Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
2005

Abel Pedro António Martins

avaliação da qualidade do ar em Lisboa estações urbanas de tráfego

Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
2005

Abel Pedro António Martins

avaliação da qualidade do ar em Lisboa estações urbanas de tráfego

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, realizada sob a orientação científica do Doutor Mário Cerqueira, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e do Doutor Francisco Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

o júri

Presidente

Professor Doutor Casimiro Adrião Pio
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogais

Professora Doutora Maria da Conceição Machado Alvim Ferraz
Professora Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Professor Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Francisco Manuel Cardoso Ferreira
Professor Auxiliar do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

agradecimentos

A realização do presente trabalho contou com a colaboração, a todos os títulos inestimável, de algumas pessoas a quem não posso deixar de agradecer.
As primeiras palavras vão para a preciosa orientação científica dada pelo Prof. Mário Cerqueira e Prof. Francisco Ferreira, a sua indispensável e valorosa contribuição, os conselhos prestados, a inesgotável sabedoria com que me aconselharam, sem eles não teria sido possível estar a escrever qualquer agradecimento…
Ao Jorge Amorim e Prof. Carlos Borrego, cujo auxílio durante a execução do trabalho de modelação foi de decisiva importância e incentivo, uma palavra de especial apreço e amizade.
Ao grupo de colegas do DCEA – GASA, o meu enorme agradecimento, atribuo-lhes o sucesso desta aventura, aos quais reconheço uma sábia competência e voluntarismo, a presença e os conselhos mais do que úteis nas várias fases do trabalho, a disponibilização de informação, e o mais importante, a vocação amiga presente em todos eles: ao Jorge, ao Paulo, ao Pedro G., à Joana, à Sandra, à Norma; ao Hugo, ao Pedro T. e à Cláudia também enquanto colegas de curso a preciosa ajuda durante a frequência deste mestrado, as inesquecíveis viagens ao *crepúsculo*, as refeições de incontroladas gargalhadas e todas as histórias que por si só, preencheriam a totalidade das páginas de uma tese de mestrado.
Agradeço ao Instituto do Ambiente, e em especial nas pessoas da Eng.ª Filomena Boavida, Eng.ª Ana Teresa Perez e Eng.ª Paula Carreira o seu apoio e cooperação incondicionais, e o interesse e preocupação demonstradas nas fases mais críticas. Agradeço ainda a todos os elementos da Divisão de Gestão do Ar e Ruído a forma como acompanharam estes intensos meses de trabalho na convivência do dia a dia.
O meu sentido agradecimento à Marta pelas valiosas indicações “estatísticas” e empolgação com que sempre me aconselhou, ao Sérgio e a todos os colegas e amigos que deixaram de ter a minha presença física habitual, pelo forte incentivo e atenção demonstrados, a persistente dedicação que lhes é habitual, eles sabem quem são.
Por último e decerto o mais importante, às pessoas da minha vida, unidas por laços familiares, a quem devo muito mais do que um simples agradecimento, são elas os meus pais, o meu irmão Jorge, a minha irmã Cláudia.
Em especial a ti Cláudia, dedico todo este trabalho, foste tu quem melhor me acompanhou, sabes de cada pormenor desta caminhada, que à semelhança de outras, não prescindo de fazer contigo.

palavras-chave qualidade do ar, emissões rodoviárias, estações urbanas de tráfego, campanhas de monitorização, modelo CFD

resumo

A rede automática de monitorização da qualidade do ar existente na cidade de Lisboa, consistindo num total de sete estações, disponibiliza dados horários para os principais poluentes atmosféricos. Em duas destas estações, Entrecampos e Avenida da Liberdade, de características tipicamente urbanas, tem-se verificado nos últimos anos a ocorrência de um elevado número de excedências dos valores médios diários legalmente permitidos para partículas inaláveis.

Neste contexto, o trabalho contempla a apresentação dos resultados de duas campanhas de qualidade do ar que decorreram em Entrecampos e Avenida da Liberdade, no sentido de definir os critérios mais apropriados para a localização daquelas estações de tráfego, as quais devem ser representativas do ambiente existente na berma da via de tráfego.

As campanhas foram realizadas através de uma unidade móvel de qualidade do ar na Avenida da Liberdade (16 a 21-5-2004) e Entrecampos (14 a 28-10-2004), devidamente equipada para medir NO_2, NO, CO e PM_{10}, tendo os resultados sido comparados com os registados nas respectivas estações da rede de qualidade do ar, verificando-se o cumprimento generalizado dos valores-limite estipulados na legislação, à excepção de PM_{10}, que excedem com frequência o respectivo limite. As concentrações obtidas foram sujeitas a uma análise correlacional com dados de tráfego e orientação do vento. Os resultados indicam ser o NO_2, o poluente que melhor responde às variações de tráfego.

No sentido de avaliar e simular o escoamento e dispersão de poluentes atmosféricos emitidos pelo tráfego rodoviário, foi aplicado um modelo do tipo Computação da Dinâmica de Fluidos, durante um período de 31 horas num domínio de cálculo centrado na Avenida da Liberdade. Este domínio é caracterizado pela presença de um grupo de edifícios, estradas e árvores que resultam numa elevada complexidade geométrica. As corridas envolveram informação adicional, nomeadamente de dados meteorológicos e de emissões. A validação dos resultados foi efectuada recorrendo aos valores de concentração obtidos na estação de qualidade do ar e na unidade móvel de qualidade do ar.

O trabalho realizado propôs-se contribuir para a melhor compreensão dos locais mais críticos em termos de tráfego rodoviário urbano, através da condução de medições de qualidade do ar e da aplicação de modelos. Tratando-se do tráfego automóvel, a principal fonte urbana de poluição, impõe-se a adopção de medidas mais restritivas no que concerne à circulação de veículos na cidade.

Os resultados decorrentes das campanhas realizadas e da aplicação do modelo, permitem recolher informação útil no sentido de desenvolver metodologias adequadas de avaliação da qualidade do ar, possibilitando desta forma, o necessário conhecimento do risco potencial a que as populações estão sujeitas, e o cumprimento dos aspectos legais vigentes.

keywords

air quality, road traffic emissions, urban area, measuring campaigns, CFD model

abstract

An automatic network consisting of seven stations monitors the ambient air quality in Lisbon, which provide hourly data for the main atmospheric pollutants. Two of them, located at “Liberdade” Avenue and “Entrecampos”, could be regarded as typical urban traffic stations. During the last years, the daily limit value for PM_{10} was exceeded in high number of days.

In this context, this report presents the results from air quality campaigns carried out in those Lisbon traffic hot-spots, aiming to define a more accurate and appropriate location for the referred traffic monitoring stations, which are intended to be representative of the near-kerbside environment.

The campaigns were performed with an air quality mobile laboratory (SNIF AirLab) equipped with the necessary instruments for atmospheric monitoring: NO_2, NO, CO and PM_{10} in “Liberdade” (spring of 2004 – May, 16-21) and “Entrecampos” (autumn of 2004 - October, 14-28), and the results, compared with the respective Air Quality Stations. The monitored concentrations were correlated with the traffic flow rate, and wind direction. The results indicated that the variation of NO_2 concentrations closely followed the traffic flow rate, but not so evidently in relation of wind direction, probably due to the multiplicity of road contributions. Comparing with the stipulated air quality standards, the results show its fulfilment, to the exception of PM_{10}, which often exceeds respective value.

In order to evaluate and simulate the flow and dispersion fields of air pollutants emitted by road traffic, a computational fluid dynamics (CFD) model was applied. The simulation of wind and dispersion fields for a 31 hours period was performed on a calculation domain centred at “Liberdade” Avenue. This domain is characterised by the presence of a group of buildings, streets and trees that result on a high geometrical complexity. Additional information was required, namely for the meteorology and emissions definition. Air quality data from the monitoring stations, as well as from the measurement portable equipment (SNIF) were used for the validation of the modelling results.

The overall goal of this report is to contribute to a better understanding of the air quality problem in urban traffic hot-spots by conducting measurements and modelling study of atmospheric pollutants in the Lisbon city. Given that the main source of air pollution in this urban area is road traffic, any attempt to reduce air pollution levels needs to start by reducing the use of cars circulating within the city.

The campaigns results and the performed simulations allowed to obtain important information for the development of adequate methodologies towards air quality evaluation. It may also be used to promote the necessary knowledge of the potential risk for human health in traffic hot-spots areas and to guarantee the existing fulfilment of the norms and legislative aspects.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera de um centro urbano é um complexo sistema contendo poluentes gasosos e particulados, que excedem as concentrações naturais da atmosfera, sendo emitidos por fontes móveis e fixas ou gerados por meio de reacções químicas.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como constituintes atmosféricos, cuja concentração elevada, em relação ao seu padrão natural, está directamente relacionada com as fontes antropogénicas ou naturais (Neto et al., 2004).

Uma vez introduzidos na atmosfera, os poluentes são transportados pelo vento. O conjunto de processos atmosféricos vai definir as concentrações desses poluentes, observadas num dado ponto do espaço e num dado instante, podendo ser matematicamente descritos (ainda que parcialmente), através de modelação (Bisorca e Ionel, 2002).

O desenvolvimento de modelos CFD (Computação da Dinâmica de Fluidos) facilitou os estudos experimentais, possibilitando a previsão e análise das variações das grandezas envolvidas no escoamento turbulento. Com a melhoria dos recursos computacionais, a modelação e simulação numéricas têm tido um uso cada vez mais generalizado, nomeadamente no que respeita ao estudo do escoamento de fluidos e dispersão de poluentes na atmosfera.

A apresentação de resultados fiáveis de qualidade do ar decorrentes da aplicação destes modelos, em especial nas zonas urbanas caracterizadas por possuírem uma elevada circulação automóvel e pedonal, permite obter um nível desejável de conhecimento do grau de exposição das populações aos poluentes atmosféricos, bem como ajudar à determinação da melhor localização de estações de qualidade do ar, procurando-se que sejam representativas do ambiente urbano influenciado marcadamente pela existência de veículos automóveis.

Neste âmbito, o presente trabalho contempla a simulação da dispersão à escala local de um poluente atmosférico emitido pelos veículos automóveis, através da aplicação do modelo numérico FLUENT, do tipo CFD. Este modelo combina a acção de módulos e programas que detêm funções específicas: o pré-processador GAMBIT participa na construção da geometria e geração da malha de cálculo, e inclui a ferramenta TGrid, que possibilita a geração de malhas não-estruturadas e o conversor CAD/CAE, que permite a importação de superfícies e volumes a partir de programas externos; e o modelo TREM, desenvolvido no Departamento de Ambiente e Ordenamento da

Universidade de Aveiro (Amorim, 2003; Tchepel, 2003), que participa na previsão das emissões geradas pelo tráfego automóvel.

O crescente aumento do volume de tráfego, resultante em grande parte da dependência criada pelos cidadãos em relação ao uso de veículos particulares (transporte rodoviário individual), provoca a diminuição das condições de mobilidade e da qualidade de vida urbana, acentuando a frequência de ultrapassagens dos valores-limite legalmente estipulados, nomeadamente de partículas.

Os poluentes atmosféricos imputáveis ao tráfego rodoviário compreendem, para além das partículas, a emissão directa de monóxido e dióxido de carbono (CO e CO_2), óxidos de azoto (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2), compostos orgânicos voláteis (COV), e hidrocarbonetos, assim como os poluentes secundários, decorrentes da transformação química de outros compostos.

Por outro lado, é comummente aceite, que a dispersão dos poluentes influencia directamente os padrões locais de qualidade do ar, revelando ser um processo envolvendo grande complexidade. É primariamente influenciada por: características locais físicas, a denominada "rugosidade urbana", pelas condições meteorológicas, e pela contribuição das fontes de poluição (Bisorca e Ionel, 2002).

O objectivo do presente estudo foi caracterizar, sob o ponto de vista da qualidade do ar, as principais vias de circulação automóvel da cidade de Lisboa, tendo em conta os dados obtidos para os poluentes monitorizados, as condições de tráfego e os aspectos meteorológicos. O estudo contemplou inclusivamente, à luz dos resultados apresentados para as campanhas de monitorização realizadas neste âmbito, a análise e discussão acerca da localização das estações de qualidade do ar urbanas de tráfego da Avenida da Liberdade e Entrecampos.

Estrutura do trabalho desenvolvido

O conhecimento dos locais de implantação de pontos de medição da qualidade do ar, orientados para o ambiente urbano, pode ser obtido por técnicas baseadas na aquisição de dados sob situações meteorológicas determinadas, ou através de modelos de escala local adequados;

O capítulo 2, afecto à atmosfera urbana, apresenta no seu ponto 2.4, o enquadramento dado pelos principais documentos de referência existentes para os critérios de selecção dos locais de medição da qualidade do ar.

