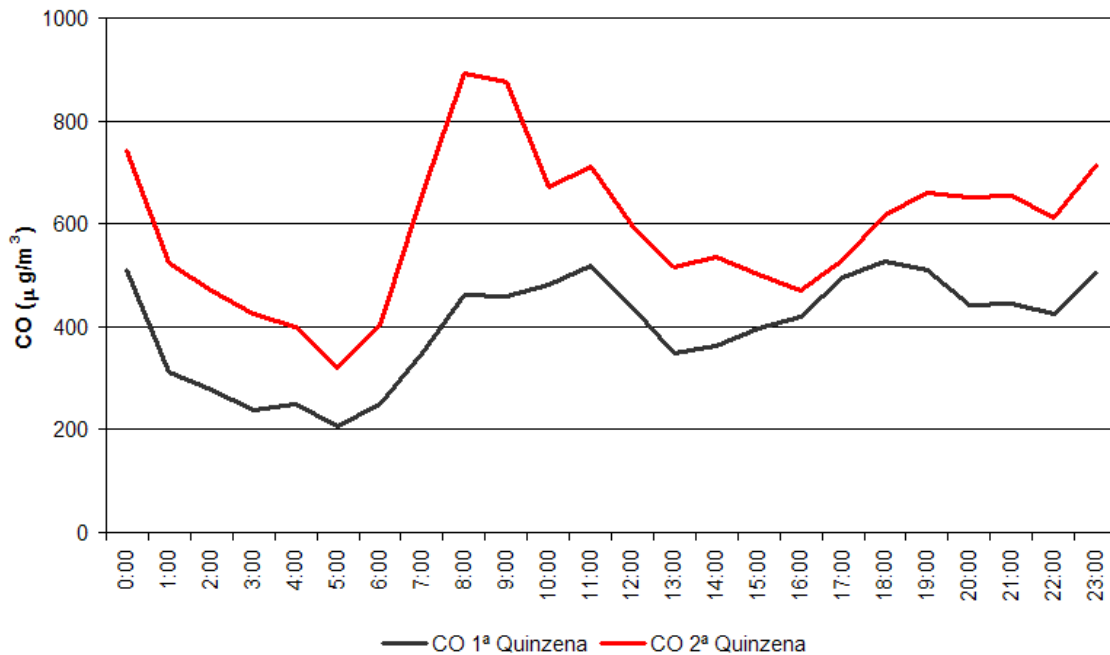


Figura 22: Perfis médios horários de CO registados na Avenida da Liberdade, durante as duas quinzenas de Setembro (sem Domingos)

Apesar do aumento dos níveis de PM<sub>10</sub> registados na 2ª quinzena, pode observar-se que, durante o período sem reforço das lavagens, os valores correspondentes aos picos da manhã e da tarde foram quase iguais, enquanto no período com reforço das lavagens, o pico de concentração de PM<sub>10</sub> da tarde foi bastante inferior ao pico da manhã. Apesar de aparentemente não se notar o seu efeito logo após a acção de limpeza (durante a manhã), a lavagem da via poderá ter tido alguma influência nesta diminuição, uma vez que o mesmo não se verificou nas EQA de Entrecampos e Olivais (ver Figura 23 e Figura 24). Na EQA de Entrecampos, o pico médio da



manhã foi muito próximo do da tarde, quer na primeira quer na segunda quinzena, e na EQA dos Olivais (apesar de ser uma estação de fundo, também apresenta um pico da manhã e um da tarde, embora menos pronunciados) o pico de concentração de PM<sub>10</sub> registado à tarde foi sempre superior ao da manhã.

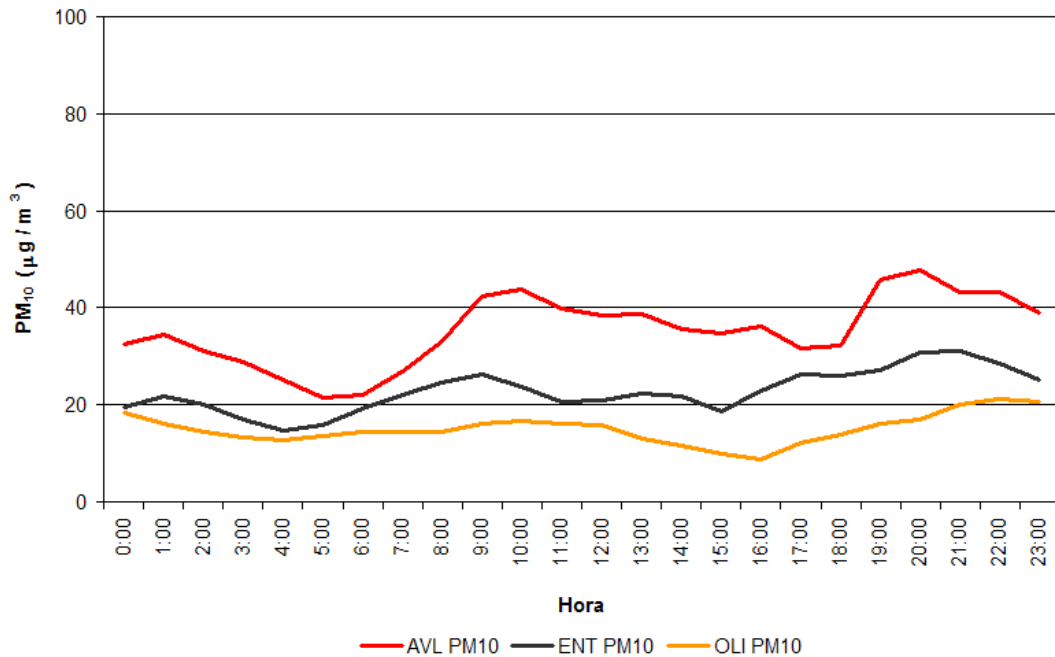


Figura 23: Perfis médios horários de PM<sub>10</sub> registados nas EQA da Avenida, Entrecampos e Olivais, durante a primeira quinzena de Setembro

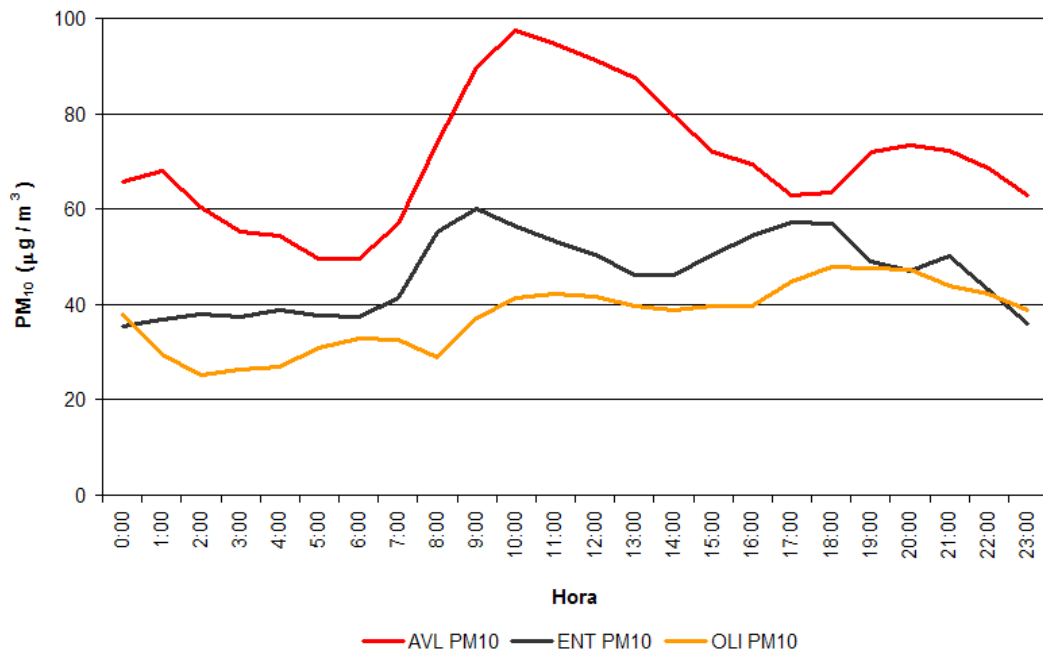
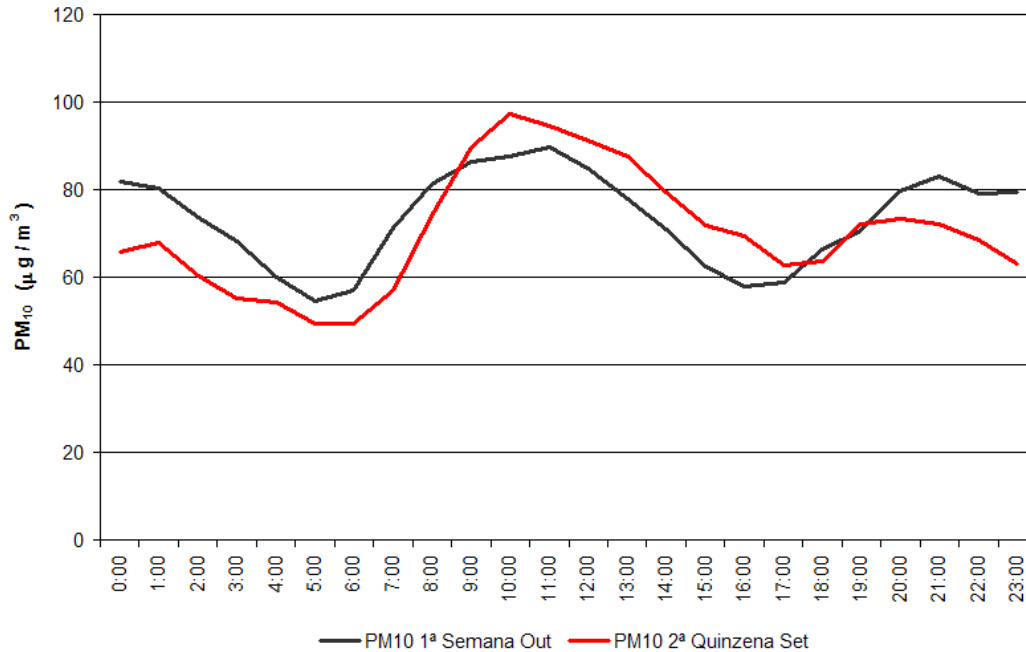


Figura 24: Perfis médios horários de PM<sub>10</sub> registados nas EQA da Avenida, Entrecampos e Olivais, durante a segunda quinzena de Setembro



Para avaliar até que ponto é que a redução do pico da tarde durante a 2.<sup>a</sup> quinzena de Setembro poderá estar relacionada com o reforço das lavagens, analisou-se o perfil horário das concentrações de PM<sub>10</sub> relativo à primeira semana de Outubro durante a qual já não foi efectuada o reforço das lavagens (Figura 25) mas em que as condições meteorológicas foram semelhantes às observadas na 2.<sup>a</sup> quinzena de Setembro.



**Figura 25: Evolução do perfil médio horário de PM<sub>10</sub> durante a 2.<sup>a</sup> quinzena de Setembro, e durante a 1.<sup>a</sup> semana de Outubro (excluindo Domingos)**

Verifica-se que, durante este período, o pico da tarde voltou novamente a aumentar, situando-se mais próximo do pico da manhã. Aparentemente, a partir do momento em que deixou de se realizar o reforço das lavagens, os níveis de PM<sub>10</sub> registados durante o pico da tarde voltaram a subir. Uma vez que a via não é lavada de manhã, fica mais seca, sobretudo se não se verificar a ocorrência de precipitação, o que pode ter favorecido a ressuspensão das partículas já que durante a primeira semana de Outubro não choveu. O atenuar do segundo pico na 2.<sup>a</sup> quinzena de Setembro traduziu-se igualmente numa redução na ordem de alguns microgramas por metro cúbico (3 µg/m<sup>3</sup>) na média diária relativamente aos valores observados na primeira semana de Outubro.