O capítulo 3 dedica-se à apresentação e discussão dos resultados das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}), em alguns dos principais eixos de Lisboa, obtidos durante cerca de uma semana,

com recurso a amostradores de baixo volume Derenda® LVS 3.1 Esta campanha permitiu obter informação simultânea de várias vias de tráfego, nomeadamente da Avenida da Liberdade, onde se regista um elevadíssimo número de excedências do valor-limite legalmente estipulado para PM_{10}, e que foi, a par da zona de Entrecampos, considerada para efeitos de um estudo mais abrangente de qualidade do ar nos dois capítulos seguintes.

Assim, os capítulos 4 e 5 descrevem as campanhas de medição de poluentes atmosféricos, realizadas respectivamente em Entrecampos e na Avenida da Liberdade, através de uma unidade móvel de qualidade do ar pertença do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, designada de SNIF AirLAb, tendo os resultados obtidos sido comparados com os das respectivas estações da rede de qualidade do ar.

Para analisar a possibilidade da terem ocorrido episódios naturais nos dias das campanhas, recorreu-se ao modelo ICoD (*Insular Coastal Dynamics*), que permite obter informação acerca do índice de aerossóis, e origem das massas de ar, de acordo com a análise de trajectória das massas de ar até 7 dias antes do dia em questão, sendo esta análise incluída nos 3 capítulos afectos às campanhas.

A realização das campanhas de monitorização referidas permitiram, por um lado, observar o grau de cumprimento dos valores-limite de emissão legalmente estipulados e, por outro, obter resultados de qualidade do ar em pontos de amostragem estrategicamente colocados, no sentido de se averiguar a melhor localização dos mesmos, enquanto estações de tráfego.

No âmbito da presente dissertação, o capítulo 5 inclui ainda a apresentação do modelo numérico FLUENT, a abordagem teórica sucinta das suas características principais, e a simulação do escoamento e dispersão de partículas inaláveis, com origem nas emissões do tráfego automóvel na Avenida da Liberdade.

2. QUALIDADE DO AR URBANO

Actualmente, o mundo depende em larga medida da mobilidade individual, a mesma que promove a comunicação e interacção entre pessoas, culturas e países. A mobilidade trouxe, sem dúvida, um conforto acrescido às populações, mas a poluição atmosférica causada pelas emissões dos automóveis tem impactes negativos no ambiente e na saúde humana.

Assim, o crescente volume de tráfego automóvel em circulação, especialmente nos grandes centros urbanos, resultante em grande parte da dependência criada pelos cidadãos em relação ao uso de veículos particulares, tem provocado um consumo excessivo e ineficiente de energia, bem como a diminuição das condições de mobilidade e da qualidade de vida urbana.

Grande parte dos problemas de ambiente urbano teve origem no crescimento desenfreado das periferias das cidades que cresceram sem vida, nem organizativa nem cultural, isolando os seus habitantes em monótonas zonas residenciais ou criando enclaves funcionais sem ligação entre si, obrigando a penosos movimentos pendulares casa – trabalho, colocando pressões insustentáveis sobre a rede viária e o estacionamento no centro da cidade.

Na Europa, 80% de toda a mobilidade é efectuada com recurso ao automóvel e 50% das viagens efectuadas com veículo particular são inferiores a seis quilómetros (Comissão Europeia, 2000), facto que tem fortes implicações nos problemas ambientais das cidades.

Apesar da indústria automóvel ter vindo a melhorar a eficiência de consumo dos veículos, introduzindo igualmente padrões mais exigentes ao nível das emissões atmosféricas, tal situação acaba por se diluir no consistente e inevitável crescimento do parque automóvel. A expansão das áreas urbanas e o aumento do nível de vida e do poder de compra dos cidadãos induziram uma utilização recorrente do transporte individual, em detrimento dos transportes públicos, com as consequentes implicações a nível do chamado «trinómio "transporte-energia-ambiente"» (Figueira, 1998).

Citando Domingos (1990), "em termos tecnológicos, aproximamo-nos dos limites possíveis para a redução das emissões unitárias pelos veículos automóveis, por mera consequência da não revogável segunda lei da Termodinâmica", segundo a qual nas transformações naturais, as conversões energéticas são tais que a energia total permanece constante, de acordo com o princípio da conservação de energia. Por este motivo, o produto da emissão unitária pelo número de unidades não deixará de aumentar.

Num raciocínio elementar de ordem de grandeza, considerando a área urbana um círculo, é possível verificar que a relação área/perímetro cresce proporcionalmente ao raio, pelo que a mera lei da conservação da massa impõe um limite ao fluxo possível de produtos para a cidade e para o seu exterior. Por sua vez, a remoção dos poluentes gasosos e sólidos em suspensão, feita pelo movimento geral da atmosfera, é limitada pelas leis fundamentais da transferência de matéria em regime convectivo, limite este determinado primariamente pelos movimentos de larga escala a nível atmosférico e seguidamente pelos movimentos de menor escala no interior da cidade. O adequado planeamento urbanístico pode reduzir substancialmente a concentração máxima local dos poluentes, promovendo a sua diluição por mistura e aumentando a sua regeneração local, nomeadamente através do recurso a espaços verdes.

2.1. Atmosfera urbana

O ar é um recurso global que constitui a atmosfera, camada gasosa que envolve a Terra e onde ocorrem todas as manifestações climáticas. É também, um dos suportes básicos da vida, para o que é essencial manter o equilíbrio funcional da atmosfera tanto a nível global, nomeadamente no que se refere às funções climáticas, como ao nível local, no que se refere à composição do ar das camadas inferiores da atmosfera e, por consequência, às características de qualidade, maioritariamente alteradas pela emissão de poluentes (MARN, 1995).

Em ambiente urbano, especialmente em áreas onde a população e tráfego se acumulam, a exposição humana aos poluentes atmosféricos vem significativamente aumentada, sobretudo junto dos principais eixos de tráfego, onde a topografia urbana e o microclima contribuem para a fraca dispersão dos poluentes, e criam locais específicos de acumulação denominados de *hotspots*. Os níveis elevados de poluição atmosférica têm sido igualmente observados em *street canyons*, termo utilizado para descrever avenidas ladeadas por edifícios, onde é comum verificarem-se excedências recorrentes dos padrões de qualidade do ar (Vardoulakis et al., 2003).

A atmosfera urbana caracteriza-se normalmente por uma elevada complexidade devido ao nível da configuração, altura e disposição dos edifícios e das ruas, ou da topografia natural; os fenómenos meteorológicos não ocorrem aqui, da mesma forma que são concebidos em áreas com outro tipo de ocupação do solo.

Estabilidade e circulação atmosférica

Para além dos fenómenos associados ao comportamento da atmosfera em movimento, outros existem associados às camadas de ar mais próximas do solo. A proximidade da superfície do solo, induz maior atrito e menor velocidade do vento e, consequentemente, menor dispersão dos poluentes atmosféricos.

Nos locais onde o ar contacta com uma superfície sólida (o solo ou uma parede de um edifício), o movimento turbulento, e portanto a convecção, não são levados exactamente até essa superfície sólida. Uma camada de ar de alguns milímetros de espessura adere com grande persistência a essa superfície, e é aqui que se faz a transição completa entre ar turbulento e a superfície sólida, vigorando nesta camada apenas as leis da física molecular (Seinfeld e Pandis, 1998).

Contudo, nesta fase interessa mais compreender os fenómenos associados à circulação atmosférica, nomeadamente ao processo de dispersão, nos quais participam o vento e a estabilidade atmosférica. O vento interfere no processo de dispersão de duas formas: em primeiro lugar, constitui o campo de transporte dos poluentes; em segundo lugar, em condições de vento espacialmente variável, existe produção mecânica de turbulência, com aumento da eficiência do processo de difusão. Por outro lado, a estabilidade atmosférica envolve o conhecimento do gradiente vertical de temperatura e do perfil vertical do vento, considerando a produção de turbulência de origem térmica e mecânica.

A influência da estabilidade na dispersão dos poluentes é de extrema importância, sobretudo em locais de maior acumulação de poluentes urbanos. Ela pode ser definida como sendo a sua capacidade de resistir ou intensificar os movimentos verticais. Quando ela resiste aos movimentos verticais é chamada de atmosfera estável, quando intensifica os movimentos verticais é dita atmosfera instável ou convectiva, e quando é indiferente a qualquer tipo de movimento vertical é chamada de atmosfera neutra (Seinfeld e Pandis, 1998).

Este transporte vertical de massas de ar é provocado por movimentos convectivos organizados, gerados pelo aquecimento solar da superfície. A camada da baixa atmosfera que apresenta uma acentuada mistura vertical turbulenta é denominada de Camada Limite Convectiva (CLC). O seu limite superior é determinado pela altura da base de inversão térmica (Fedorovich, 2004).

A turbulência e dispersão numa camada limite convectiva são tipicamente controladas quer pela altura da CLC, quer pela escala de velocidade convectiva. Contrariamente à turbulência de origem convectiva, a intensidade de turbulência gerada mecanicamente não apresenta gradientes verticais

significativos. No entanto, a escala de tempo da turbulência mecânica é menor do que no caso convectivo, e também varia com a altura (Seinfeld e Pandis, 1998).

O estado de equilíbrio da atmosfera (baixa troposfera) pode ser descrito com base na classificação de Pasquill-Gifford Turner da estabilidade atmosférica, tipologia que abrange seis classes, que vão da muito instável a muito estável, sendo esta última a de menor dispersão local.

Estas classes provaram ser muito úteis nos cálculos de difusão atmosférica, procedendo-se à sua determinação, segundo Turner (1969), através dos valores de radiação de entrada segundo as categorias, de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Categorias de valores de radiação de entrada, segundo Turner (1969).

Insolação (I)	I < 350 Wm^{-2}	350 < I < 700 Wm^{-2}	> 700 Wm^{-2}
Forte			
Moderada			
Fraca			

As classes de estabilidade nos períodos diurnos são determinadas igualmente pelos valores de velocidade do vento; nos nocturnos, através dos valores de intensidade do vento e da cobertura nebulosa. Como é possível verificar na Tabela 2, a nebulosidade é expressa em oitavos (0 quando o céu está limpo e 8 quando está totalmente coberto), e trata-se de um parâmetro complementar da insolução, a quantidade de energia solar que alcança a superfície do solo.

Tabela 2 – Condições meteorológicas definindo os tipos de turbulência de Pasquill
(A: atmosfera extremamente instável; B: atmosfera moderadamente instável; C: atmosfera ligeiramente instável; D: atmosfera neutra ou indiferente; E: atmosfera ligeiramente estável; F: atmosfera moderadamente estável).

Velocidade do vento à superfície (m/s)	Insolação diurna			Insolação nocturna	
	Forte	Moderada	Fraca	Céu nublado (≥4/8)	Céu limpo (≤3/8)
<2	*A*	*A-B*	*B*	*E*	*F*
2 a 3	*A-B*	*B*	*C*	*E*	*F*
3 a 5	*B*	*B-C*	*C*	*D*	*E*
5 a 6	*C*	*C-D*	*D*	*D*	*D*
>6	*C*	*D*	*D*	*D*	*D*

(Adaptado de Turner, 1969)

Por outro lado, de uma forma geral, é comum ocorrer a diminuição da estabilidade de uma massa de ar quando esta se desloca e percorre uma área urbana, sendo que o inverso também se verifica. A rugosidade do terreno condiciona o comportamento aerodinâmico da camada limite em deslocamento, considerando-se que o perfil vertical do vento, varia de um valor nulo, junto da superfície, até igualar a velocidade do vento geostrófico (Hunt et al., 2004).

Considerando-se apenas a camada limite neutra, sem a contribuição das forças de flutuação na manutenção ou supressão da energia cinética turbulenta, a variação da velocidade com a altura da camada limite atmosférica pode ser descrita matematicamente através da lei logarítmica:

$$\overline{U}(z) = \frac{u_*}{k} . \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$ (Equação 1),

onde *k* é a constante de Von Karman, u_* é a velocidade tangencial que adquire o valor de 0,4, z é a altura e z_0 a rugosidade do terreno, a qual depende da resistência oferecida pelas estruturas existentes localmente.

Por outro lado, considerando-se agora condições de estabilidade não-neutra, a velocidade média do vento para uma determinada altura (z), toma os valores decorrentes da aplicação da equação do perfil do vento do tipo potência:

$$\frac{\overline{u}(z)}{\overline{u_r}} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^p$$ (Equação 2),

sendo $\overline{u_r}$ a velocidade média do vento para uma altura de referência z_r , e o parâmetro *p* dependente do tipo de superfície e estabilidade atmosférica.

Refira-se que estes conceitos foram aplicados para o tratamento da informação meteorológica requerida no modelo de que se dá conta no ponto 5.5 da presente dissertação, de onde a rugosidade do terreno, traduzida pela existência e dimensão dos edifícios, comparada com um terreno sem obstáculos físicos, resulta em diferenças de concentração dos poluentes de mais do que uma ordem de grandeza (Schatzmann e Leitl, 2002).