A variação do perfil horário das concentrações de PM<sub>10</sub> registadas na 1.<sup>a</sup> quinzena e na 2.<sup>a</sup> quinzena de Setembro é consistente com o perfil do tráfego médio horário, quer no período sem reforço de lavagens, quer no período de reforço das lavagens (Figura 26 e Figura 27). Verifica-se que o tráfego médio diário aumenta a partir das 4 horas da manhã, mantendo-se em níveis muito elevados até cerca das 17h, altura em que começa a diminuir. Observa-se ainda um desfasamento de cerca de 1-2 horas entre a variação dos níveis de tráfego e a conseqüente alteração nas concentrações de PM<sub>10</sub>.

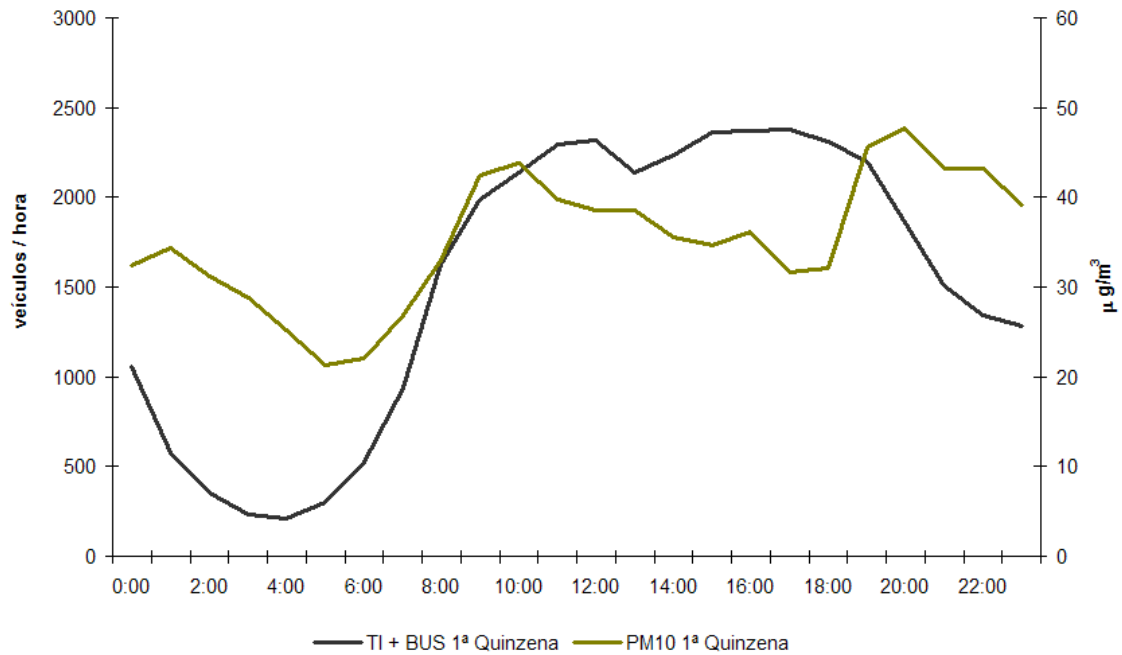


Figura 26: Comparação entre o tráfego médio horário e as concentrações médias horárias de PM<sub>10</sub> durante a 1ª quinzena de Setembro

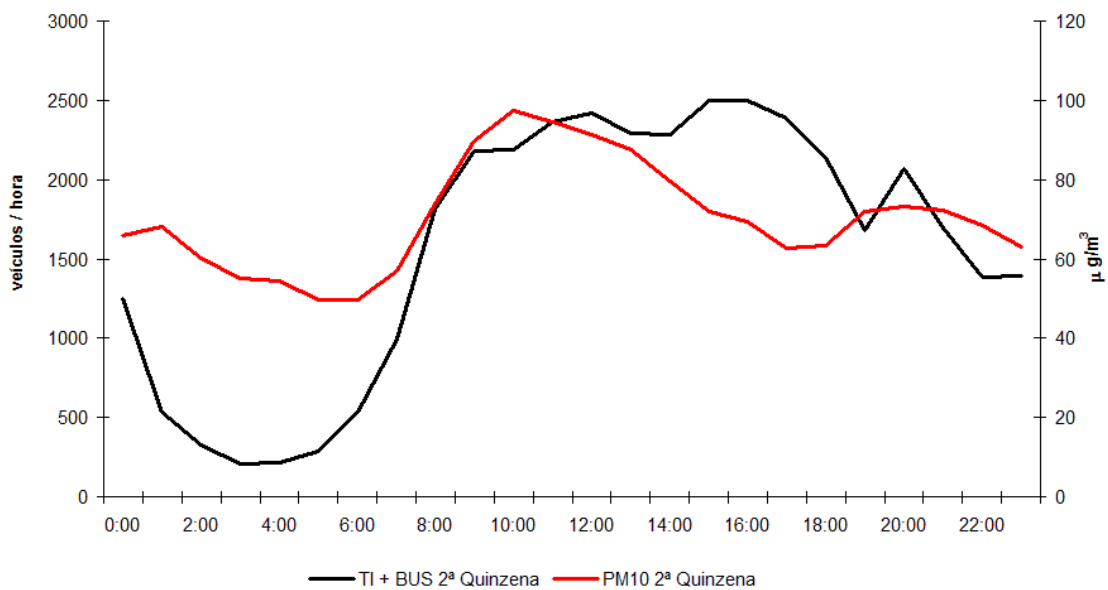


Figura 27: Comparação entre o tráfego médio horário e as concentrações médias horárias de PM<sub>10</sub> durante a 2ª quinzena de Setembro

A análise dos perfis de tráfego horário também não explica o facto de se ter verificado o aumento dos níveis de PM<sub>10</sub> na 2ª quinzena de Setembro, uma vez que não existe diferença significativa no número de veículos em circulação por hora, na primeira e na segunda quinzenas (Figura 28). Deve-se no entanto ter em conta que para cada um dos períodos não se recorreu à totalidade dos dias em análise, apenas a medições efectuadas em três dias úteis – 2ª, 4ª e 6ª feira.

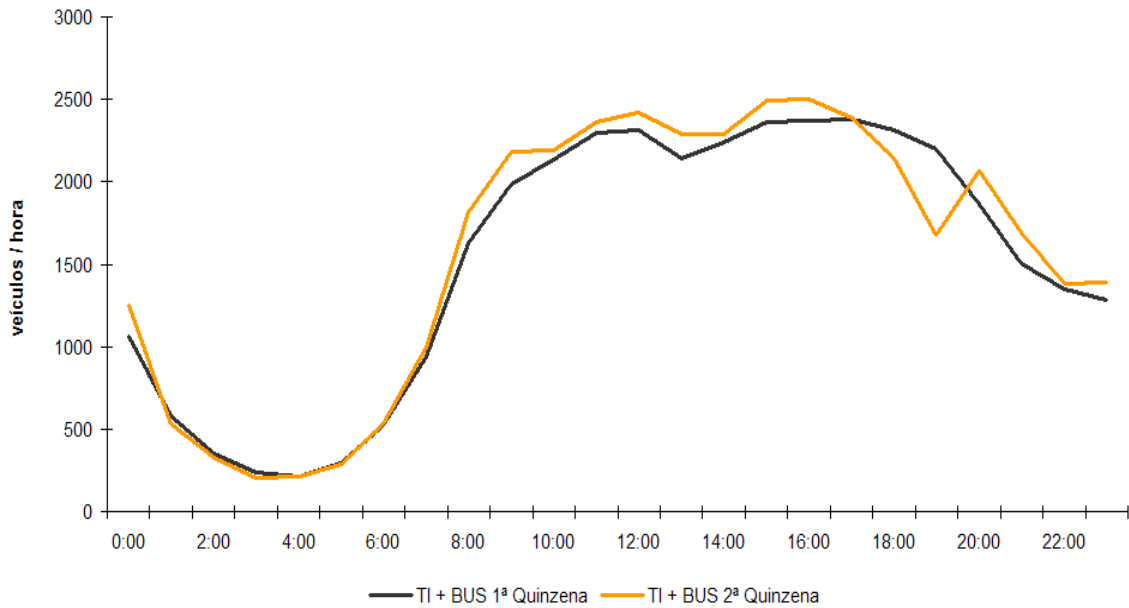


Figura 28: Comparação entre o tráfego médio horário registado na primeira e na segunda quinzenas de Setembro

A comparação destes resultados com dados do ano de 2004 pode fornecer informação adicional acerca do efeito das lavagens na diminuição do pico de concentração de  $PM_{10}$  verificado durante a tarde. Deste modo, comparou-se os perfis médios horários de  $PM_{10}$  registados em 2005, com os perfis horários relativos a igual período durante o ano passado (Figura 29 e Figura 30).

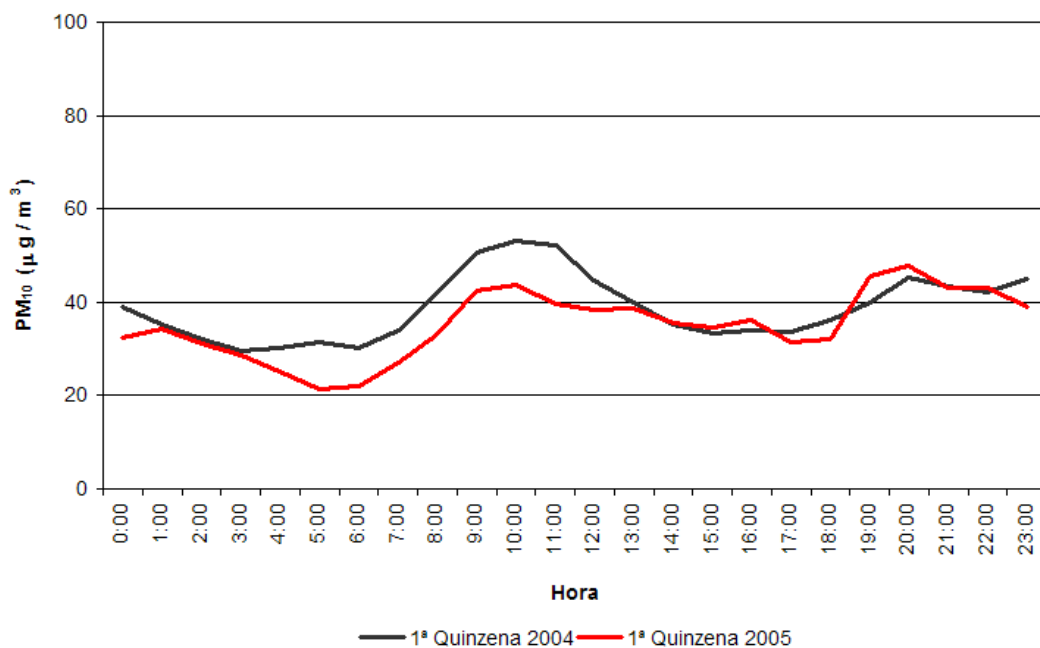
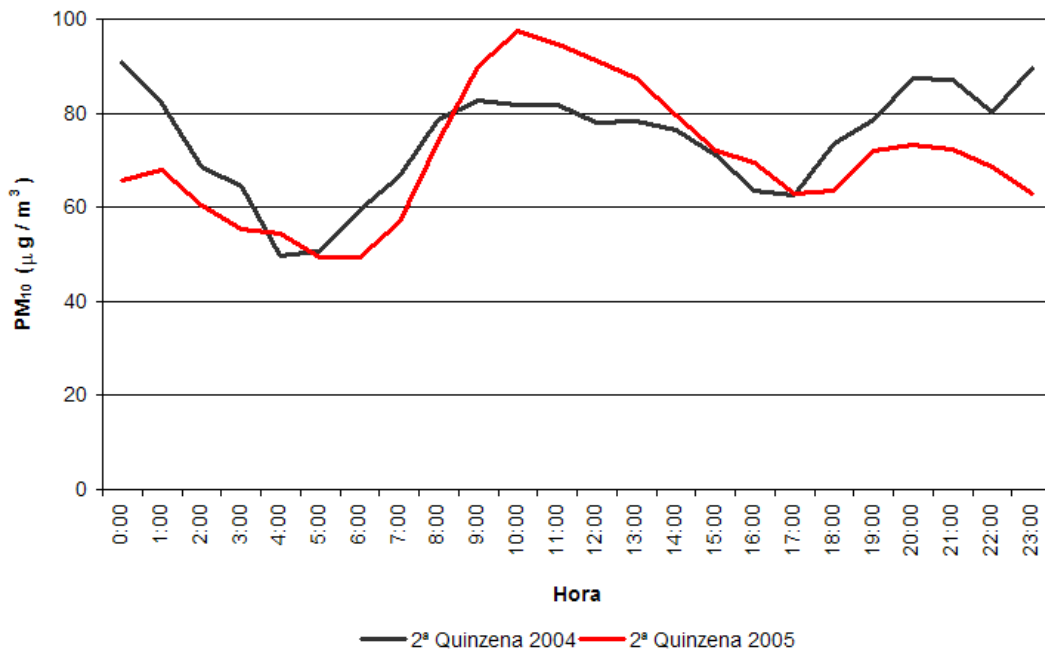


Figura 29: Perfis médios horários de  $PM_{10}$  registados na EQA da Avenida, durante a primeira quinzena de Setembro de 2004 e 2005



**Figura 30: Perfis médios horários de PM<sub>10</sub> registados na EQA da Avenida, durante a segunda quinzena de Setembro de 2004 e 2005**

Comparando os perfis horários de PM<sub>10</sub> de 2004 e 2005, verifica-se que os perfis relativos à primeira quinzena de 2004 e 2005 são muito semelhantes, embora em 2004 o pico da manhã tenha sido superior (devido talvez a diferentes condições meteorológicas). Contudo, tal não se verifica nos perfis relativos à segunda quinzena de 2004 e 2005. Em 2004, não se verificou a diminuição do pico da tarde relativamente ao da manhã, sendo estes dois valores muito próximos.

Estes dados parecem confirmar a ideia de que o reforço das lavagens, não sendo por si só suficiente para fazer cumprir o VL diário de PM<sub>10</sub> do Decreto-Lei n.º 111/2002 (pelo menos numa artéria com tantos problemas de qualidade do ar como a Avenida da Liberdade), pode minimizar o aumento dos níveis de PM<sub>10</sub> associado à ressuspensão, provocada pela passagem dos veículos durante a hora de ponta da tarde.

### 3.3. Análises Químicas

Algumas estatísticas descritivas da composição química das partículas amostradas nesta campanha (no ponto de amostragem EQA e no ponto de amostragem S. Jorge) podem observar-se na Tabela 7 e na Tabela 8. Não são apresentados os resultados relativos aos elementos Arsénio, Lítio, Chumbo e Antimónio devido ao facto das concentrações presentes nos filtros amostrados serem inferiores ao limite de detecção do método utilizado (ICP-AES). Os elementos Boro e Potássio também não são apresentados, devido ao reduzido número de amostras válidas, uma vez que na maior parte dos dias as suas concentrações foram também inferiores ao limite de detecção do analisador.



Tabela 7: Estatísticas descritivas das amostras de PM<sub>10</sub> recolhidas no amostrador colocado na EQA da Avenida da Liberdade

Elemento	Nº amostras	Mínimo (µg/m <sup>3</sup> )	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Média (µg/m <sup>3</sup> )	Mediana (µg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (µg/m <sup>3</sup> )
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>87</b>	<b>50</b>	<b>42</b>	<b>19</b>
Ca	24	1,00	4,44	2,51	2,13	1,07
Cr	23	0,01	0,12	0,04	0,04	0,02
Cu	22	0,02	0,19	0,09	0,08	0,04
Fe	24	0,03	2,73	1,50	1,38	0,69
Mg	24	0,05	0,51	0,21	0,19	0,11
Mn	23	0,02	0,20	0,04	0,04	0,04
Mo	24	0,00	0,12	0,06	0,06	0,02
Na	24	0,25	7,00	1,18	0,84	1,34
Ni	24	0,04	0,10	0,06	0,05	0,02
P	21	0,01	0,20	0,10	0,08	0,06
Ti	17	0,03	0,15	0,07	0,06	0,03
Zn	24	0,08	0,32	0,21	0,21	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0,00	8,59	2,72	2,40	1,68
SiO <sub>2</sub>	24	0,00	25,78	8,17	7,19	5,03
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	24	1,76	7,47	4,30	3,88	1,77
Cl <sup>-</sup>	24	0,00	3,88	1,37	1,42	1,23
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	0,74	11,51	5,26	4,95	2,93
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	24	1,12	8,98	3,54	3,07	2,06
Carbono Orgânico	21	5,07	13,90	8,27	7,53	2,32
Carbono Elementar	21	3,48	13,89	9,06	8,74	2,89

Tabela 8: Estatísticas descritivas das amostras de PM<sub>10</sub> recolhidas no amostrador colocado junto ao cinema S. Jorge

Elemento	Nº amostras	Mínimo (µg/m <sup>3</sup> )	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Média (µg/m <sup>3</sup> )	Mediana (µg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (µg/m <sup>3</sup> )
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>82</b>	<b>41</b>	<b>34</b>	<b>19</b>
Ca	24	0,88	6,10	2,47	2,06	1,26
Cr	23	0,02	0,17	0,06	0,06	0,03
Cu	21	0,03	0,16	0,08	0,07	0,04
Fe	24	0,37	3,78	1,35	1,22	0,82
Mg	24	0,08	0,56	0,26	0,22	0,13
Mn	24	0,01	0,09	0,04	0,03	0,02
Mo	24	0,01	0,10	0,06	0,06	0,03
Na	24	0,33	2,58	1,17	1,09	0,61
Ni	17	0,02	0,08	0,05	0,04	0,01
P	20	0,02	0,23	0,11	0,09	0,07
Ti	19	0,04	0,16	0,08	0,08	0,03
Zn	24	0,06	0,31	0,19	0,19	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	1,06	6,59	2,65	2,58	1,08
SiO <sub>2</sub>	24	3,19	19,76	7,95	7,74	3,24
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	24	1,51	10,25	4,34	3,59	2,06
Cl <sup>-</sup>	24	0,00	3,32	1,48	1,49	0,97
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	0,74	12,70	4,38	4,35	3,07
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	24	1,34	8,85	3,63	3,22	2,14
Carbono Orgânico	23	3,39	12,62	7,19	6,47	2,49
Carbono Elementar	23	1,29	9,90	4,85	4,60	2,14





Tendo atenção as referências bibliográficas consultadas, os elementos analisados foram agrupados em 4 fracções, representando origens diferentes (naturais e antropogénicas). Relativamente aos elementos com origem natural, foram definidas duas fracções:

1. Partículas provenientes do solo (material crustal) e da ressuspensão ao nível do pavimento, nomeadamente provenientes da estrada. Engloba os seguintes elementos: Ca, Fe, Mg, P, Ti, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> e CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>;
2. Partículas provenientes do aerossol marinho, evidenciadas pela presença de Na e do Cl<sup>-</sup>;

Os elementos de origem antropogénica integram as restantes fracções:

3. Poluentes provenientes do tráfego rodoviário, maioritariamente elementos directamente emitidos ao nível do escape (Carbono Orgânico e Carbono Elementar) e metais (Cr, Cu, Mn, Mo, Ni e Zn);
4. Por fim, inclui-se também uma fracção representada pela formação de aerossol secundário, nomeadamente o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, que deriva tipicamente dos processos de conversão de gases para partículas de produtos da oxidação do SO<sub>2</sub> (Tente, 2005).

As concentrações dos diversos constituintes são da mesma ordem de grandeza em ambos os locais de amostragem, embora os constituintes com origem tipicamente antropogénica sejam superiores no ponto de amostragem EQA, devido à maior proximidade deste local relativamente à via. A maior diferença em termos de concentrações verifica-se no caso do carbono elementar (associado às emissões de tubo de escape, em particular dos veículos a diesel, quer por emissão directa, quer por ressuspensão da estrada), visto que as concentrações deste elemento na EQA são quase o dobro das verificadas junto ao cinema S. Jorge.

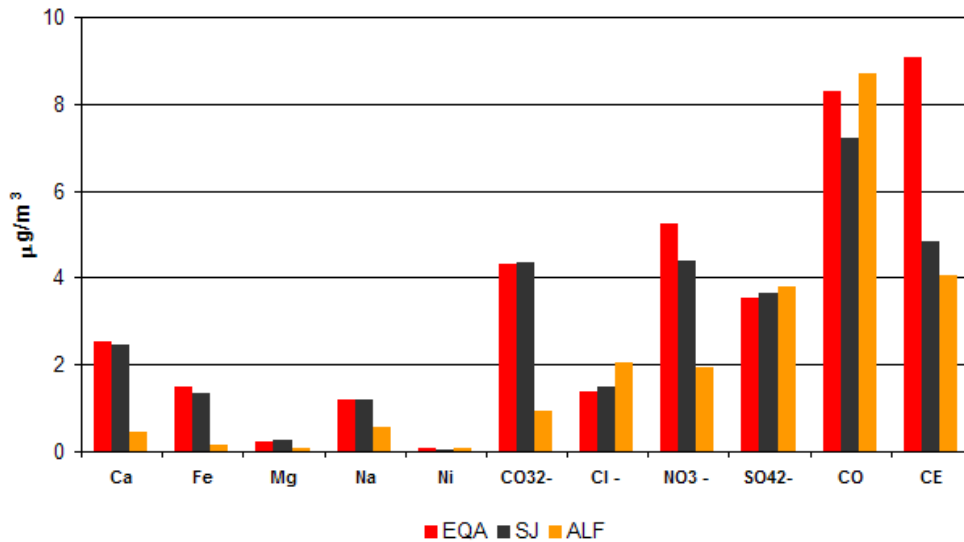
Por forma a permitir uma comparação com concentrações registadas noutros locais incluiu-se a Tabela 9, onde se podem observar concentrações medidas no ano de 2003 em Alfragide, junto ao Instituto do Ambiente (CCDR-LVT e DCEA – FCT/UNL, 2005).

**Tabela 9: Algumas estatísticas descritivas da composição química do aerossol colhido em Alfragide em 2003**

Constituinte do aerossol	N.º Amostras válidas (N)	N.º Amostras em falta	Média (µg/m <sup>3</sup> ) *	Mediana (µg/m <sup>3</sup> ) *	Desvio padrão (µg/m <sup>3</sup> ) *
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	<b>34</b>	<b>22</b>
Ferro	30	0	0,138	0,091	0,115
Magnésio	30	0	0,069	0,067	0,036
Cálcio	30	0	0,454	0,382	0,274
<i>Arsénio*</i>	<i>30</i>	<i>0</i>	<i>0,062</i>	<i>0,060</i>	<i>0,044</i>
<i>Cádmio*</i>	<i>30</i>	<i>0</i>	<i>1,155</i>	<i>0,115</i>	<i>3,592</i>
Chumbo	30	0	0,005	0,003	0,007
Níquel	30	0	0,058	0,001	0,308
<i>Potássio*</i>	<i>30</i>	<i>0</i>	<i>0,063</i>	<i>0,045</i>	<i>0,061</i>
Alumínio	30	0	0,059	0,039	0,064
Sódio	30	0	0,561	0,333	0,427
Nitratos	29	1	1,951	1,635	1,464
Sulfatos	29	1	3,807	2,817	2,716
Amónia	29	1	0,773	0,528	0,741
Cloretos	29	1	2,029	1,124	2,061
Carb. Orgân.	30	0	8,684	5,955	9,567
Carb. Elem.	30	0	4,040	3,465	2,636
Carbonatos	30	0	0,947	0,835	0,966

\* quando o constituinte é assinalado e se encontra descrito em itálico, isso significa que a sua concentração está expressa em ng/m<sup>3</sup> (1 ng/m<sup>3</sup> = 1.000 µg/m<sup>3</sup>)

As concentrações médias registadas na Avenida da Liberdade são, na maior parte dos casos, superiores às de Alfragide (com excepção dos cloretos, sulfatos e carbono orgânico), sobretudo no que diz respeito a material crustal e emissões directas de escape, tal como pode ser observado na Figura 31. Este facto é facilmente explicável se tivermos em conta que o local de recolha no Instituto do Ambiente é de fundo urbano, não estando tão directamente influenciado por uma via de tráfego.