2.2. O veículo automóvel como fonte urbana de poluição atmosférica

A organização do tráfego urbano e a política de transportes são determinantes da qualidade do ar nas grandes cidades. Verificou-se, durante a década de 90, um crescimento do sector dos transportes, devido essencialmente às componentes rodoviária e aérea, ao passo que se manteve a tendência de estagnação ou decréscimo de outros modos de transporte, como o ferroviário, os autocarros ou as vias navegáveis interiores (MCOT, 2003).

O acréscimo do número de veículos particulares em circulação, as tendências nos preços dos transportes e um deficiente ordenamento do território (que como já se disse conduz à expansão urbana) são alguns dos factores determinantes do crescimento do transporte de passageiros.

A tendência para a utilização de veículos automóveis mantém-se, com taxas de crescimento rápido entrando em Lisboa mais de 400 mil veículos diariamente, a que acrescem os cerca de 815 autocarros da Carris a circular na cidade e os 108 481 movimentos no aeroporto de Lisboa, entre aterragens e descolagens (Dados de 2001, http://lisboa.do.sapo.pt). Por outro lado, segundo uma estimativa da Associação do Comércio Automóvel de Portugal (MCOT, 2002), verificou-se a quase duplicação do número de veículos ligeiros em circulação, entre 1992 e 2001, o que contribuiu em larga medida para que o sector dos transportes se tornasse numa das principais fontes de problemas ambientais (EEA, 2001).

Por outro lado, as duas últimas décadas têm sido igualmente pródigas em avanços tecnológicos (exemplo disso, a introdução dos catalisadores), e trouxeram consigo a introdução de normas mais rigorosas em matéria de emissões; as melhorias na qualidade dos combustíveis conduziram por exemplo a uma redução significativa das emissões de Óxidos de Azoto (NO_x) provenientes de veículos de passageiros e de mercadorias (EEA, 2001).

As emissões provenientes do tráfego rodoviário são originárias do processo de combustão, com a consequente libertação pelo tubo de escape, e da própria evaporação do combustível, podendo ser divididas em emissões com o motor quente (emissões produzidas pelos veículos depois de terem aquecido até à temperatura normal de operação), libertando-se pelo tubo de escape; emissões de arranque a frio (emissões produzidas pelos veículos enquanto aquecem, libertando-se pelo tubo de escape, em cujo período os catalisadores apresentam uma eficiência muito baixa); e emissões por evaporação (emissões resultantes da evaporação do combustível) (Osses e Urrutia, 2002).

O aumento de tráfego, e o consequente congestionamento de vias, provocam o aumento do tempo médio das deslocações e, por conseguinte, o aumento de poluição resultante da maior concentração de gases e partículas emitidos a baixas velocidades de circulação, nomeadamente o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x) e partículas. A emissão de CO resulta de processos de combustão incompleta, que produz igualmente uma mistura de dióxido de azoto (NO_2) e monóxido de carbono (NO), da qual 90% é de NO (Vardoulakis et al., 2003; Berkowicz, 2000).

A título de exemplo, a média das contribuições das emissões de origem automóvel para a concentração de CO e NO numa avenida em Guangzhou (China) foi de cerca de 87 e 67%, respectivamente (Qin e Chan, 1993).

Poluentes atmosféricos gasosos

Tendo em conta as curtas distâncias que medeiam os analisadores das vias de tráfego e consequentemente das principais fontes de emissão, as concentrações medidas dependem sobretudo das reacções químicas mais rápidas (Berkowicz, 2000). Por este motivo, as substâncias mais relacionadas com a existência de tráfego automóvel podem ser consideradas praticamente inertes (por exemplo o CO) àquelas distâncias. O mesmo não pode ser aplicado ao NO_2, o qual se dissocia rapidamente na presença de luz, ou no caso do NO, o qual reage da mesma forma na presença de O_3. Assim, é previsível, segundo esta análise, que as espécies mais estáveis emitidas pelos veículos possam permanecer sem variações espaciais muito significativas (CO) em pontos de medição orientados para o tráfego urbano (Vardoulakis et al., 2003).

O NO_2 é um gás vermelho acastanhado, não inflamável, com cheiro facilmente detectável e muito corrosivo. No ar reage com agentes oxidantes, sobretudo o radical OH, para formar ácido nítrico (HNO_3), contribuindo assim para a acidez atmosférica.

Trata-se de um poluente atmosférico primário, uma vez que provém directamente de algumas fontes, e secundário, já que a maior parte se forma na atmosfera através da reacção de oxidação do NO pelo ozono (O_3) ou pelo O_2 do ar. A oxidação do NO pelo oxigénio é uma reacção lenta, ao contrário do que acontece com a oxidação do NO pelo O_3, que é uma reacção rápida, cuja taxa de transformação depende das suas concentrações na atmosfera.

Por seu turno, o CO é um gás incolor e inodoro, e é o poluente atmosférico mais abundante na camada inferior da atmosfera, sobretudo em meios urbanos, sendo considerado um indicador de poluição decorrente do tráfego automóvel. As concentrações deste poluente na atmosfera urbana

estão fortemente dependentes das condições meteorológicas locais e da intensidade do tráfego automóvel, variando bastante ao longo do dia.

Partículas em suspensão

As partículas em suspensão na atmosfera constituem um conjunto vasto e heterogéneo de substâncias de composição, densidade, forma e dimensão muito diversas, dependente do seu modo de formação, sendo comummente aceite ser o tráfego rodoviário o principal contributo para os teores de partículas verificados, em meio urbano.

As concentrações de partículas na atmosfera são afectadas por diversos factores, incluindo fontes locais de partículas, o transporte a longa distância, condições meteorológicas e topográficas, a proximidade de montanhas e oceanos. Sobre os oceanos as concentrações típicas de partículas no ar variam entre 800 e 5000 cm^{-3}, enquanto nas grandes cidades podem ir de 50.000 a 380.000 cm^{-3}, referindo-se estas a partículas totais em suspensão, as que permanecem no ar devido à turbulência (Gomes, 2001).

As partículas podem classificar-se em primárias ou secundárias, dependendo do modo como se formam. As partículas primárias são introduzidas directamente na atmosfera enquanto as secundárias se formam na atmosfera por reacções químicas envolvendo gases precursosres

O comportamento de uma partícula na atmosfera é determinado pelo seu tamanho e densidade. As mais pesadas e de maiores dimensões não permanecem durante muito tempo na atmosfera, depositando-se na proximidade das fontes emissoras. As mais leves e de menores dimensões têm um tempo de residência na atmosfera relativamente longo, podendo ser transportadas a grandes distâncias do local onde são emitidas. As partículas existentes o solo podem ainda, por acção do vento, sofrer ressuspensão até se depositarem novamente.

Em zonas urbanas os transportes rodoviários são considerados, como já aqui referido, a maior fonte emissora de partículas, pelo que se observam as maiores concentrações na proximidade de vias de tráfego intenso. Tal resulta das contribuições não só das emissões directas do escape dos veículos mas também do desgaste dos pneus e dos travões e da ressuspensão das poeiras das estradas. Em geral, os veículos a gasóleo emitem uma quantidade maior de partículas por veículo, do que os veículos a gasolina, sendo que esse diferença se acentua com velocidades de circulação superiores (Hall, 1998).

Controlo de poluição rodoviária

Com o objectivo de reduzir as emissões provenientes dos transportes rodoviários, a Comissão Europeia decidiu dar início a um programa de trabalhos para providenciar a base analítica na fixação das normas obrigatórias de emissão dos veículos e da qualidade dos combustíveis, com efeitos a partir de 2000. O programa ficaria conhecido como Auto/Oil, tendo o primeiro sido lançado em 1992, e envolveu indústrias automóvel e de refinaria europeias, de forma a avaliar objectivamente os meios mais económicos para redução das emissões provenientes do sector dos transportes rodoviários, assegurando o cumprimento dos princípios-chave (eficiência de custos, fundamentação científica sólida e transparência). Neste âmbito foram adoptadas as Directivas n.º 98/69/CE, relativa às medidas a tomar contra a poluição do ar pelas emissões provenientes dos veículos a motor, e a Directiva n.º 98/70/CE, relativa à Qualidade da gasolina e do combustível para motores Diesel. Esta última foi objecto de alteração por parte da Directiva 2003/70/CE, de 3 de Março de 2003, mencionada à frente.

O segundo programa Auto/Oil surgiu em 1997, no sentido de criar um quadro consistente para a avaliação de diferentes opções políticas para redução de emissões, tendo envolvido maior número de intervenientes e de medidas para redução de emissões dos veículos automóveis, e estabelecer novos parâmetros de qualidade para os combustíveis a partir de 2005.

O programa Auto/Oil, estabeleceu um conjunto de medidas para reduzir a poluição provocada pelos transportes rodoviários, nomeadamente a não comercialização de gasolina com chumbo, a partir de 1 de Janeiro de 2005, e a disponibilização de combustível (quer a gasolina como o gasóleo) praticamente sem enxofre (50ppm em 2005, e 10ppm em 2009). Este tipo de combustível permite a utilização de tecnologias catalíticas sofisticadas e a redução das emissões de partículas; a Directiva 2003/70/CE, de 3 de Março refere o efeito adverso da presença de enxofre na gasolina e no combustível para motores de ignição por compressão sobre o rendimento das tecnologias de pós-tratamento catalítico dos gases de escape, das quais os veículos rodoviários dependem, para cumprirem os limites de emissão previstos na legislação.

Acresce que no caso dos veículos destinados ao transporte de pessoas, o Decreto-Lei n.º 202/2000, de 1 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna, a Directiva 98/69/CE, de 13 de Outubro de 1998, e a Directiva n.º 99/77/CE, de 2 de Outubro de 1998, prevê a necessidade de instalar sistemas de diagnóstico a bordo (OBD: *On Board Diagnostic*), a fim de permitir a detecção da origem provável das anomalias dos sistemas antipoluição. A duração do funcionamento eficaz

dos equipamentos antipoluição deverá ser o equivalente a cinco anos, ou pelo menos 100.000 kms, a partir de 2005.

O DL supracitado prevê ainda a realização de ensaios que limitem durante todo o período de vida normal do veículo as emissões pelo tubo de escape e por evaporação: os veículos com motor de ignição comandada deverão ser submetidos a ensaios que permitam o controlo da média das emissões pelo tubo de escape após o arranque a frio (Tipo I), de CO em regime de marcha lenta sem carga (Tipo II), de gases do cárter (Tipo III), por evaporação (Tipo IV), da durabilidade dos dispositivos antipoluição (Tipo V), ensaio a baixa temperatura ambiente da média das emissões de CO/hidrocarbonetos pelo tubo de escape, após o arranque a frio (Tipo VI) e por fim, o ensaio do OBD. Os veículos com motor de ignição por compressão deverão ser submetidos aos ensaios do tipo I, V e, caso seja aplicável, o ensaio do OBD.

Refira-se que as medidas e tecnologias entretanto implementadas, bem como as normas EURO comunitárias relativas às emissões dos veículos rodoviários, estão na base de uma redução acentuada das emissões poluentes, entre 24 e 35 %, entre 1990 e 2001, na zona europeia (não contando com a aviação internacional e a navegação marítima), apesar do aumento registado de tráfego automóvel. Todavia, existem ainda graves problemas ligados à qualidade do ar nas zonas urbanas (EEA, 2004).

2.3. Legislação aplicável

A publicação da Directiva 1996/96/CE, de 27 de Setembro, transposta para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, relativa à qualidade do ar ambiente e designada por Directiva-Quadro, veio definir os princípios básicos de uma estratégia da União Europeia relativa à qualidade do ar ambiente, tendo como objectivo a harmonização dos procedimentos de avaliação e de informação ao público, bem como a preservação (ou melhoria) da qualidade do ar ambiente.

As questões introduzidas por aquele quadro legal, prendem-se com a melhoria da qualidade do ar, com o estabelecimento de objectivos de qualidade de longo prazo, bem como de métodos e critérios comuns, a nível comunitário, para avaliação da qualidade do ar (Mensink et al., 2003).

A Directiva prevê a criação de unidades funcionais de gestão da qualidade do ar, denominadas Zonas, que se definem “áreas geográficas de características homogéneas, em termos de qualidade

do ar, ocupação do solo e densidade populacional". Este conceito subdivide-se em duas categorias, as "aglomerações" e as "zonas", consoante as suas características.

Como consequência da publicação da Directiva-Quadro, foram enumerados um conjunto de poluentes prioritários alvo de regulamentação específica, através dos correspondentes diplomas legais (Directivas "filhas"), nomeadamente de dióxido de enxofre, dióxido de azoto, partículas em suspensão (PM_{10}), através da Directiva 1999/30/CE, com particular ênfase na gestão da qualidade do ar em áreas urbanas (Carlslaw e Beevers, 2004); e para o monóxido de carbono, através da Directiva 2000/69/CE, ambas transpostas para o ordenamento jurídico interno pelo Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril.

A Directiva-Quadro não estabelece valores normativos para qualquer poluente. São as "Directivas-Filhas" que vêm regulamentar cada poluente específico e que têm por objectivo concretizar os princípios e disposições da Directiva-Quadro.

As Directivas "filhas" definem objectivos de longo prazo, ou seja valores limite (VL) que entraram em vigor em 2005 (no caso, as PM_{10} e NO_2) e entrarão em vigor em 2010 (NO_2). Associado aos objectivos de longo prazo foi introduzido o conceito de Margem de Tolerância (MT), que corresponde a uma percentagem que acresce ao VL, anualmente reduzida até ser alcançado o valor numérico do VL.

Apresenta-se de seguida um resumo dos valores limite, limiares e valores guia para o CO, NO_2, e partículas, que decorrem dos diversos diplomas publicados acima referidos.

Tabela 3 – Valores normativos para o CO.

Monóxido de Carbono	
Protecção da Saúde Humana – Decreto-Lei 111/2002, de 16 Abril (Directiva 2000/69/CE)	
Data de Aplicação	Média máxima diária de 8 horas *
	Valor limite (mg/m^3)
01.Jan.2005	10

*Valor médio calculado a cada hora (h), numa base octo-horária

Tabela 4 – Valores normativos para o NO_2.

Dióxido de Azoto							
Protecção da Saúde Humana – Decreto-Lei 111/2002, de 16 Abril (Directiva 1999/30/CE)							
Data de Aplicação	1 Hora				Ano Civil		
	Valor limite (VL)	Margem de Tolerância (MT)	VL+MT	N.º Excedências permitidas	Valor limite	Margem de Tolerância	VL+MT
	($\mu g/m^3$)	(%)	($\mu g/m^3$)		($\mu g/m^3$)	(%)	($\mu g/m^3$)
01.Jan.2000		50	300	18		50	60
01.Jan.2001		45	290	18		45	58
01.Jan.2010	200	0	200	18	40	0	40
	Limiar de Alerta ($\mu g/m^3$) 400 (3h consecutivas)						

Tabela 5 – Valores normativos para as PM_{10}.

Partículas em Suspensão PM_{10}							
Protecção da Saúde Humana – Decreto-Lei 111/2002, de 16 Abril (Directiva 1999/30/CE)							
Data de Aplicação	24 horas				Ano Civil		
	Valor limite	Margem de Tolerância	VL+MT	N.º Excedências permitidas	Valor limite	Margem de Tolerância	VL+MT
	($\mu g/m^3$)	(%)	($\mu g/m^3$)		VL($\mu g/m^3$)	(%)	($\mu g/m^3$)
01.Jan.2000		50	75	35		20	48
01.Jan.2001		40	70	35		16	46
01.Jan.2005	50	0	50	35	40	0	40

O DL n.º 111/2002, de 16 de Abril estabelece o método gravimétrico (na sua Secção IV do Anexo XI), como o método de referência para a amostragem e medição de PM_{10} sendo o princípio de medição baseado na recolha de um filtro da fracção de PM_{10} de partículas em suspensão. Porém, define a possibilidade da utilização de outro método, desde que possa ser demonstrada a equivalência ou relação sistemática dos resultados em relação ao método de referência.

Nesse sentido, o Instituto do Ambiente, em colaboração com as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) de Lisboa e Vale do Tejo e do Norte realizou em 2001, ensaios de intercomparação para analisadores da marca Environnement, S.A., com o intuito de determinar os factores de correcção a aplicar a analisadores de PM_{10} que utilizam o método automático por radiação β, tendo sido determinado um factor de correcção de 1,18, para as estações urbanas de tráfego.

2.4. Critérios para a localização e representatividade das estações de qualidade do ar

As estações de qualidade do ar (EQA) obedecem a critérios de selecção da sua localização definidos por aspectos legislativos específicos, ou por documentos de referência europeus, sendo que inúmeros estudos igualmente os mencionam, segundo as suas próprias orientações.

Deste modo, poder-se-ão colocar as seguintes questões: O que é expectável que as EQA disponibilizem? Vão as EQA ao encontro dos princípios para os quais são projectadas? (Demerjian, 2000).

Os documentos referenciados para o efeito, apontam para um ponto comum relativo à metodologia para a selecção da localização de EQA, que deve passar pelo recurso a modelos de dispersão adequados ou por recurso a base de dados de resultados de qualidade do ar existentes.

Em todos os estudos é igualmente salientada a importância de uma correcta e adequada localização dos postos de monitorização. Esta ideia é reforçada pelos constrangimentos práticos existentes para a colocação das estações de qualidade do ar nas cidades, e pela disparidade das concentrações dos poluentes lá verificadas, que podem variar numa ordem de razão de cinco entre um local situado num *street-canyon* ou numa zona urbana de fundo (Vardoulakis et al., 2003).

A ADEME (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie*), através do seu documento intitulado de *Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air* , onde se basearam os critérios para a classificação das estações de qualidade do ar francesas,

atribui para as estações de tráfego o objectivo de fornecer dados de concentrações representativas dos níveis máximos de exposição a que estão sujeitas as pessoas que coabitam essas zonas, para os poluentes tipicamente resultantes das emissões directas dos automóveis.

Relativamente à localização propriamente dita, a estação deve estar sob a influência directa do tráfego automóvel, sem quaisquer obstáculos físicos (por exemplo, cercas ou paredes) que disturbem as medições dos poluentes lá efectuadas, devendo ser localizada: num dos lados de uma estrada com tráfego intenso (mais do que dez mil veículos por dia), ou numa estrada com a forma de *canyon*, com risco potencial de acumulação de poluição.

O ponto de amostragem deve estar horizontalmente situado a pelo menos 5 metros do centro da primeira faixa de rodagem ou de estacionamento, sendo este aspecto mais relevante no que concerne aos óxidos de azoto, e verticalmente a cerca de 1,5 a 3 metros do solo (ADEME, 2002).

Baldauf et al. (2002), refere que a metodologia para a selecção da localização de EQA deve ser baseada na análise da área em estudo em escala de 100 a 500 metros, através da quantificação das variações das concentrações existentes na região, mencionando que a mesma é menos onerosa e menos dispendiosa em termos de tempo do que planear e levar a cabo estudos de campo.

O princípio de monitorização proposto pela US National Air Monitoring Stations (NAMS) estabelece para cada poluente, e dependendo da quantidade de população local, o número de EQA que o deverão medir, sendo que para o SO_2 e PM_{10} o número de estações depende igualmente do grau de cumprimento dos NAAQS (termo em inglês para os valores-limite nacionais de qualidade do ar ambiente). Por outro lado, a selecção do local de medição difere de poluente para poluente, a saber: o CO é medido nas principais artérias de tráfego, na "baixa" dos núcleos urbanos, e em áreas suburbanas; o NO_2, em áreas suburbanas associadas a registos de NOx elevados, e as PM_{10}, em áreas urbanas e suburbanas com tráfego importante de veículos a diesel (Demerjian, 2000).

A EuroAirnet, rede de monitorização europeia da qualidade do ar, que está a ser desenvolvida pelos países europeus e coordenada pela EEA (Agência Europeia do Ambiente), tem como objectivo principal melhorar significativamente a extensão espacial e temporal dos relatórios da qualidade do ar na Europa.

Assim, nos seus Relatórios Técnicos n.º 12 (*The EEA Air Quality Monitoring and Information Network*), e n.º 16 (*EUROAIRNET Site Selection*), são definidos critérios designados por EUROAIRNET, os quais pretendem ser a pedra angular de uma efectiva rede de informação sobre

monitorização da qualidade do ar, por forma a facilitar a sua gestão e comunicação dos dados. Tais critérios deverão ser observados na selecção do local de uma estação de qualidade do ar, a par do estipulado na legislação actualmente em vigor, o Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril.

Cingindo-se apenas aos objectivos do presente trabalho, no qual fará sentido caracterizar adequadamente os locais influenciados em larga medida pelo tráfego rodoviário, segundo os critérios da EUROAIRNET, uma estação urbana de tráfego deve ser considerada na medida em que representa razoavelmente bem a estrada/rua numa extensão de cerca de 100 metros em zonas centrais da cidade.

A área de representatividade não é facilmente determinada, requerendo a monitorização de uma série de locais adjacentes à estação ou, por outro lado, a aplicação de modelos de dispersão. O Relatório Técnico n.º 12 menciona a necessidade dos países disponibilizarem alguma informação adicional, no caso das estações de tráfego, nomeadamente os quantitativos de tráfego rodoviário (precisão de ± 2000 veículos por dia), velocidade média diária de circulação rodoviária (± 5 km/h) e distância da berma (± 1metro). Define ainda que os pontos de amostragem devem ser instalados a uma distância mínima de 25 metros da esquina dos principais cruzamentos, e descrita igualmente pelos parâmetros: distância ao eixo da via e volume de tráfego, velocidade média e tipo de veículos.

Por outro lado, o Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, estabelece no seu Anexo VIII, a localização em macroescala (Secção I) e em microescala (Secção II), dos pontos de amostragem para a medição de vários poluentes, nomeadamente para as partículas em suspensão (PM_{10}) no ar ambiente. Assim, na 1ª secção, é referido que um ponto de amostragem deve ter uma localização que o torne representativo da qualidade do ar numa área circundante de pelo menos 200m^2 nos locais dirigidos para o tráfego; na secção II, é definido que a tomada de ar deve, de uma forma geral, estar a uma distância entre 1,5 m e 4 m acima do solo, e se necessário, nalguns casos, instalá-la em posições mais elevadas – até cerca de 8 m);

Aquele diploma legal também prevê que a localização dos dispositivos de amostragem orientados para o tráfego deve distar pelo menos 25 metros da esquina dos principais cruzamentos e estipula ainda que os mesmos devem localizar-se, pelo menos, a 4 metros do centro da faixa de rodagem mais próxima; em relação às partículas em suspensão, as tomadas de ar devem ser instaladas de modo que a amostra seja representativa da qualidade de ar na proximidade da linha de edificação.

Deste modo, sabendo-se que as estações de tráfego são tipicamente estações *hot-spot*, localizadas em áreas com gradientes marcados de concentração de poluentes, segundo aqueles critérios, e as

disposições legais nacionais, considera-se que a área representativa através do seu raio, é no caso português, de 16 metros (correspondentes a uma área de 200m^2), conforme estipula o Decreto-Lei n.º 111/2002.

3. CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE PARTÍCULAS EM LISBOA

As partículas constituem um grupo extenso de poluentes atmosféricos provenientes de múltiplas fontes, nomeadamente do tráfego automóvel, indústria ou de eventos naturais. No âmbito do presente trabalho, realizado sobre zonas de tipologia claramente urbana existentes na cidade de Lisboa, são os transportes rodoviários a maior fonte de poluição (Ferreira et al., 2000), observando-se junto das vias de tráfego mais intenso, as maiores concentrações de partículas. A concentração deste poluente resulta de emissões directas do escape dos veículos, do desgaste dos pneus e dos travões, ou da ressuspensão das poeiras das estradas.

A Área Metropolitana de Lisboa (AML), na qual se centra a cidade de Lisboa, é constituída por 18 concelhos, possui vias de circulação importantes, e níveis de poluição associados ao intenso fluxo de tráfego automóvel; por outro lado, ocorrem condições geográficas e topográficas específicas, nomeadamente a influência do Oceano Atlântico, que induz movimentos de circulação atmosférica, denominados de brisas marítima e terrestre, em resultado das diferenças de temperatura entre as respectivas superfícies, ou ainda a existência de um sistema de colinas, que influencia o transporte e dispersão dos poluentes.

O presente capítulo dedica-se à apresentação e discussão dos resultados das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}), obtidos simultaneamente em alguns dos principais eixos de Lisboa com recurso a amostradores de baixo volume Derenda® LVS 3.1, cuja abordagem teórica se faz a seguir.

Não obstante o número limitado de observações reunidas no âmbito do presente trabalho, devido a restrições à utilização de amostradores por um período superior a uma semana, foi possível reunir um conjunto de informação inédita sobre níveis de partículas na proximidade de vias de circulação intensa na cidade de Lisboa.

As conclusões retiradas deste levantamento resultaram da comparação entre os vários pontos de amostragem e da análise de parâmetros meteorológicos, nomeadamente a intensidade e a direcção do vento, medidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa.

Neste âmbito, também se incluiu a aplicação do modelo ICoD (Insular Coastal Dynamics), desenvolvido pela Universidade de Malta, que permite obter informação acerca do índice de aerossóis, de acordo com a análise de trajectória das massas de ar até 7 dias antes do dia em questão, no sentido de se avaliar a ressuspensão de partículas a partir dos desertos, nomeadamente do Sahara e Sahel.

3.1. Metodologia

As concentrações de PM_{10}, existentes em 5 das principais vias de tráfego existentes na cidade de Lisboa, foram medidas entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004, no âmbito de uma campanha de qualidade do ar, através de amostradores de baixo volume (*Low Volume Air Sampler* - LVS), designados LVS-3.1 da marca Derenda (Figura 1).