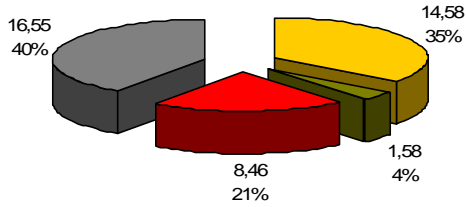


**Figura 31: Comparação entre a composição química de PM<sub>10</sub> recolhidas nos dois locais de amostragem e de PM<sub>10</sub> recolhidas em Alfragide**

Os resultados das análises químicas permitem também efectuar uma comparação entre a composição das PM<sub>10</sub> durante o período sem lavagens (de 2<sup>a</sup> a Sábado e ao Domingo) e durante o período de reforço da lavagem (de 2<sup>a</sup> a Sábado e ao Domingo), tal como se pode ver na Figura 32 e na Figura 33.

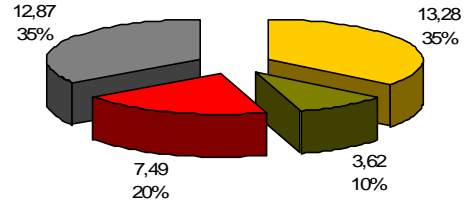


EQA 1ª Quinzena 2ª a Sab.



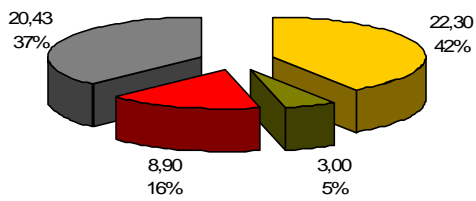
■ crystal ■ marinho ■ part. sec. ■ tráfego rodoviário

EQA 1ª Quinzena Dom.



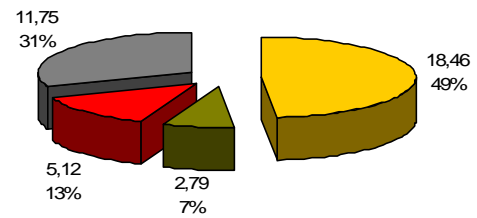
■ crystal ■ marinho ■ part. sec. ■ tráfego rodoviário

EQA 2ª Quinzena 2ª a Sab.



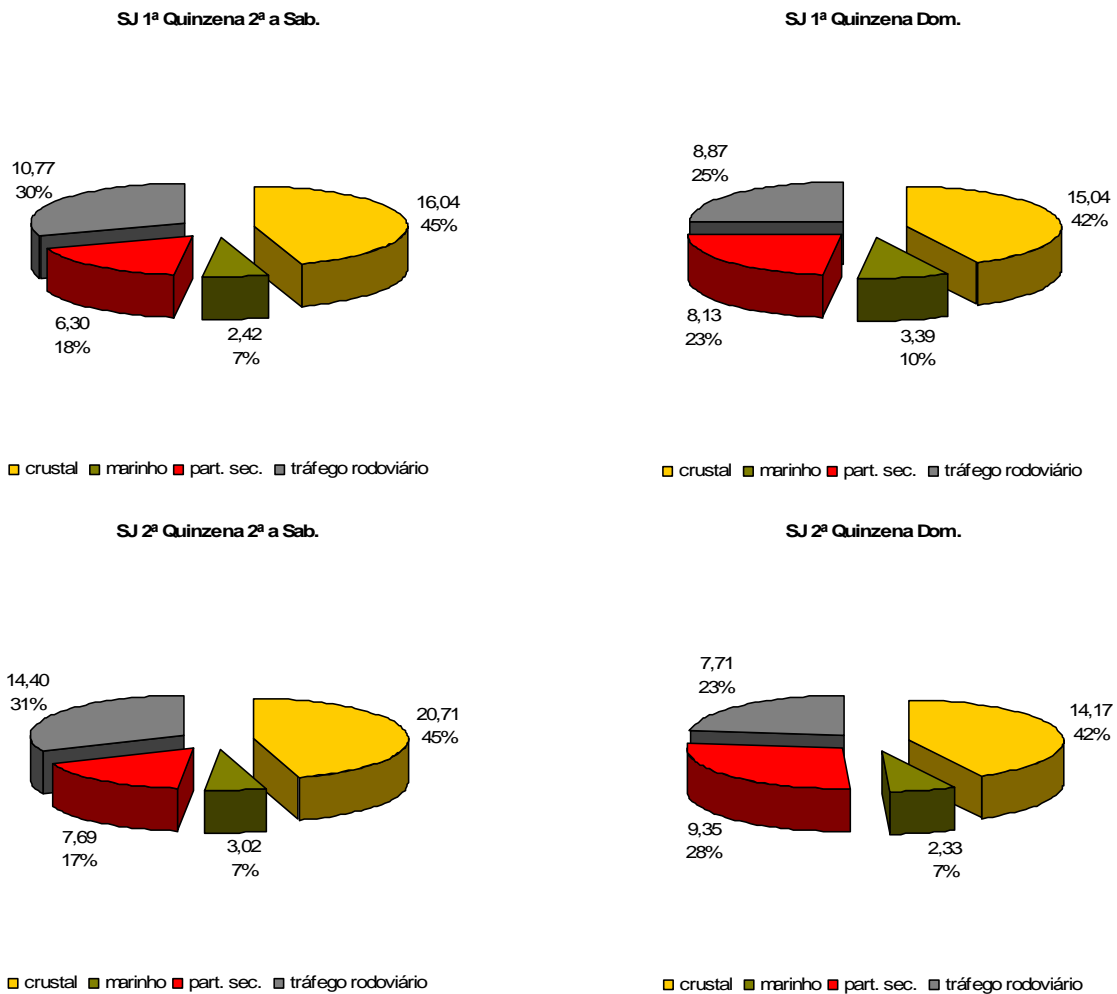
■ crystal ■ marinho ■ part. sec. ■ tráfego rodoviário

EQA 2ª Quinzena Dom.



■ crystal ■ marinho ■ part. sec. ■ tráfego rodoviário

Figura 32: Composição relativa das PM10 recolhidas na EQA, durante o período sem reforço das lavagens e durante o reforço das lavagens



**Figura 33: Composição relativa das PM<sub>10</sub> recolhidas junto ao S. Jorge, durante o período sem reforço das lavagens e durante o reforço das lavagens**

Durante a primeira quinzena de Setembro, a composição das PM<sub>10</sub> no ponto EQA teve maioritariamente origem antropogénica, sobretudo emissões do tráfego rodoviário (40% do total). O material crustal correspondeu em média a 35%, enquanto que as partículas secundárias corresponderam a 21% e a componente marinha a 4%. Aos Domingos, a fracção correspondente às emissões de escape reduz-se consideravelmente (35%), devido ao menor número de veículos em circulação, havendo um aumento das fracções secundária (20%) e marinha (10%). O material crustal apresenta sensivelmente a mesma proporção relativamente ao tráfego rodoviário (35%).

Se se analisar a composição média das PM<sub>10</sub> no ponto EQA na 2ª quinzena de Setembro, durante o período com lavagens (ou seja, de 2ª a Sábado), pode observar-se que as partículas com origem no tráfego rodoviário deixaram de ser a fracção predominante (37%), sendo a mesma inferior em relação à primeira quinzena, verificando-se um aumento dos níveis de material crustal (42%). As partículas secundárias reduziram ligeiramente o seu peso (16%) e as com origem no aerossol marinho (5%) mantiveram sensivelmente a mesma proporção. Nos Domingos da 2ª quinzena de Setembro, a predominância de material crustal foi evidente (49%), sendo mesmo superior à fracção antropogénica (31% de emissões

de tráfego rodoviário, e 13% de partículas secundárias), devido ao menor número de veículos em circulação.

Relativamente ao ponto de amostragem junto ao S. Jorge, a fracção com origem no tráfego rodoviário não foi predominante em nenhuma das duas quinzenas de Setembro (de 2<sup>a</sup> a Sábado), sendo o seu peso relativo inferior quando comparado com a EQA (30% na 1<sup>a</sup> quinzena e 31% na 2<sup>a</sup> quinzena). Por outro lado, não foi visível a redução na fracção com origem directa nos veículos, devido ao facto deste local não ser tão directamente influenciado pelo tráfego automóvel. O material crustal apresentou uma proporção semelhante nos dois períodos (45%), as partículas secundárias corresponderam a 18% na 1<sup>a</sup> quinzena e 17% na segunda quinzena e a fracção marinha manteve o seu peso relativo inalterado nas duas quinzenas (7%).

Estes resultados permitem confirmar a ideia que o aumento dos níveis de PM<sub>10</sub> registados durante a 2<sup>a</sup> quinzena de Setembro se deve principalmente ao incremento da fracção mineral de origem não antropogénica, devido à ocorrência de eventos naturais e às deficientes condições de dispersão. A Figura 34 apresenta a composição média do aerossol nos episódios de evento natural que ocorreram durante a campanha de reforço das lavagens, quer na EQA, quer junto ao S. Jorge, onde se pode observar que as fracções natural (crustal e marinha) e antropogénica (tráfego rodoviário e partículas secundárias) apresentam uma proporção muito semelhante.

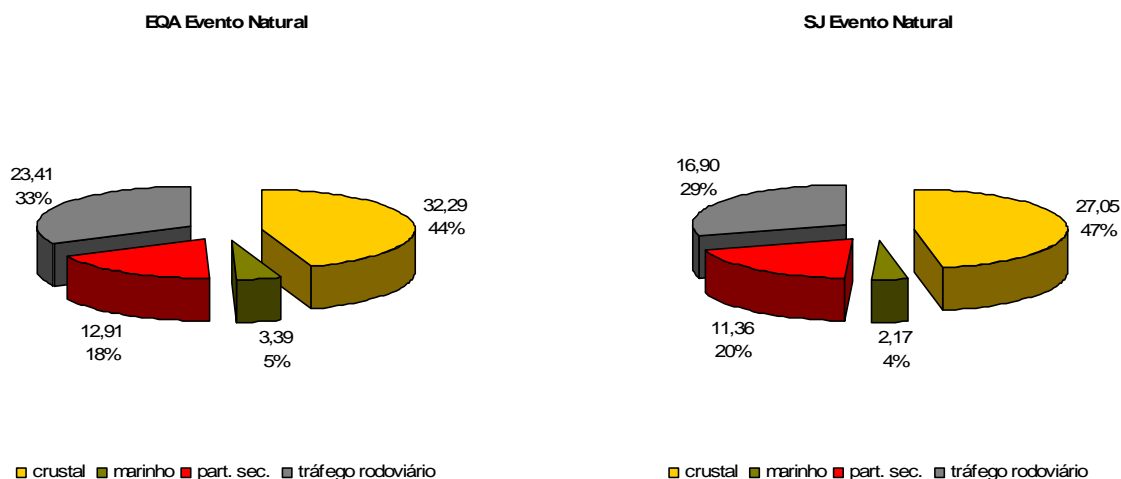


Figura 34: Composição relativa média das PM<sub>10</sub> durante um episódio de evento natural

De uma forma geral, a influência directa ou indirecta do tráfego rodoviário (em particular dos veículos a diesel) é mais significativa nos dados recolhidos na estação de monitorização de qualidade do ar da Avenida da Liberdade do que junto ao cinema S. Jorge, quer pelos valores absolutos dos constituintes associados ao tráfego, quer pelo peso relativo da sua distribuição.