Um estudo efectuado por Salminen e Karlsson (2003) refere a boa resposta dada para as concentrações obtidas entre este tipo de amostrador e um analisador por interferência de radiação beta, mesmo tendo sido testado em zonas de fundo, com reduzida concentração de poluente.

O seu modo de funcionamento assenta na amostragem de PM_{10} sobre um filtro de quartzo Schleicher & Schuell®, circular com 47 mm de diâmetro, a um caudal de 2,3 m^3/h, realizando-se posteriormente a determinação da massa de partículas pelo método gravimétrico, o método de referência de acordo com o Decreto-Lei n.º 111/2002 (Anexo XI - Secção IV) e a Norma EN12341:1999. Refira-se que todos os caudais dos amostradores utilizados foram calibrados, recorrendo a um calibrador primário, no início de cada campanha de amostragem.

Os LVS 3.1 são alimentados a corrente eléctrica de aproximadamente 240V, possuem 30 cm de largura, 40 de altura e 25 de profundidade, pesam cerca de 19 Kg e apresentam um nível de ruído inferior a 35 dBA.

Figura 1: Amostrador de partículas em suspensão Derenda® LVS 3.1.

Os filtros foram devidamente estabilizados em exsicador durante 48 horas antes e depois da amostragem, no laboratório da CCDR LVT (Av. Almirante Gago Coutinho - Lisboa), o qual não possuía quaisquer controladores de temperatura e humidade relativa, e pesados antes e depois das amostragens (com cerca de 10 minutos de estabilização) através de uma balança METTLER® AE240 (Erro = ± 0,01mg), calibrada a 16/12/2003.

A Figura 2 apresenta o esquema de funcionamento do amostrador, bem como a identificação das suas partes constituintes. O amostrador possui uma unidade interna denominada de "controlador", que processa os dados relativos ao volume amostrado já corrigidos para uma pressão e temperatura de referência, pelo que os mesmos são apresentados directamente junto à cabeça de amostragem.

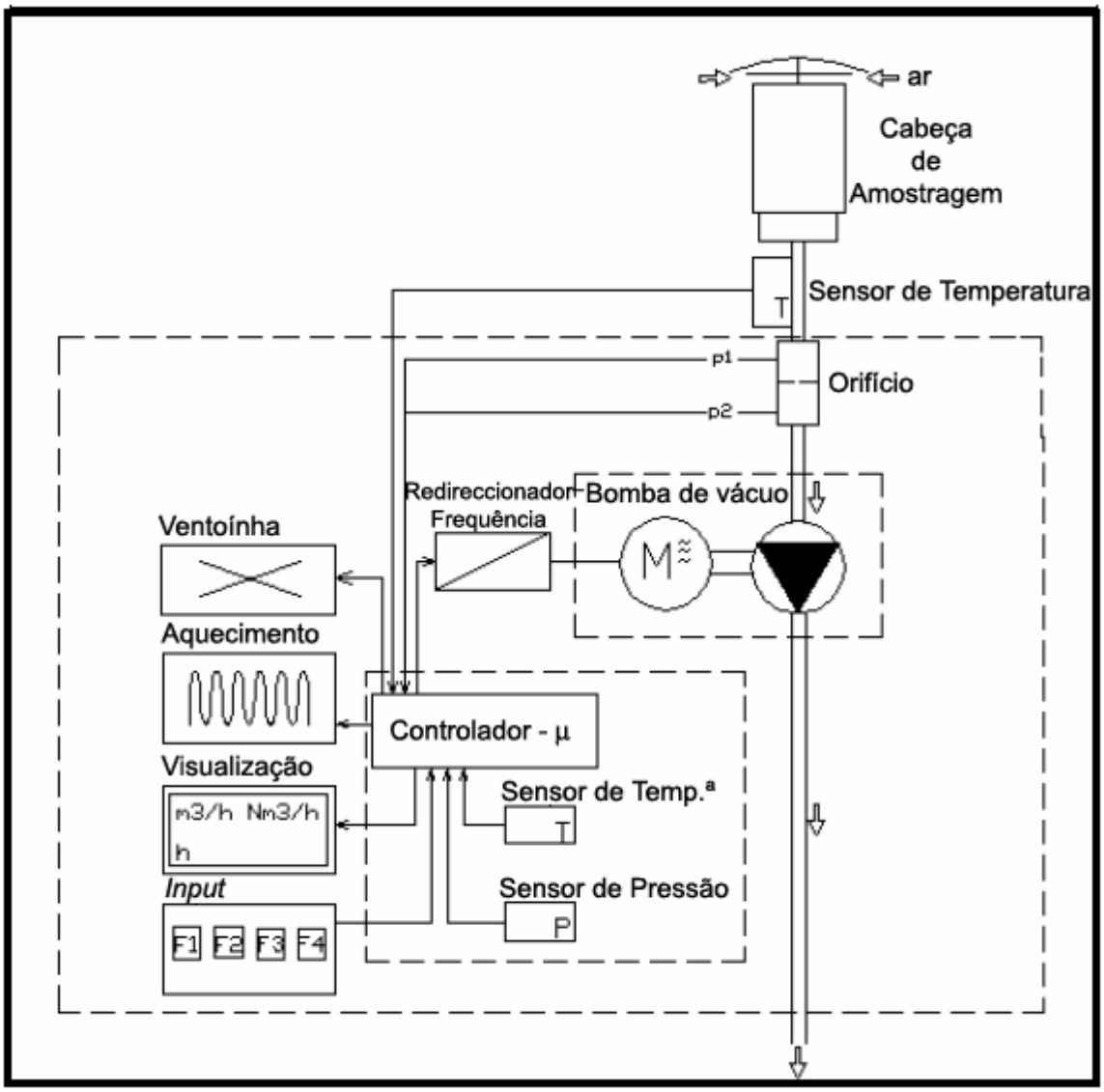


Figura 2: Esquema de funcionamento e identificação dos elementos constituintes do amostrador utilizado.

Foi requerida a presença diária de um técnico no sentido de colocar no LVS um filtro novo, recolher o usado, sobre o qual se depositaram as PM_{10}, e proceder ao seu transporte para o laboratório onde se realizaram as pesagens. Os períodos de medição corresponderam aproximadamente a intervalos de 24 horas, com início na manhã do próprio dia (cerca das 8/9 da manhã), e fim no dia seguinte à mesma hora.

Ainda no que respeita às amostragens, foram colocados para medição simultânea 11 LVS em ambos os lados das cinco vias de tráfego descritas à frente, bem como 1 LVS no topo da estação de qualidade do ar da Avenida da Liberdade.

3.2. Selecção e caracterização dos locais de medição

A selecção dos locais de medição procurou representar as principais vias de tráfego existentes em Lisboa, em termos da existência de congestionamentos frequentes e de um grande fluxo de veículos; não obedeceu a critérios pré-estabelecidos mas essencialmente ao grau de importância dessas vias de circulação rodoviária, quer no acesso aos locais mais centrais da cidade (Avenida da Liberdade e Saldanha), quer na entrada e saída da capital (Eixo Norte-Sul, Segunda Circular e Avenida Marechal Gomes da Costa).

Discriminam-se a seguir as vias de tráfego em estudo, bem como a localização exacta dos pontos de amostragem (Tabela 6).

Tabela 6 – Pontos de amostragem com LVS

	Via	Ponto de Amostragem	Designação	Coordenadas	
1	Eixo Norte-Sul	Ordem Hospitaleira S. João de Deus	O.Hosp.	N38º45'05.7"	W009º10'08.0"
2		Centro Ismali	Ismali	N38º45'03.2"	W009º10'10.1"
3	2ª Circular	Santa Casa da Misericórdia	CML	N38º45'25.4"	W009º09'58.5"
4		Posto de Limpeza da CML	Sta.Casa	N38º45'27.4"	W009º09'57.3"
5	Av. Marechal Gomes da Costa	Air Liquide	Airliquide	N38º45'24.3"	W 9º 6' 20.3"
6		Metalurgia Luso – Italiana	LusoItaliana	N38º 45' 23.9"	W 9º 6' 22.6"
7	Saldanha	Arquitecto Cabida	Arq.	N38º44'04.4"	W009º08'43.4"
8		Segurança Social	S.Social	N38º44'04.7"	W009º08'41.2"
9	Av. da Liberdade	Escritório dos Advogados	Adv	N38º43'20.5"	W009º08'50.4"
10		Biblioteca do Ministério das Obras Públicas	MOP	N38º43'17.5"	W009º08'50.5"
11	Av. da Liberdade	Estação de Qualidade do Ar da Av. da Liberdade	EQA	N038°43'16.0"	W009°08'46.0"

Figura 3 – Localização dos pontos de amostragem com LVS.

3.3. Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos relativos ao período durante o qual decorreu a campanha de monitorização de PM_{10} através dos amostradores LVS-3.1, foram recolhidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa, e disponibilizados no quadro de um protocolo entre o Departamento de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e o Instituto de Meteorologia, incluindo a informação sobre velocidade e direcção do vento, temperatura do ar e precipitação, entre os dias 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004, para os quais se apresentam resultados.

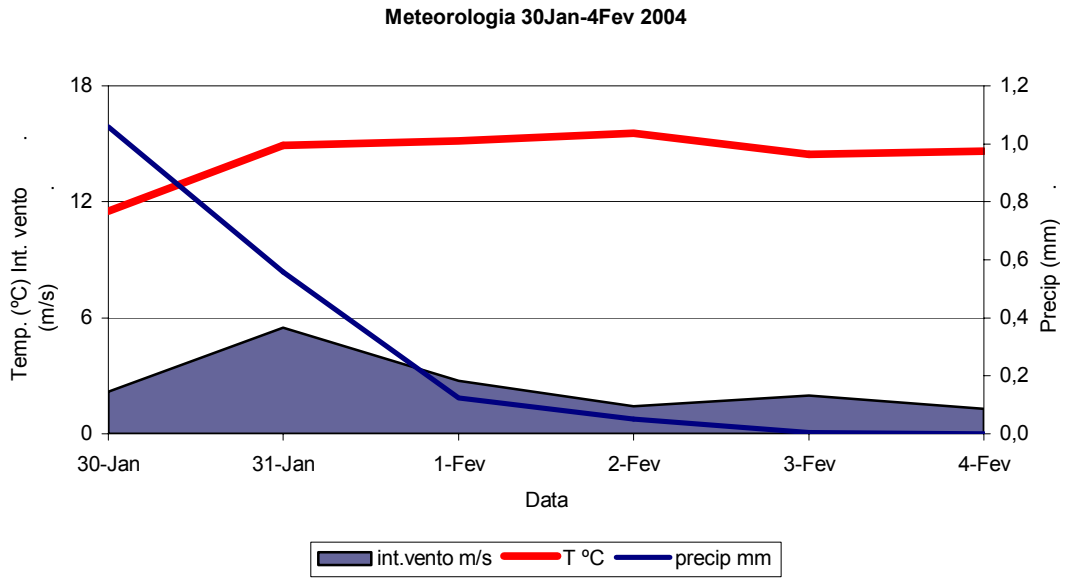


Figura 4 – Evolução temporal dos valores médios diários de intensidade do vento (m/s), de quantidade de precipitação (mm) e de temperatura (ºC), entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004, medidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa.

Os dados apresentados reflectem a existência de dias com precipitação, sendo mais significativa durante os primeiros dias; reflectem ainda uma variação ligeira dos valores de temperatura e uma diminuição da intensidade do vento durante aquele período.

3.4. Resultados e discussão

Os resultados de $PM_{10,}$ para os 11 pontos de amostragem correspondentes à caracterização das 5 vias de circulação acima referidas, são apresentados na Tabela 7. A ausência de alguns valores ficou a dever-se à impossibilidade de aceder a alguns dos locais ao fim de semana, ao corte do abastecimento de energia eléctrica e à existência de filtros danificados em resultado da precipitação intensa.

Tabela 7 – Valores de concentração de PM_{10} (µg/m³) obtidos junto de vias de tráfego em Lisboa.

	Av. Liberdade			Saldanha		2ªCircular		Eixo Norte-Sul		Av. Marechal G. Costa	
Data Medição	MOP (1)	Adv (2)	EQA (3)	Arq. (1)	S.Social (2)	CML (1)	Sta.Casa (2)	Ismali (1)	O.Hosp. (2)	Airliquide (1)	Lusoltaliana (2)
30-1-04								38,3	54,3	40,6	44,2
31-1-04		37,6		39,4				19,1	41,3	47,8	38,7
1-2-04	23,9	29,3	27,3	32,2	30,4			**76,6**			12,6
2-2-04	39,2	53,6	30,0	**78,5**	**65,6**			**92,2**	**101,8**		**56,2**
3-2-04	**85,2**	**94,3**	**76,0**	**56,9**	**81,3**	**67,3**	**92,1**	**71,8**	**72,7**	**150,8**	**76,4**
4-2-04	**74,6**	**104,9**	**86,4**	**78,8**	**74,8**	**79,9**	**102,7**	**95,9**	**95,5**		**74,1**

* são apresentados em destaque, os dois dias de fim-de-semana (31-1 e 1-2-2004), e a negrito, os valores que excedem o VL+MT.