Entre os dois períodos de análise (sem e com reforço das lavagens) há uma redução do peso relativo dos constituintes de origem antropogénica, em consonância com a pequena redução de concentrações verificada na 2.<sup>a</sup> quinzena (relativamente à primeira semana de Outubro), já assinalada anteriormente.



## 4. Conclusões

O presente estudo teve por objectivo efectuar uma avaliação do impacte do reforço das lavagens das vias principais da Avenida da Liberdade, nos níveis de partículas inaláveis ( $PM_{10}$ ) ali registados.

Foi realizada uma campanha de medição de  $PM_{10}$  na Avenida da Liberdade, recorrendo quer a amostradores gravimétricos, quer a dados provenientes da estação de monitorização de qualidade do ar da Avenida da Liberdade e do laboratório móvel SNIF Air Lab<sup>®</sup> da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Esta campanha foi realizada durante todo o mês de Setembro de 2005, e contemplou duas situações distintas:

- Durante a primeira quinzena de Setembro, não houve reforço das lavagens na via;
- Na segunda quinzena de Setembro, efectuaram-se acções diárias de reforço das lavagem da Avenida da Liberdade, entre as 10h e as 11h da manhã (com excepção dos Domingos).

Relativamente às concentrações de partículas observadas, os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Junto ao cinema S. Jorge registaram-se concentrações mais baixas de  $PM_{10}$ , não só devido à distância a que se encontrava o analisador relativamente ao eixo da via, mas também porque o tráfego automóvel em circulação nas vias adjacentes é significativamente inferior ao que circula na via principal;
- Os níveis de  $PM_{10}$  durante a segunda quinzena de Setembro foram mais elevados devido à forte influência de outros factores que não apenas o tráfego rodoviário, nomeadamente condições meteorológicas e intrusão de poeiras provenientes do norte de África. Registaram-se situações de inversões térmicas em vários dias consecutivos (durante praticamente toda a campanha de reforço de lavagens), algumas delas a poucos metros da superfície, o que dificultou a dispersão atmosférica dos poluentes. Este facto, associado à ocorrência de um evento natural (poeiras vindas do norte de África) nos dias 15 e 16, esteve na origem dos elevados níveis de partículas verificados. Os resultados das análises químicas das partículas permitem confirmar a ideia que o aumento dos níveis de  $PM_{10}$  registados durante a 2<sup>a</sup> quinzena de Setembro se deve principalmente ao incremento da fracção mineral de origem não antropogénica.

Relativamente ao papel do reforço das lavagens na redução dos níveis de partículas, os resultados indicam o seguinte:

- Efectuando uma análise mais detalhada dos dados (perfis horários médios) de  $PM_{10}$  para ambos os períodos em estudo, é possível identificar que o reforço das lavagens deverá ter tido influência na redução das concentrações de  $PM_{10}$  que ocorreu durante a hora de ponta da tarde. Esta análise é fundamentada pela comparação efectuada entre os dados registados na EQA da Avenida com dados de outras estações de tráfego vizinhas (como a EQA de Entrecampos), bem como, com dados relativos ao mês de Outubro, uma vez que, durante a primeira semana deste mês (durante o qual já não se procedeu ao reforço das lavagens), os níveis de  $PM_{10}$  associados ao pico da tarde registaram um aumento em relação ao pico da manhã. O atenuar do segundo pico traduziu-se igualmente numa redução na ordem de alguns microgramas por metro cúbico ( $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na média diária, relativamente ao



verificado na primeira semana de Outubro. Esta redução terá influência no número de dias em excedência que estejam apenas ligeiramente acima do VL diário, bem como, na redução da média anual, apesar de menos significativa. A análise e comparação com os níveis de PM<sub>10</sub> registados em 2004 também parece confirmar esta conclusão;

- De uma forma geral, os resultados das análises químicas permitem concluir que a influência directa ou indirecta do tráfego rodoviário (em particular dos veículos a gasóleo) é mais significativa nos dados recolhidos na estação de monitorização de qualidade do ar da Avenida da Liberdade do que junto ao cinema S. Jorge, quer pelos valores absolutos dos constituintes associados ao tráfego, quer pelo peso relativo da sua distribuição. Entre os dois períodos de análise (sem e com reforço das lavagens) há uma redução do peso relativo dos constituintes de origem antropogénica, em consonância com a pequena redução da média diária já assinalada anteriormente, calculada com base nos perfis médios horários.

Neste contexto, apesar das incertezas associadas a um estudo desta natureza, conclui-se que:

- O reforço das lavagens parece ter uma influência positiva, embora não muito significativa, na redução dos níveis de partículas na Avenida da Liberdade;

- Ponderando os custos-benefícios associados a esta medida, considera-se que, desde que se recorra a água reutilizada (nomeadamente proveniente de estações de tratamento de águas residuais), que não seja assim retirada do sistema de distribuição, e porque o volume em causa é praticamente irrelevante, a medida deve vir a ser implementada; enquanto tal não for viável, recomenda-se a articulação entre a CCDR-LVT e a Câmara Municipal de Lisboa para que em determinadas circunstâncias devidamente avaliadas de elevada concentração de partículas, e porque em causa está a protecção da saúde pública de quem vive ou trabalha naquela área, seja possível activar por períodos limitados o reforço da lavagem da Avenida da Liberdade nos moldes em que foi testada;

- Sugere-se igualmente a repetição dos testes efectuados em Setembro por um período mais longo desde que as circunstâncias meteorológicas e climáticas, bem como logísticas o tornem possível;

- O reforço das lavagens deve ser implementado em conjunto com outras medidas sugeridas nos Planos e Programas desenvolvidos pela CCDR-LVT (por exemplo, limitação do número de veículos que diariamente circulam na Avenida da Liberdade), medidas estas que só de forma integrada e cumulativa conseguirão assegurar o cumprimento dos valores limite de partículas estabelecidos pela legislação.



## 5. Referências Bibliográficas

- CCDR-LVT e DCEA – FCT/UNL (2005). *Planos e Programas para a Melhoria da Qualidade do Ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa. Junho de 2005. - disponível em <http://www.ccdr-lvt.pt>
- Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril
- Directiva n.º 1996/62/CE, do Conselho de 27 de Setembro, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente.
- Directiva n.º 1999/30/CE, do Conselho de 22 de Abril, relativa a valores limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas em suspensão e chumbo no ar ambiente.
- Base de dados online sobre qualidade do ar –disponível em [www.qualar.org](http://www.qualar.org)
- Sítio do Barcelona Supercomputer Center relativo ao modelo DREAM - <http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/>
- Sítio do Departamento de Ciências da Atmosfera da Universidade de Wyoming - <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- Tente, H. (2005). *Impacte das partículas em suspensão sobre a saúde humana: uma abordagem multidisciplinar para a cidade de Lisboa*. Proposta de dissertação de Mestrado. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Williams, M. e Bruckmann, P. (2001). *EC Working Group on Particulate Matter - Guidance to Member States on PM10 monitoring and intercomparisons with the reference method - Draft Final Report*. 21 de Fevereiro de 2001.





## **ANEXOS**



**Tabela 10: Concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub> para os diversos locais de campanha, e valores diários de precipitação e velocidade do vento**

Data	S. Jorge PM10 Concentração (ug/m3)	EQA PM10 Concentração (ug/m3)	AVL PM10 Concentração (ug/m3)	Precipitação (mm)	Vel. Vento (m/s)
01-09-2005	13	18	35	0,0	4,3
02-09-2005	31	38	34	0,0	3,1
03-09-2005	25	35	36	0,0	1,8
04-09-2005	24	31	32	0,0	2,4
05-09-2005	25	27	23	0,0	3,1
06-09-2005	18	24	22	2,6	3,2
07-09-2005	24	35	34	1,0	5,4
08-09-2005	30	36	36	0,0	3,1
09-09-2005	27	41		0,0	3,2
10-09-2005	27	30	36	0,0	2,6
11-09-2005	17	26	30	0,0	3,1
12-09-2005	26	37	41	0,0	4,4
13-09-2005	27	44	44	0,0	4,2
14-09-2005	40	56	59	0,0	3,3
15-09-2005	54	70	77	0,3	2,7
16-09-2005	47	68	76	0,2	2,7
17-09-2005	35	42	42	0,0	4,6
18-09-2005	30	37	40	0,0	5,1
19-09-2005	49	59	68	0,0	2,5
20-09-2005	61	75	80	0,0	2,1
21-09-2005	64	75	86	0,0	2,1
22-09-2005	60	70	84	0,0	3,7
23-09-2005	34	54	53	0,0	3,4
24-09-2005	34	42	32	0,0	3,4
25-09-2005	28	38	30	0,0	3,9
26-09-2005	65	74	63	0,0	4,3
27-09-2005	62	80	79	0,0	3,2
28-09-2005	70	83	73	0,0	3,8
29-09-2005	71	87	73	0,0	2,2
30-09-2005	82		100	0,0	2,7



Tabela 11: Resultados dia-a-dia da campanha de medição com a estação móvel SNIF Air Lab

Data	CO (mg/m <sup>3</sup> )	NO (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
16-09-2005	0,7	36	62	117	80	40
17-09-2005	0,6	11	29	46	41	14
18-09-2005	0,8	4	21	27	33	17
19-09-2005	0,8	43	79	145	67	32
20-09-2005	0,7	76	106	222	93	43
21-09-2005	0,7	84	101	229	119	49
22-09-2005	0,5	58	82	171	120	47

Tabela 12: Concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub> na Avenida da Liberdade, em Setembro de 2004 e 2005. Os dias com Evento Natural apresentam-se a vermelho

Data	PM <sub>10</sub> 2004 (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> 2005 (µg/m <sup>3</sup> )
01-09-2005	25	35
02-09-2005	29	34
03-09-2005	44	36
04-09-2005	38	32
05-09-2005	35	23
06-09-2005	25	22
07-09-2005	45	34
08-09-2005	39	36
09-09-2005	57	-
10-09-2005	55	36
11-09-2005	42	30
12-09-2005	23	41
13-09-2005	38	44
14-09-2005	29	59
15-09-2005	39	77
16-09-2005	53	76
17-09-2005	66	42
18-09-2005	39	40
19-09-2005	23	68
20-09-2005	54	80
21-09-2005	70	86
22-09-2005	102	84
23-09-2005	74	53
24-09-2005	72	32
25-09-2005	68	30
26-09-2005	44	63
27-09-2005	86	79
28-09-2005	117	73
29-09-2005	118	73
30-09-2005	85	100

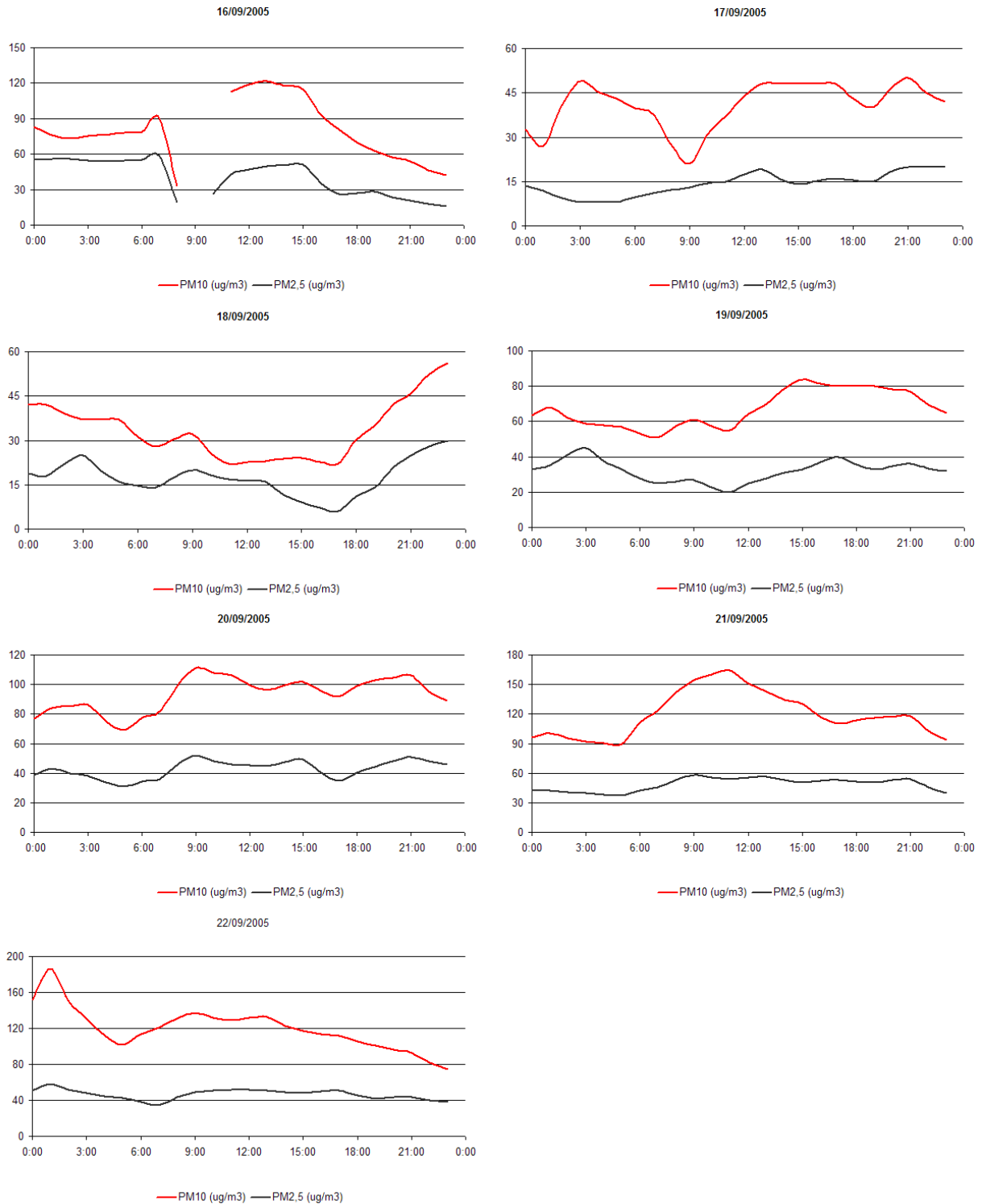


Tabela 13: Altura de base da inversão térmica, para cada dia em que se verificou a sua ocorrência

Data	Base da Inversão Térmica (m)
01-09-2005	1100
02-09-2005	600
03-09-2005	1800
04-09-2005	1100
05-09-2005	1300
06-09-2005	1400
07-09-2005	800
08-09-2005	1100
09-09-2005	1700
10-09-2005	
11-09-2005	1800
12-09-2005	
13-09-2005	
14-09-2005	
15-09-2005	
16-09-2005	-
17-09-2005	1100
18-09-2005	900
19-09-2005	1600
20-09-2005	200
21-09-2005	600
22-09-2005	400
23-09-2005	700
24-09-2005	1400
25-09-2005	1300
26-09-2005	1500
27-09-2005	400
28-09-2005	600
29-09-2005	400
30-09-2005	250

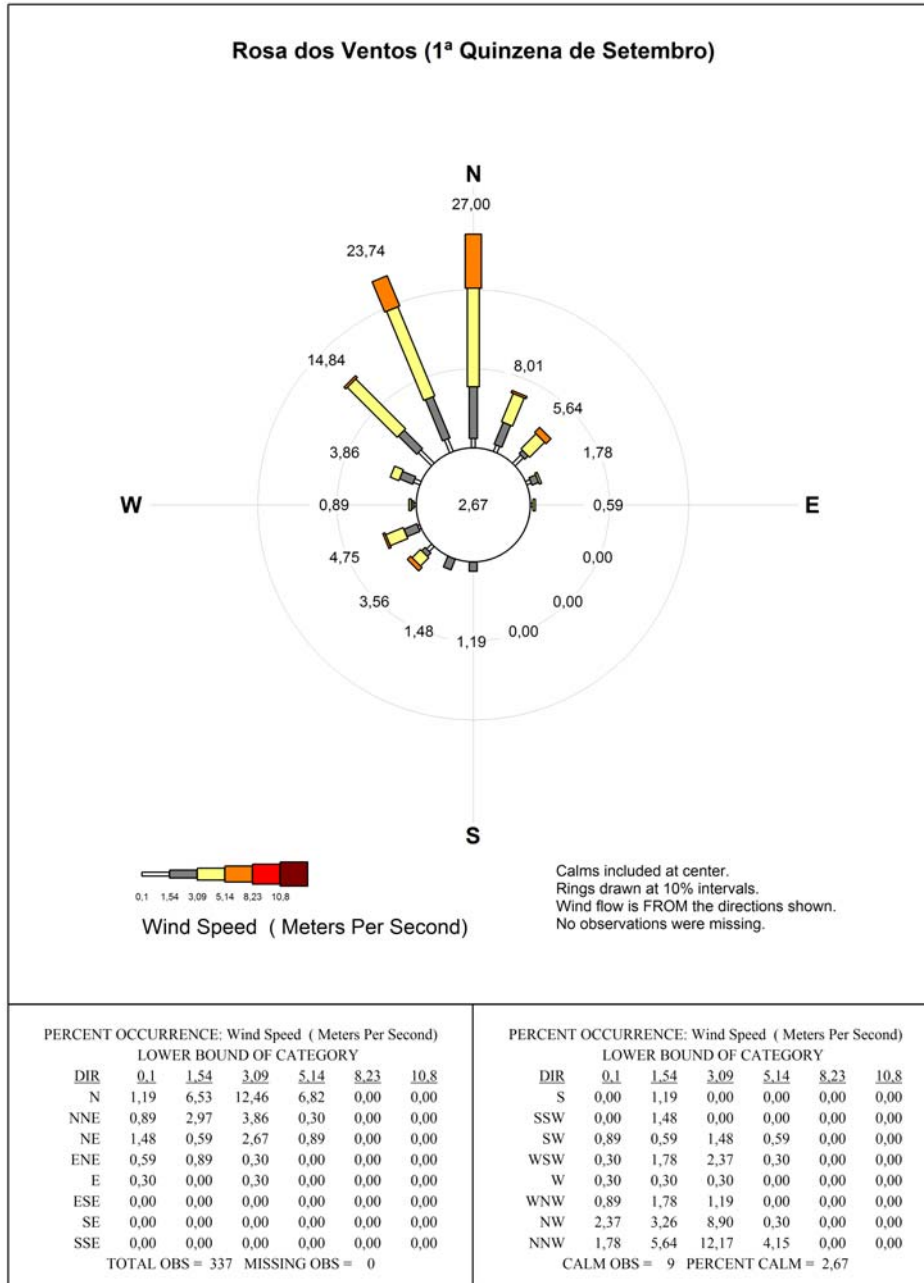


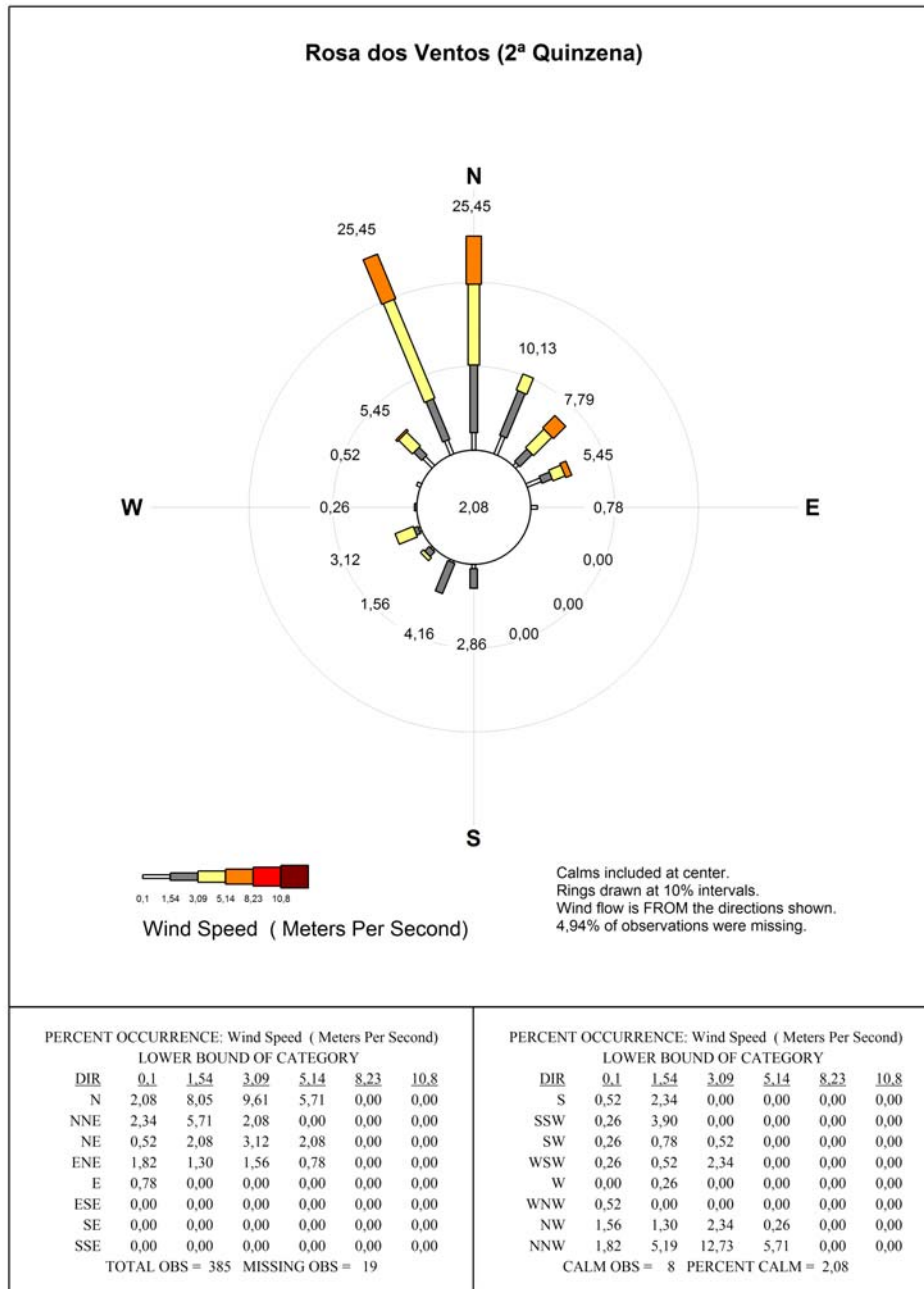
### Concentrações horárias de PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> registadas pelo SNIF, dia-a-dia