Refira-se que a comparação dos resultados com os valores legislados é meramente indicativa, uma vez que os valores obtidos resultam da média dos valores medidos a partir das 9 horas da manhã, em períodos de 24 horas, não sendo por isso consideradas todas as horas do dia em questão (das 0 às 24 horas).

Validação dos resultados obtidos nos amostradores Derenda® LVS 3.1

Os resultados das concentrações médias diárias obtidas através dos LVS 3.1, foram depois comparados com os medidos na EQA da Avenida da Liberdade (ponto de amostragem (3)). A distância entre as cabeças de amostragem dos dois equipamentos de medição foi de cerca de 0,5 metros e a altitude cerca de 3,5 metros acima do solo.

A Tabela 8 mostra que as diferenças entre os resultados fornecidos pelos dois equipamentos são assinaláveis, tendo em conta que se encontravam a medir no mesmo local. Os valores médios diários apresentados foram obtidos para as mesmas horas de medição (com início às 9 horas, em períodos de 24 horas). Uma vez que não foram validados alguns dos resultados horários de PM_{10} obtidos na EQA, entre os dias 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro, compararam-se os valores obtidos em dias posteriores (7, 8, 10 e 11 de Fevereiro de 2004). A análise destes dados permitiu depreender que o factor de correcção de 1,18 supracitado, aplicado a analisadores de PM_{10} que utilizam o método automático por radiação β, poderá ser ainda maior. Refira-se que os valores obtidos no amostrador são consistentemente superiores aos medidos na Estação de Qualidade do Ar (em média 26%).

Tabela 8 – Valores de concentração de PM_{10} (µg/m3), obtidos na EQA da Avenida da Liberdade e no amostrador Derenda® LVS 3.1.

Dia	Derenda® LVS 3.1	medidor Beta (EQA)	Relação LVS/Beta
7-2-04	102,5	89,4	1,15
8-2-04	83,0	58,5	1,41
10-2-04	96,5	80,4	1,20
11-2-04	107,7	83,7	1,29

Resultados de PM_{10} das estações urbanas de fundo próximas

A Rede de Monitorização da Qualidade do Ar da "Área Metropolitana de Lisboa – Norte" possui estações de dois tipos distintos, urbanas de fundo e de tráfego, representando diferentes níveis de exposição da população à poluição atmosférica. As estações de tráfego, tal como já foi aqui referido, situam-se em zonas de circulação automóvel intensa e em locais de passagem de grande número de pessoas, ao passo que as estações urbanas de fundo se localizam em áreas afastadas das vias de tráfego principais ou de fontes industriais importantes.

No sentido do melhor entendimento sobre o tipo de contribuição dos níveis de poluição de fundo para os resultados medidos nos amostradores de baixo volume, foram efectuadas as médias dos 24 valores horários correspondentes aos períodos caracterizados por esses amostradores. Os resultados das estações urbanas de fundo dos Olivais, Loures e Reboleira são apresentados na Figura 5, sendo que os valores obtidos pelos amostradores são representados através de marcas coloridas, sem distinção do local medido, apenas com o objectivo de os relacionar com os níveis de fundo.

Em termos comparativos, os resultados obtidos pelos amostradores são consistentemente superiores aos verificados em qualquer estação de fundo, demonstrando claramente a influência do tráfego nos locais caracterizados, à excepção de dois a três valores que fogem a esta tendência.

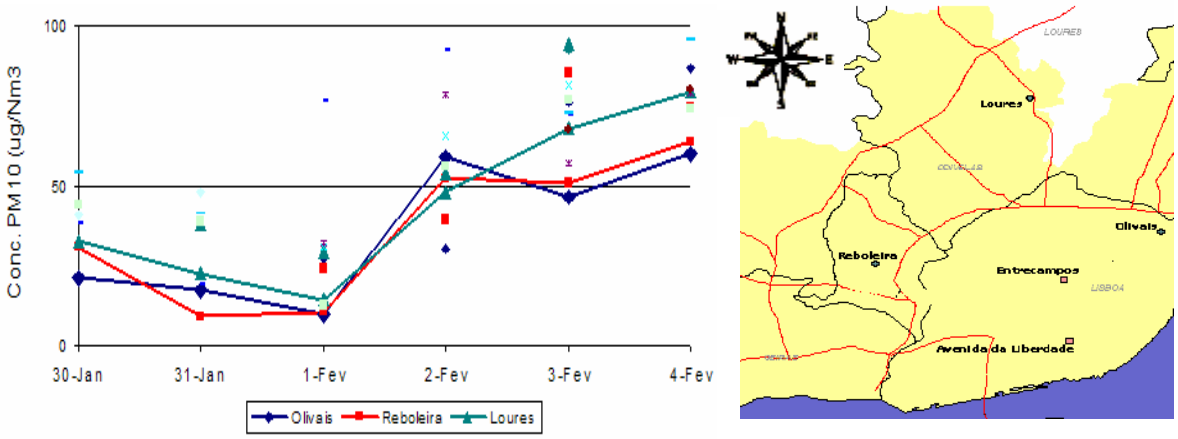


Figura 5 – Evolução temporal dos valores de concentração média diária de PM_{10}, medidos a partir das 9 horas do dia em causa, durante 24 horas, nas EQA urbanas de fundo dos Olivais, Loures e Reboleira, entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004; resultados obtidos nos LVS, representados por marcas coloridas (esquerda); e diagrama com a localização das EQA da Reboleira, Loures e Olivais (direita).

Resultados Gerais

Da análise dos dados gerais, apresentados na Tabela 7 é possível verificar os seguintes aspectos:

- os valores são, de uma forma geral, muito elevados, sendo que:
    - o valor-limite é excedido em 26 dos 33 dias úteis da semana medidos (cerca de 80%), e apenas 1 em 13 durante o fim-de-semana (cerca de 8%), considerando todos os resultados obtidos nos vários pontos de amostragem, durante o período da campanha e tendo em conta o VL+MT para o ano de referência de 2004 (55µg/m^3);
    - caso os resultados sejam corrigidos tendo em conta a sobrevalorização constatada (26%), o valor-limite passaria a ser excedido em 23 dos 33 dias (70%), e igualmente 1 em 13 durante o fim-de-semana (8%),

  pelo que em qualquer um dos casos, se evidencia a elevada percentagem de excedências ao valor-limite, sempre mais do que 50% do total de dias. Ainda que não tenham sido obtidos 25% dos valores dos dias de semana e cerca de 40% dos fins-de-semana, não é expectável uma alteração significativa das conclusões apresentadas;
- os valores são substancialmente inferiores durante o fim de semana (dias 31-1 e 1-2-2004), consubstanciando a natureza da principal contribuição existente naqueles pontos de amostragem, especialmente vocacionados para a avaliação da expressão do tráfego.

Contudo, a existência de precipitação poderá ter também influenciado os valores de concentração para esses dias, embora menos decisivamente, como é possível observar da análise dos dados de sexta-feira (dia 30), que são em média superiores aos de sábado (dia 31), nos pontos medidos, ainda que tendo-se verificado sensivelmente o dobro da quantidade de precipitação caída;

- a análise comparativa dos dados no único dia em que foi possível obter resultados para todos os pontos de amostragem (terça-feira, dia 3-2-2004), permitiu verificar que os maiores valores de concentração de PM_{10} foram registados para a Avenida da Liberdade, e inconsistentemente na Avenida Marechal Gomes da Costa, uma vez que ocorreu a contribuição de um valor que se considera atípico, muito acima dos restantes valores obtidos;
- no dia seguinte (quarta-feira, dia 4-2-2004), os valores mais elevados foram medidos no Eixo Norte-Sul e Segunda Circular, os quais poderão ter resultado da diminuição média da intensidade do vento, dado que aqueles locais se encontravam particularmente expostos ao vento, por não existirem os obstáculos físicos existentes nos outros pontos de amostragem retratados; os resultados obtidos neste dia, na Avenida da Liberdade, mostram um registo elevado idêntico, pelo que se pode concluir ser este o local onde ocorrem, de forma consistente, os níveis mais elevados de PM_{10};
- refira-se que os resultados decorrentes da aplicação do modelo ICod permitiram concluir que não ocorreram quaisquer eventos naturais durante qualquer um dos dias da presente campanha (remetem-se os *outputs* em Anexo).

Mais à frente apresentam-se as fotos dos locais de medição, e um ortofotomapa enquadrador, bem como os gráficos dos respectivos resultados medidos de PM_{10}, que incluem informação sobre:

- resultados graficados de PM_{10} obtidos para cada ponto e dia de amostragem;
- dados graficados de intensidade do vento medida no aeroporto de Lisboa;
- direcção predominante do vento para cada dia de amostragem;
- diagrama com a localização aproximada (sem escala), dos pontos de amostragem, orientados a Norte, sendo que cada cor corresponde ao local onde foi efectuada a medição.

Refira-se que apenas foi possível a obtenção de dados meteorológicos da estação meteorológica do IM referente ao aeroporto de Lisboa, pelo que os dados de direcção do vento são passíveis de incorrerem em algum erro, associado à existência de obstáculos físicos, e a fenómenos meteorológicos específicos já mencionados anteriormante; são sobretudo os casos das vias de tráfego da Avenida da Liberdade e Saldanha.

3.4.1. Eixo Norte-Sul

Os pontos de amostragem foram localizados no Centro Ismali (1) e na Ordem Hospitaleira de S. João de Deus (2), representando cada um dos lados do Eixo Norte-Sul.

Os resultados mostram para cada dia, em que foi possível a comparação dos dados entre os dois pontos de amostragem, que, à excepção de um dia, os maiores valores são medidos na Ordem Hospitaleira, tendo em conta que a direcção do vento verificada nos dias 30 de Janeiro, 2 e 3 de Fevereiro favoreciam o deslocamento das massas de ar das faixas de rodagem em direcção àquele ponto.

Contudo, os resultados do dia 31 de Janeiro, cuja direcção do vento seguia sensivelmente a direcção da via de tráfego, foram mais elevados novamente na Ordem Hospitaleira. Assim, pode-se depreender, por um lado, a possibilidade do trânsito ter sido mais intenso, segundo o sentido Sul-Norte (maior proximidade do ponto de medição), durante os períodos em que a direcção do vento seguia a direcção daquele ponto; ou por outro, que o facto do amostrador colocado no Centro Ismali ter sido colocado num local mais alto do que o da Ordem Hospitaleira, poder representar uma menor contribuição de partículas, tendo em conta que a variação (diminuição de concentração) deste poluente ser mais acentuada em altura, do que no plano horizontal (Wu et al., 2002).

Por fim, no último dia de amostragem foram obtidos resultados sensivelmente iguais nos dois pontos de amostragem, sendo que desta feita, a direcção do vento de Oeste promoveria incrementos assinaláveis dos teores de PM_{10} na Ordem Hospitaleira (apesar dos ventos menos intensos registados), tal como havia sucedido no primeiro dia de campanha, facto que poderá estar associado à introdução de erros inerentes ao procedimento experimental.

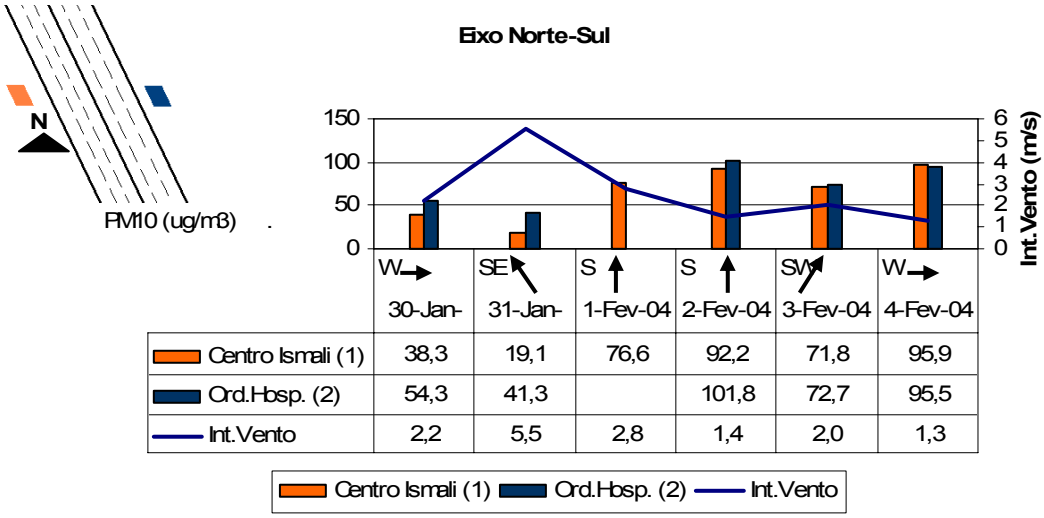


Figura 6 – Valores de concentração média diária de PM_{10}, medidos no Eixo Norte-Sul: Centro Ismali (1) e Ordem Hospitaleira de S. João de Deus (2), entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004 (Indicação da intensidade do vento e direcção predominante do vento; diagrama da via de tráfego e respectivos pontos de medição) (em baixo); fotos dos locais em causa, devidamente enquadrados através de um ortofotomapa (em cima).