## Rosas de Ventos detalhadas para as duas quinzenas de Setembro

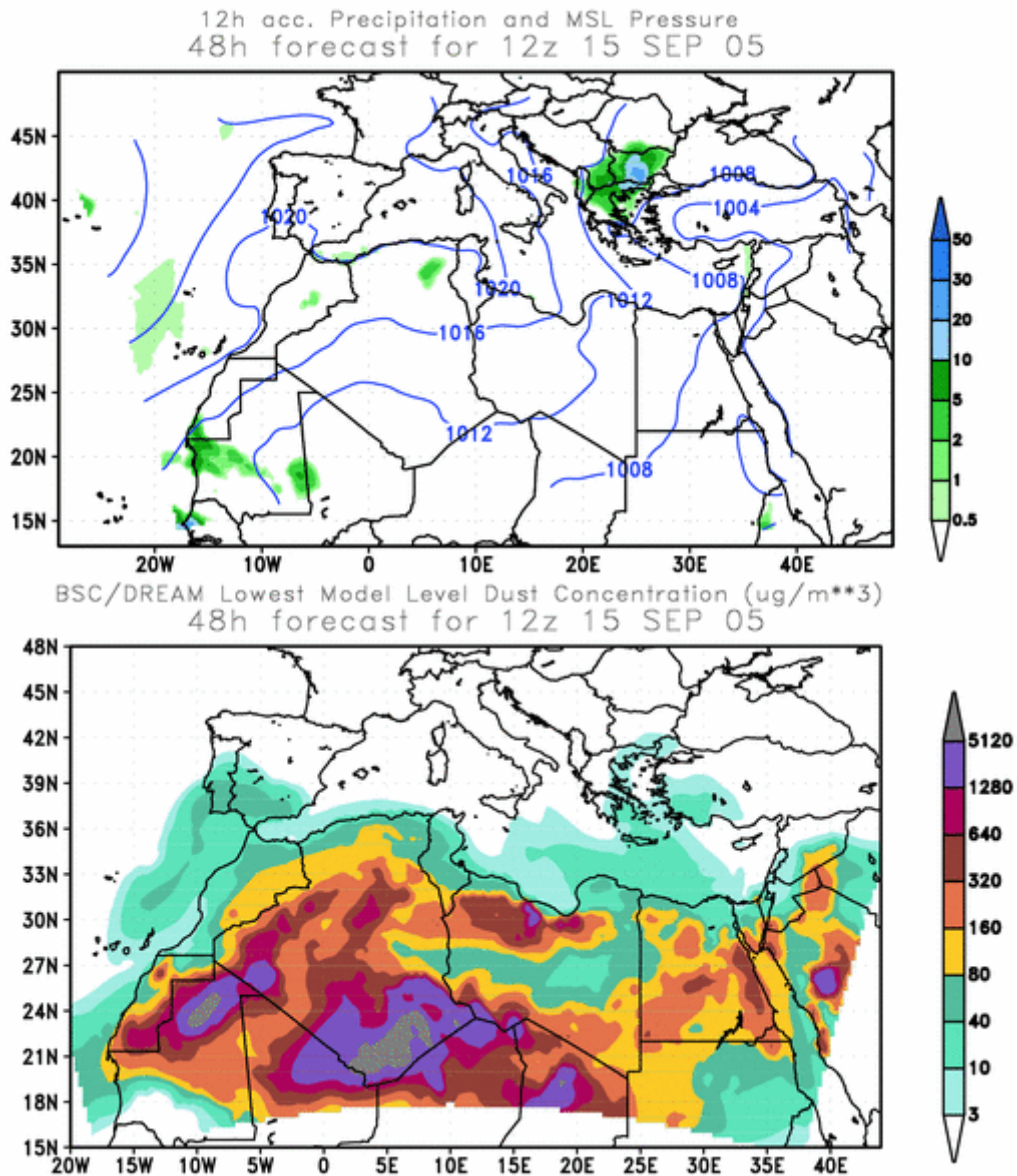






## Fichas de previsão de eventos naturais

DATA: 15/9/2005



DREAM<sup>2</sup>

OBSERVAÇÕES:

**Dust** (concentração de partículas à superfície) Registo de partículas (concentrações que variam entre os 3 e 80  $\mu\text{g}$ ) sobre a região centro e sul de Portugal, para o dia 15/9.

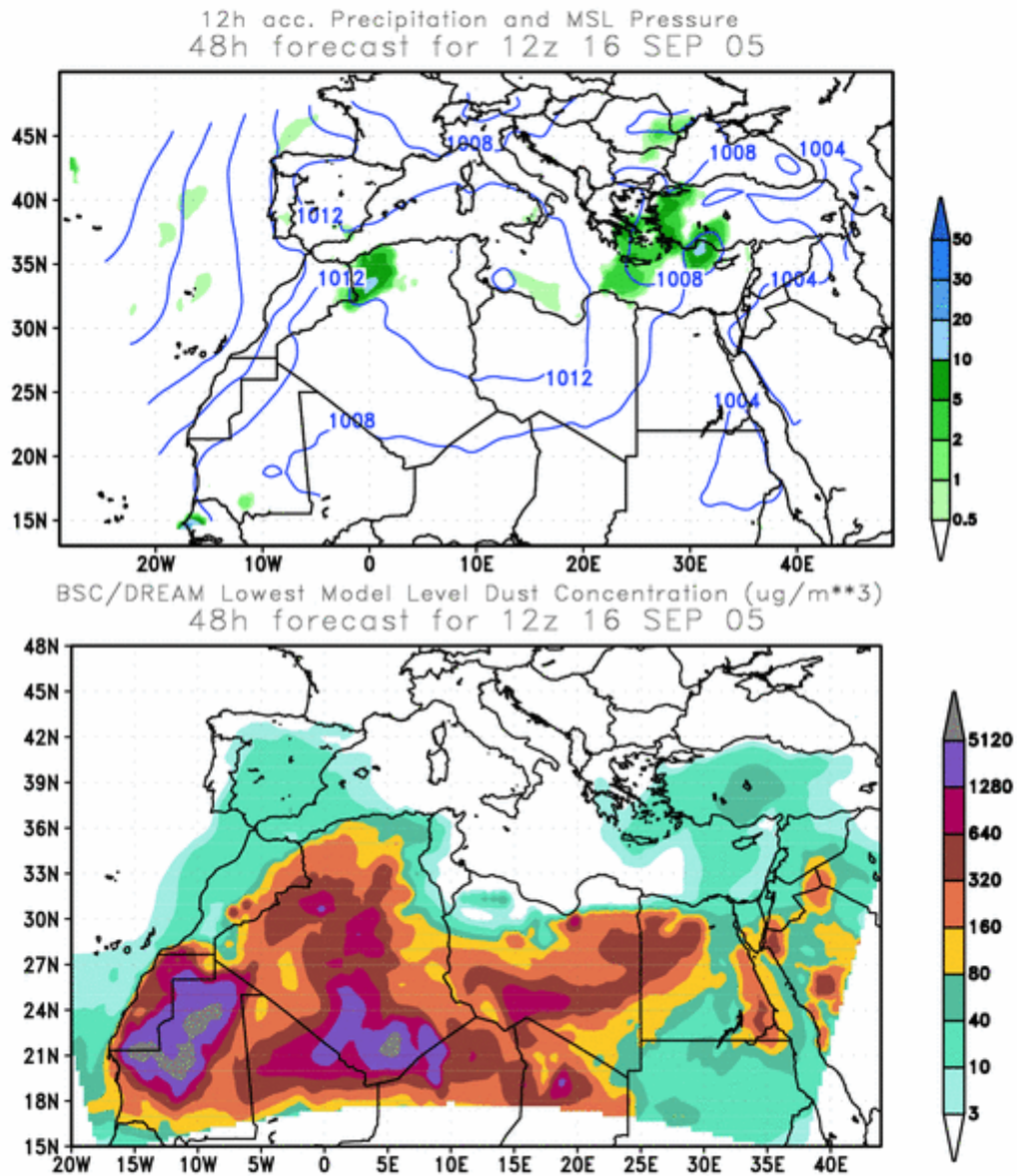
De acordo com a informação do DREAM, prevê-se intrusão de massas de ar provenientes dos desertos de África, para o dia 15/9/2005.

<sup>2</sup> Fonte: <http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/>





DATA: 16/9/2005



DREAM

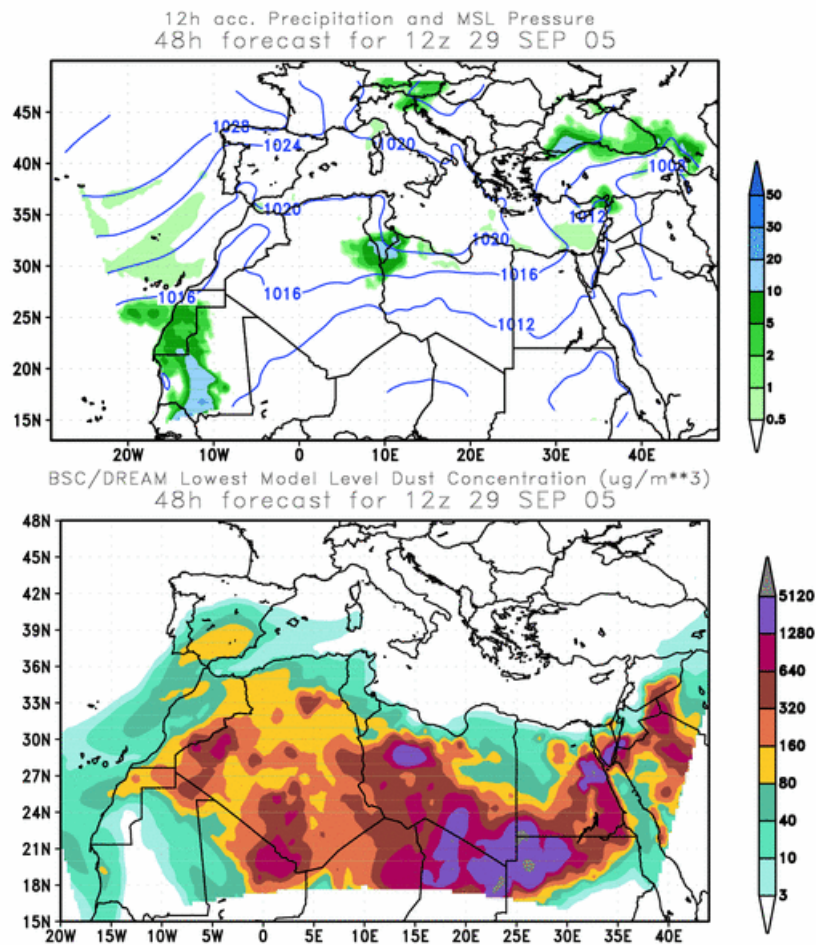
OBSERVAÇÕES:

**Dust** (concentração de partículas à superfície) Registo de partículas (concentrações que variam entre os 3 e 80  $\mu\text{g}$ ) sobre a região sul e nordeste de Portugal, para o dia 16/9.

De acordo com a informação do DREAM, prevê-se intrusão de massas de ar provenientes dos desertos de África, para o dia 16/9/2005.



DATA: 29/9/2005



DREAM

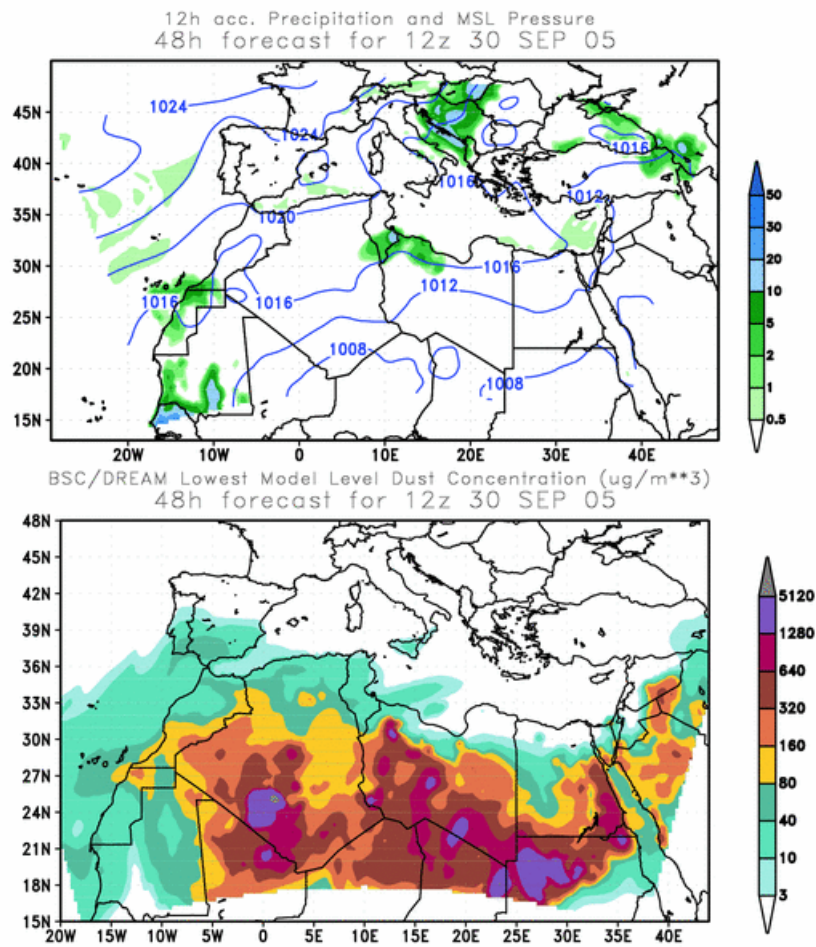
OBSERVAÇÕES:

**Dust** Concentração de partículas sobre a região Sul do país e Centro (interior).  
(concentração de partículas à superfície)

De acordo com a informação do DREAM, prevê-se a intrusão de massas de ar provenientes dos desertos de África, para o dia 29/9/2005.



DATA: 30/9/2005



DREAM

OBSERVAÇÕES:

**Dust** Concentração de partículas sobre a região Centro (concentração de partículas à superfície) (Norte e Sul) e Sul do país.

De acordo com a informação do DREAM, prevê-se a intrusão de massas de ar provenientes dos desertos de África, para o dia 30/9/2005.



## Composição Química das PM<sub>10</sub> dia-a-dia

Elemento	EQA0209	EQA0309	EQA0409	EQA0509	EQA0609	EQA0709	EQA0809	EQA1109	EQA1209	EQA1309	EQA1409	EQA1509
Al	1,11	1,01	1,10	0,85	0,75	0,89	1,10	0,86	0,88	1,27	1,32	1,75
Ca	2,42	1,98	2,15	1,41	1,00	1,87	2,00	1,23	1,72	2,58	2,83	4,34
Cr	0,01	0,12	0,04	0,02		0,03	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04
Cu	0,08	0,06	0,05	0,02		0,05	0,06	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10
Fe	1,40	1,62	1,18	0,79	0,43	1,08	1,21	0,79	1,25	1,69	2,26	2,33
Mg	0,13	0,08	0,10	0,14	0,10	0,15	0,17	0,22	0,15	0,14	0,16	0,26
Mn	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,08
Mo	0,07	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,12	0,07	0,06
Na	0,52	0,25	0,36	0,85	1,17	0,93	0,84	1,65	0,88	0,56	0,39	0,40
Ni	0,05	0,05	0,10	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
P	0,06	0,08	0,05	0,19	0,09		0,05	0,05	0,10	0,18	0,08	0,10
Ti	0,04		0,04				0,04			0,04	0,04	0,07
Zn	0,23	0,26	0,20	0,16	0,16	0,20	0,20	0,22	0,21	0,20	0,21	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,09	1,90	2,08	1,61	1,42	1,67	2,07	1,63	1,67	2,40	2,49	3,30
SiO <sub>2</sub>	6,26	5,70	6,24	4,83	4,27	5,01	6,21	4,89	5,00	7,21	7,48	9,91
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	3,96	3,17	3,48	2,48	1,76	3,17	3,42	2,38	2,96	4,23	4,65	7,15
Cl <sup>-</sup>	0,62	0,12	1,42	1,52	2,32	1,17	0,22	3,82	1,70	0,00	0,22	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,74	11,51	0,74	7,24	9,24	0,74	0,74	8,24	3,00	5,24	10,24	7,24
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,48	1,12	3,03	1,48	1,48	3,03	3,48	2,98	3,08	1,48	3,83	4,78
CO	6,96	7,01	6,77	6,24		7,42	6,95	5,86	7,06	8,91	9,96	11,38
CE	8,74	7,92	6,58	6,13		7,43	7,56	5,61	8,62	10,04	11,76	13,16
Elemento	EQA1609	EQA1709	EQA1809	EQA1909	EQA2009	EQA2109	EQA2309	EQA2409	EQA2509	EQA2609	EQA2809	EQA2909
Al	1,27	1,45	1,48	1,50	1,61	1,61	2,74	1,02	1,68	2,83		4,55
Ca	3,27	1,88	1,35	2,95	4,41	4,44	3,20	2,06	2,11	3,39	1,37	4,35
Cr	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,08	0,02	0,07	0,07	0,04	0,04
Cu	0,09	0,07		0,10	0,14	0,13	0,19	0,07	0,12	0,18	0,05	0,11
Fe	1,98	1,13	0,98	1,67	2,29	2,73	2,40	1,06	1,36	2,42	0,03	2,00
Mg	0,25	0,39	0,17	0,23	0,25	0,28	0,26	0,22	0,33	0,51	0,05	0,38
Mn	0,20	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04		0,03	0,04	0,03	0,03
Mo	0,06	0,07	0,05	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,03	0,03	0,00	0,06
Na	0,84	2,17	0,68	0,79	0,62	0,92	0,80	1,29	1,59	2,13	0,68	7,00
Ni	0,10	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,10	0,04
P	0,06	0,04	0,08		0,03	0,01	0,18		0,18	0,19	0,20	0,04
Ti	0,06	0,04	0,04	0,07	0,09	0,15	0,10		0,08	0,10	0,03	0,08
Zn	0,22	0,27	0,16	0,32	0,30	0,30	0,10	0,24	0,08	0,12	0,14	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,39	2,73	2,79	2,82	3,03	3,04	5,18	1,93	3,16	5,34	0,00	8,59
SiO <sub>2</sub>	7,17	8,20	8,36	8,47	9,09	9,11	15,53	5,79	9,48	16,01	0,00	25,78
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	5,53	3,79	2,44	4,99	7,23	7,36	5,46	3,63	4,01	6,35	2,19	7,47
Cl <sup>-</sup>	0,00	2,90	1,71	0,55	0,00	1,42	0,21	2,59	1,61	3,88	3,08	1,92
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,74	3,94	3,53	4,50	5,74	4,28	2,63	2,93	3,21	5,16	6,46	7,25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8,98	3,06	1,69	3,63	4,98	7,92	3,72	1,72	1,82	4,70	5,82	5,76
CO	10,17		8,55		13,90	12,46	7,53	5,59	5,07	7,86	7,88	10,23
CE	10,80		3,48		13,89	11,69	10,69	5,97	5,58	10,75	11,15	12,70



Elemento	SJ0209	SJ0409	SJ0509	SJ0609	SJ0709	SJ0809	SJ1109	SJ1209	SJ1309	SJ1409	SJ1509	SJ1609
Al	1,71	1,24	1,08	0,93	0,56	0,79	0,96	1,40	1,35	1,63	1,39	1,26
Ca	3,98	2,00	1,88	1,32	0,88	1,47	0,95	1,83	2,06	3,20	3,58	2,88
Cr	0,04	0,04	0,04	0,04		0,03	0,17	0,06	0,07	0,08	0,02	0,04
Cu	0,12	0,06	0,06	0,03			0,07	0,05	0,09	0,10	0,11	0,06
Fe	1,86	0,82	0,86	0,51	0,37	0,83	3,78	1,15	1,06	1,80	1,30	0,97
Mg	0,29	0,10	0,19	0,17	0,08	0,12	0,27	0,31	0,19	0,21	0,20	0,25
Mn	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,09	0,03	0,03	0,04	0,06	0,02
Mo	0,10	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,09	0,01	0,02	0,09	0,03	0,06
Na	1,13	0,56	1,12	1,19	0,69	0,62	1,81	1,26	0,63	0,61	0,33	1,21
Ni	0,04	0,06	0,03				0,08	0,04	0,05	0,05		0,02
P	0,05	0,02		0,04	0,19	0,10	0,12	0,07	0,22	0,12	0,06	
Ti	0,09	0,05	0,04				0,04	0,07	0,09	0,08	0,06	0,07
Zn	0,31	0,21	0,22	0,19	0,19	0,16	0,23	0,06	0,10	0,26	0,17	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,22	2,35	2,03	1,76	1,06	1,50	1,80	2,65	2,54	3,07	2,62	2,38
SiO <sub>2</sub>	9,66	7,04	6,09	5,27	3,19	4,50	5,41	7,94	7,62	9,22	7,86	7,13
CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	6,71	3,26	3,30	2,41	1,51	2,50	2,08	3,52	3,57	5,34	5,87	4,93
Cl <sup>-</sup>	1,31	1,09	2,10	1,82	2,62	1,98	3,32	1,73	0,58	0,00	0,22	2,03
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4,47	12,70	11,33	0,74	3,80	2,24	0,74	2,78	4,23	0,74	7,24	5,91
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,81	1,34	3,01	1,48	1,82	3,28	1,48	3,03	1,90	3,73	4,48	8,85
CO	6,47	6,09	4,99	6,37	5,36	5,49	3,97	5,47	6,76	8,85	9,12	7,93
CE	5,31	3,88	3,96	2,71	3,43	4,55	2,56	3,57	3,75	5,56	7,38	5,44
Elemento	SJ1709	SJ1809	SJ1909	SJ2009	SJ2109	SJ2309	SJ2409	SJ2509	SJ2609	SJ2809	SJ2909	SJ3009
Al	1,23	1,63	1,51	1,92	1,15	1,43	0,90	0,94	1,97	1,82	1,40	3,49
Ca	1,78	1,46	3,33	4,45	2,19	2,06	1,41	1,06	3,11	3,04	3,19	6,10
Cr	0,06	0,06	0,06	0,08	0,04	0,07	0,03	0,04	0,08	0,07	0,05	0,08
Cu	0,10	0,06	0,07	0,15	0,03	0,07		0,03	0,09	0,10	0,10	0,16
Fe	2,02	0,64	1,42	2,12	0,94	1,29	0,63	0,45	1,70	1,45	1,42	3,09
Mg	0,42	0,17	0,25	0,27	0,12	0,21	0,20	0,22	0,53	0,56	0,36	0,44
Mn	0,03	0,02	0,04	0,05	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,03	0,03	0,05
Mo	0,08	0,09	0,07	0,09	0,05	0,02	0,06	0,06	0,03	0,02	0,08	0,04
Na	2,35	1,07	1,00	0,93	0,45	0,84	1,28	1,39	2,21	2,58	1,90	0,97
Ni	0,05	0,04	0,04	0,06		0,06			0,05	0,04	0,04	0,04
P	0,08		0,04	0,12	0,08	0,17	0,09		0,19	0,16	0,05	0,23
Ti	0,05	0,08	0,10	0,12	0,04	0,08			0,11	0,10	0,06	0,16
Zn	0,21	0,21	0,27	0,30	0,15	0,08	0,15	0,16	0,08	0,09	0,25	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,32	3,07	2,85	3,62	2,17	2,69	1,71	1,78	3,72	3,44	2,63	6,59
SiO <sub>2</sub>	6,97	9,22	8,55	10,87	6,50	8,07	5,12	5,35	11,17	10,32	7,90	19,76
CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	3,72	2,62	5,63	7,35	3,57	3,62	2,62	2,14	5,99	5,95	5,69	10,25
Cl <sup>-</sup>	1,07	0,02	0,00	1,55	1,43	3,13	2,07	2,19	0,57	2,73	1,03	1,01
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4,51	4,74	5,24	4,54	1,14	2,13	1,05	6,12	3,85	7,32	4,61	3,01
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,75	4,13	4,88	8,43	3,16	1,62	1,62	3,71	3,99	6,29	5,64	5,73
CO		8,23	11,34	12,62	10,47	7,12	3,94	3,39	6,00	6,15	8,22	11,13
CE		1,70	6,33	8,17	7,87	4,60	3,06	1,29	4,95	5,05	6,51	9,90