3.4.2. Segunda Circular

Os resultados mostram para cada dia em que foi possível a comparação dos dados entre os dois pontos de amostragem, que os valores medidos na Santa Casa da Misericórdia são mais elevados do que os obtidos no posto de limpeza da Câmara Municipal de Lisboa. Refira-se, no entanto, que a análise é apenas efectuada para dois dias (3 e 4 de Fevereiro de 2004), correspondentes a uma terça e quarta-feiras, pelo que as conclusões terão por esta razão um alcance limitado.

Apesar de no dia 4 o vento registar uma predominância de Oeste ou Este, precisamente a direcção segundo a qual a via está orientada, e de no dia anterior o vento apontar no sentido do Posto de Limpeza, os níveis de partículas são máximos junto do edifício da Santa Casa da Misericórdia. Salienta-se, contudo, que o amostrador situado neste local se encontrava mais perto da faixa de rodagem, a que acresce a dinâmica de trânsito na área, que determina um maior congestionamento de tráfego no sentido Oeste-Este (mais próximo daquele edifício), devido à proximidade do viaduto do Campo Grande, onde é grande a acumulação de veículos, factores que poderão explicar as diferenças verificadas.

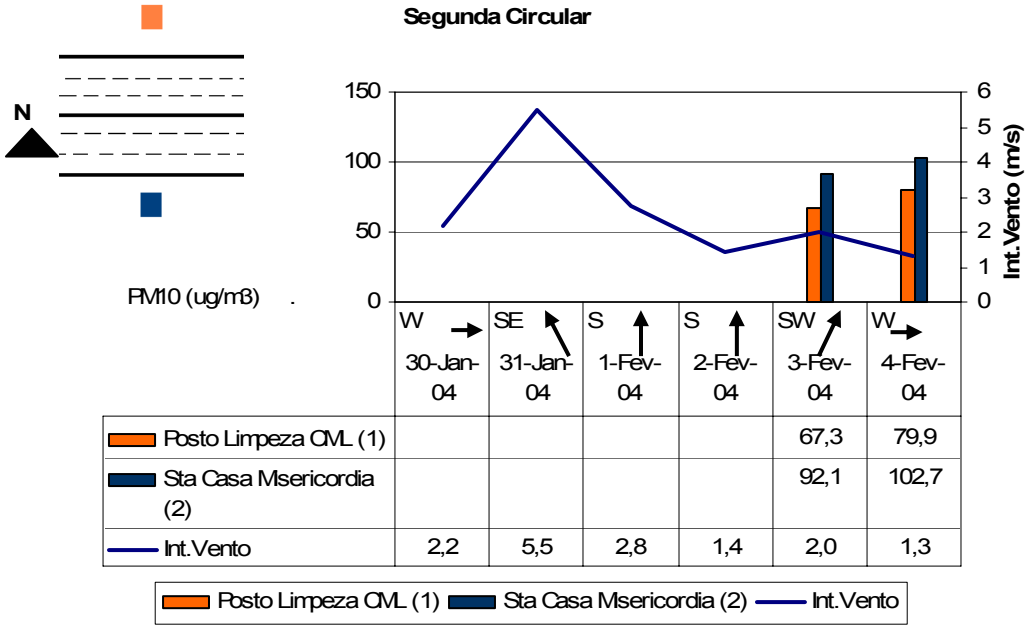


Figura 7 – Valores de concentração média diária de PM_{10}, medidos na Segunda Circular: Posto de Limpeza da CML (1) e Santa Casa da Misericórdia (2), entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004 (Indicação da intensidade do vento e direcção predominante do vento; diagrama da via de tráfego e respectivos pontos de medição) (em baixo); fotos dos locais em causa, devidamente enquadrados através de um ortofotomapa (em cima).

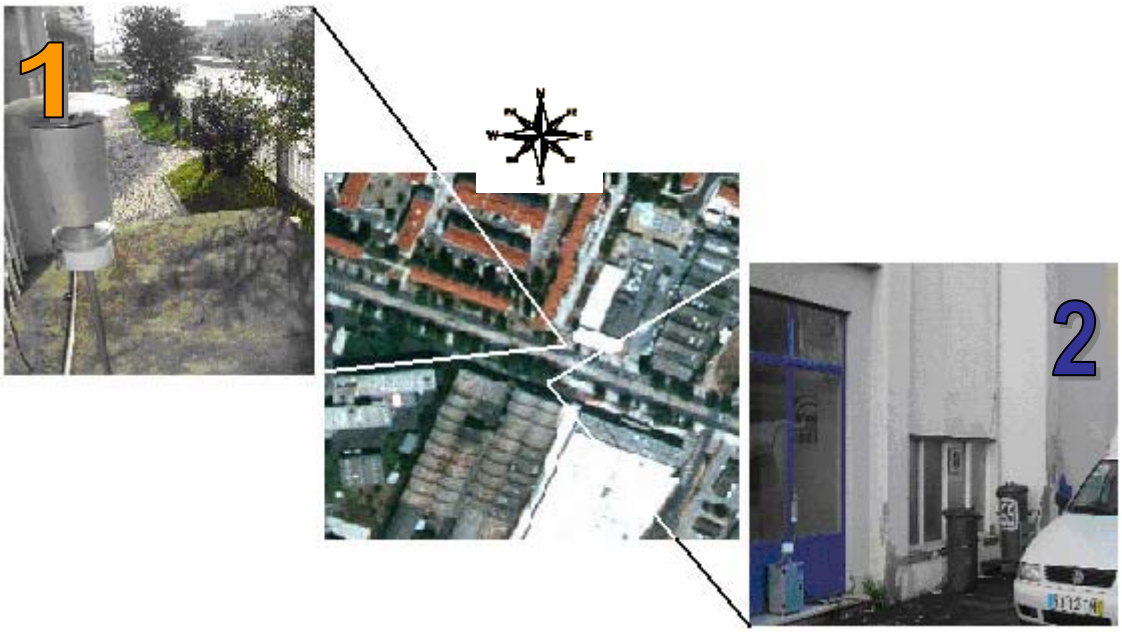
3.4.3. Av. Marechal Gomes da Costa

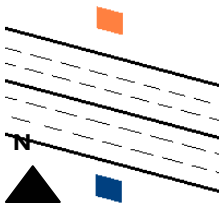
Os pontos de amostragem foram localizados junto à entrada da empresa *Air Liquide* (1) e da antiga metalurgia Luso – Italiana (2), representando cada um dos lados da Avenida Marechal Gomes da Costa.

Os resultados mostram, para os dias em que foi possível a comparação dos dados entre os dois pontos de amostragem, que os maiores valores foram medidos na *Air Liquide*, nos dias 31 de Janeiro e 3 de Fevereiro, sendo que a direcção do vento favorecia o deslocamento das massas de ar das faixas de rodagem em direcção àquele ponto. Acresce ainda o facto das faixas de rodagem mais próximas seguirem num sentido ascendente moderado, com consequentes aumentos do consumo de combustível e das respectivas emissões poluentes para a atmosfera.

Como é possível observar no dia 3, os valores medidos foram muito elevados, ultrapassando claramente o valor-limite estipulado no DL n.º 111/2002, de 16 de Abril, para o ano em causa (2004), ou seja 55 µg/m^3. Verifica-se ainda que a diferença entre os resultados obtidos para os dois pontos, foi de 1:2.

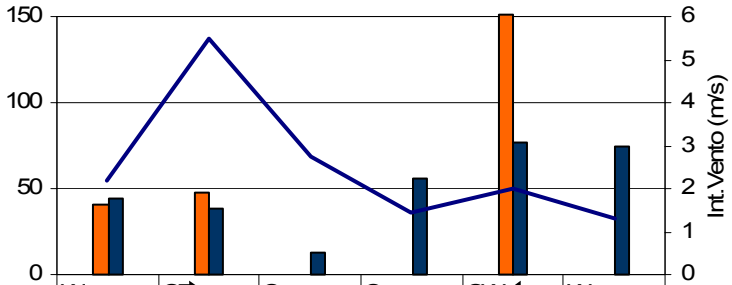
Refira-se ainda que no primeiro dia de campanha (30 de Janeiro) se observaram teores de PM_{10} muito semelhantes, o que se pode explicar pelo facto do vento dominante seguir, de modo aproximado, o sentido descendente da Av. Marechal Gomes da Costa.





PM10 (ug/m3)

Av. Marechal Gomes da Costa



	W 30-Jan-04	SE 31-Jan-04	S 1-Fev-04	S 2-Fev-04	SW 3-Fev-04	W 4-Fev-04
Air Liquide (1)	40,6	47,8			150,8	
Metalurgia LI (2)	44,2	38,7	12,6	56,2	76,4	74,1
Int.Vento	2,2	5,5	2,8	1,4	2,0	1,3

Air Liquide (1) Metalurgia LI (2) Int.Vento

Figura 8 – Valores de concentração média diária de PM_{10}, medidos na Avenida Marechal Gomes da Costa: AirLiquide (1) e Metalurgia Luso – Italiana (2), entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004 (Indicação da intensidade do vento e direcção predominante do vento; diagrama da via de tráfego e respectivos pontos de medição) (em baixo); fotos dos locais em causa, devidamente enquadrados através de um ortofotomapa (em cima).

3.4.4. Saldanha

Os pontos de amostragem foram localizados num andar ocupado pelo Arquitecto Cabida (1), sendo assim denominado o respectivo ponto de amostragem, e no varandim da segurança social do Saldanha (2), em cada um dos lados da Avenida da República, junto ao Saldanha.

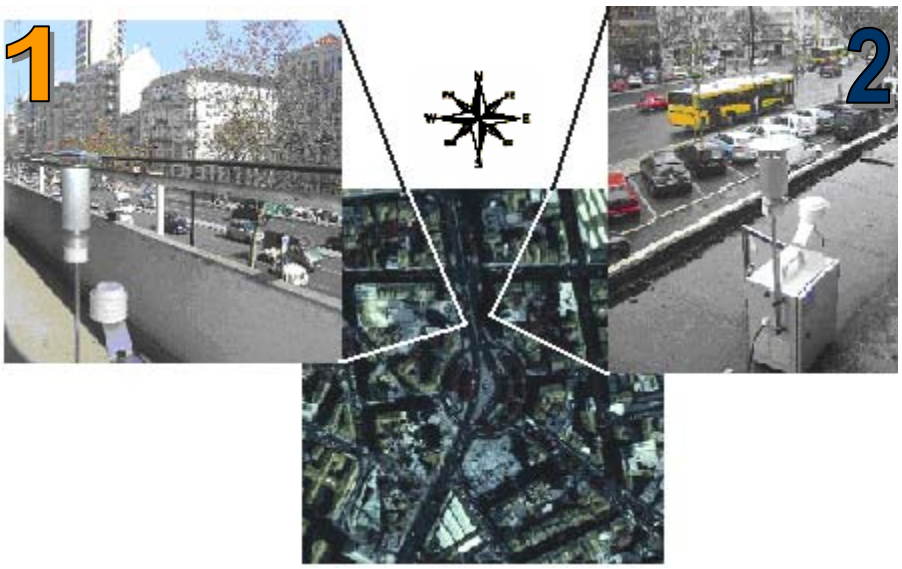
Os resultados mostram, para os dias em que foi possível a comparação dos dados entre os dois pontos de amostragem, tal como seria previsível pela tipologia de ambiente urbano em causa, que não foi possível assegurar uma relação directa entre a direcção do vento e a existência de maiores ou menores valores de concentração de PM_{10}. Efectivamente, apenas no dia 3, essa relação poderia ser estabelecida, pelo que mesmo neste caso se procurou interpretar os dados recorrendo a outros factores. Tal poderá ter resultado da elevada complexidade dos movimentos da atmosfera local e da influência marcada das estruturas existentes no escoamento e dispersão dos poluentes.

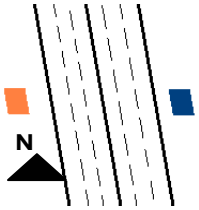
Apenas nos últimos quatro dias de campanha foi possível comparar os valores obtidos nos dois lados da via de tráfego em questão, sendo que os mesmos corresponderam aos dias em que praticamente não ocorreu precipitação, entre Domingo e Quarta-feira.

Em qualquer dos dias de semana (dias 2, 3 e 4), e para os dois pontos de amostragem, foi possível observar a excedência do VL+MT de 55 $\mu g/m^3$, e o seu cumprimento no Domingo, dia 1 de Fevereiro.

Refira-se que de entre todos os locais de campanha os pontos de amostragem situados no Saldanha e na Avenida da Liberdade, foram os que permitiram assegurar uma maior igualdade de critérios de localização. Nos dois lados das vias de tráfego recorreu-se às varandas e varandins dos edifícios seleccionados, ao nível dos primeiros andares, a alturas idênticas e a distâncias iguais ao centro das faixas de rodagem mais próximas.

Desta forma, constatou-se que em 3 dos 4 dias de comparação, foram obtidos valores superiores no local denominado “Arquitecto Cabida”, ainda que por escassa diferença; em qualquer desses dias o vento não se encontrava na nessa direcção. No dia 3, invertendo-se esta situação, a diferença é contudo maior. Pode-se desta forma concluir que as diferenças registadas, não tendo os resultados seguido de forma consistente qualquer critério de análise aqui mencionado, podem ter resultado de processos de circulação atmosférica específicos, de factores determinados pela circulação e dinâmica automóvel, ocorrência de acidentes e consequente diminuição da velocidade média dos veículos.





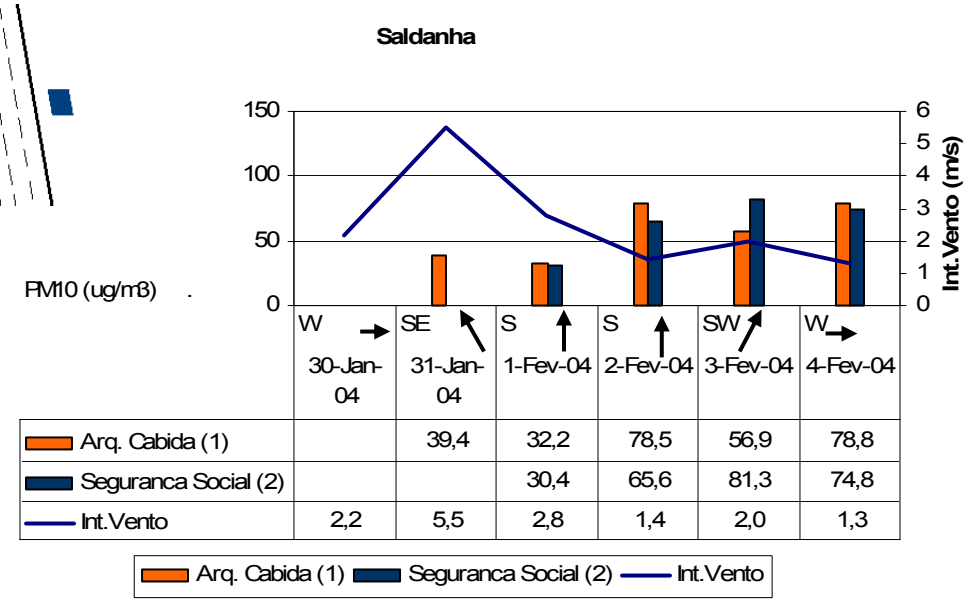


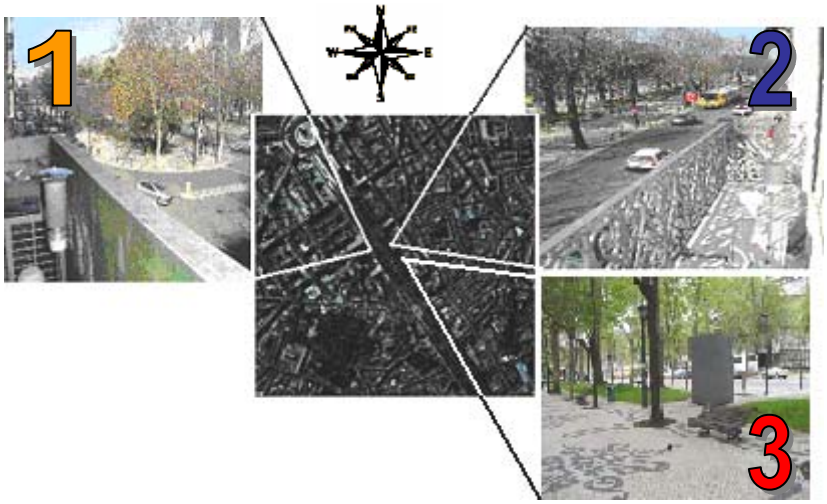
Figura 9 – Valores de concentração média diária de PM_{10}, medidos no Saldanha: Arquitecto Cabida (1) e Segurança Social (2), entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004 (Indicação da intensidade do vento e direcção predominante do vento; diagrama da via de tráfego e respectivos pontos de medição) (em baixo); fotos dos locais em causa, devidamente enquadrados através de um ortofotomapa (em cima).

3.4.5. Avenida da Liberdade

Os pontos de amostragem foram localizados nos andares ocupados pela biblioteca do Ministério das Obras Públicas (1), por um "Escritório de advogados" (2), em cada um dos lados da Avenida da Liberdade, bem como por cima da Estação de Qualidade (3) existente naquela Avenida.

Da análise dos resultados obtidos em que é possível observar a comparação entre os 3 pontos de amostragem em simultâneo, ou seja entre Domingo (dia 1) e Quarta-feira (dia 4), salientam-se os seguintes aspectos:

- verificam-se os maiores valores de concentração média diária de PM_{10} no "Escritório de Advogados". Tal como foi referido no ponto anterior, a localização dos amostradores seguiu a mesma ordem de critérios designadamente nos pontos de amostragem (1) e (2), em termos de distância à via de tráfego e altura de medição, pelo que influem nos resultados apresentados factores de ordem meteorológica e atmosférica, bem como a natureza e expressão da contribuição das fontes de PM_{10} envolvidas, nomeadamente a circulação e dinâmica automóvel;
- as razões associadas à consistência daqueles resultados poderão passar pelo facto de terem ocorrido ventos predominantes de Sul e Sudoeste (dias 1, 2 e 3), pelo que as massas de ar sofreram a influência acrescida dos veículos que circulavam na Av. Barata Salgueiro, o que não aconteceu nos outros dois locais de amostragem. No dia 4, com ventos de Oeste, esta influência pode não se ter feito sentir devido à orientação da via de tráfego em causa. Em todo o caso, as estruturas edificadas em redor poderão resultar em movimentos atmosféricos locais não definidos que não fizeram alterar a linha de tendência verificada;
- ainda assim, será de relativizar os pontos anteriores, no que se refere à possibilidade de influência directa da direcção do vento, devido à existência de obstáculos físicos e à conclusão que é possível retirar da comparação dos valores obtidos na EQA (3) da Avenida da Liberdade e Biblioteca do Ministério das Obras Públicas (1), entre os dias 1 e 2, com uma predominância em termos de rumo do vento idêntica e com resultados contrários;
- cerca de metade dos valores médios diários não cumprem o VL+MT estipulado no DL n.º 111/2002, de 16 de Abril, de 55 $\mu g/m^3$.



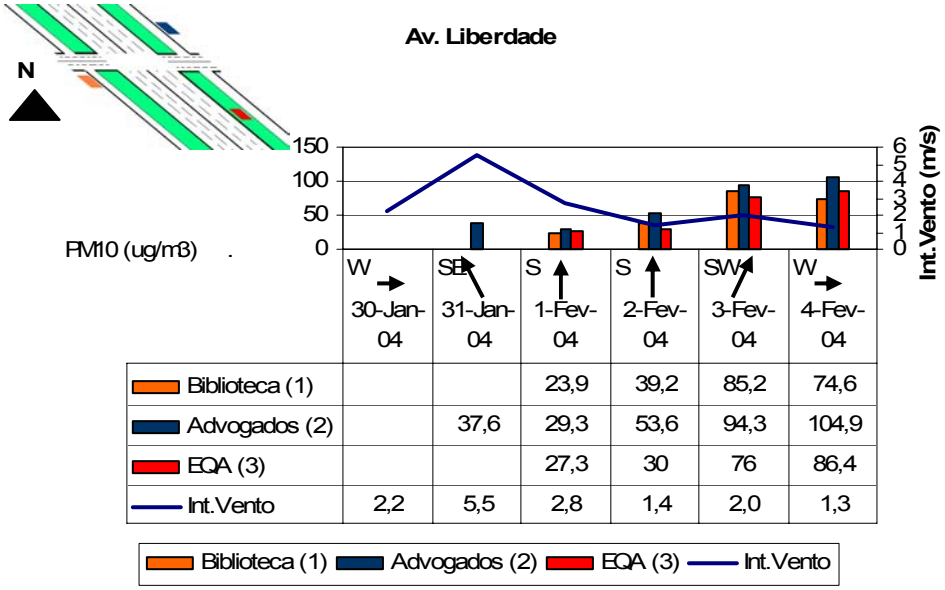


Figura 10 – Valores de concentração média diária de PM_{10}, medidos na Avenida da Liberdade: Biblioteca do Ministério das Obras Públicas (1), "Escritório de Advogados" (2) e EQA da Avenida da Liberdade (3), entre 30 de Janeiro e 4 de Fevereiro de 2004 (Indicação da intensidade do vento e direcção predominante do vento; diagrama da via de tráfego e respectivos pontos de medição) (em baixo); fotos dos locais em causa, devidamente enquadrados através de um ortofotomapa (em cima).

4. CAMPANHA DE QUALIDADE DO AR EM ENTRECAMPOS

Ao longo deste capítulo irão ser dados a conhecer os resultados obtidos na campanha de monitorização da qualidade de ar em Entrecampos, realizada através da unidade móvel de qualidade do ar designada de SNIF AirLab, entre 15 e 28 de Outubro de 2004, tentando respeitar uma linha orientadora que permita uma melhor associação e interpretação dos mesmos.

Os poluentes medidos na unidade móvel foram o CO, NO, NO_2 e PM_{10}, sendo os resultados destes comparados com os medidos na estação de qualidade do ar (EQA) de Entrecampos.

Os resultados obtidos na presente campanha foram comparados com os valores-limite legalmente estipulados, tendo sido dado um especial enfoque à observância dos critérios que norteiam a selecção da localização de estações de tráfego.

4.1. Metodologia

A campanha foi realizada em dois locais específicos, nas proximidades da estação de qualidade do ar lá existente, através de uma unidade móvel de qualidade do ar (SNIF AirLab). Assim, as medições foram realizadas nos seguintes locais:

- no parque de estacionamento "Biblioteca Nacional", na projecção directa da praça de Entrecampos, a cerca de 50 metros da EQA, entre 15 e 21 de Outubro de 2004;
- na passagem pedonal, em local oposto ao primeiro, igualmente na projecção directa da praça de Entrecampos, de 21 a 28 de Outubro de 2004.

Os poluentes em causa foram medidos com recurso a aparelhos de medição contínua, da marca Environnement, S.A., quer na Estação de Qualidade do Ar de Entrecampos quer na Unidade Móvel SNIF. Os dados da EQA foram disponibilizados pela CCDR LVT e IA, já em formato que permite a comparação com os valores limite estabelecidos no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril. Os dados provenientes da Unidade Móvel foram convertidos de concentrações médias de quinze minutos, para valores médios horários. No que respeita especificamente ao monóxido de carbono, uma vez que a legislação estabelece um valor limite na base octo-horária, foram calculadas médias

de oito horas, a partir daqueles dados horários e actualizadas hora a hora, com o propósito da sua comparação legal.

A monitorização de PM_{10} foi efectuada recorrendo ao método automático por radiação β, sendo os valores obtidos corrigidos por um factor de 1,18. Este valor tem sido aplicado para as estações de tráfego, de modo a ser possível a comparação entre aquele método e o de referência (gravimétrico), definido no Anexo XI (Secção IV) do Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril e Norma Europeia EN 12341, de Novembro de 1998. Os valores recolhidos de PM_{10} corresponderam a valores de 15 minutos, tendo sido agregados em valores médios horários. Uma vez que o Decreto-Lei supracitado estipula valores na base diária e anual, os dados horários foram convertidos para uma base temporal diária por forma a ser possível a respectiva comparação. Refira-se ainda que a resposta dos monitores em contínuo das EQA e Unidade Móvel foi comparado a fim de se garantir que as eventuais diferenças de concentrações a observar se deviam apenas à localização e a processos atmosféricos.

A seguir descrevem-se os equipamentos usados para a medição dos vários poluentes, que equipam o SNIF:

Tabela 9 – Descrição sumária dos equipamentos existentes no SNIF.

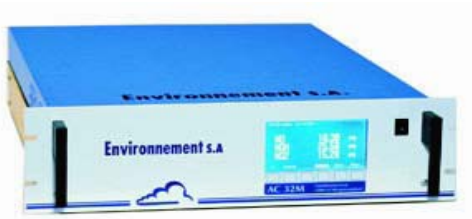
Poluente	Equipamento	Método	Fotografia do equipamento
NOx	Environment® AC32M	Método contínuo de referência (quimiluminescência)	
CO	Environment® CO12M	Método contínuo de referência (infravermelho não dispersivo)	
PM_{10}	Environment® MP101M	Método de medição contínua (interferência de radiação beta)	

Figura 11: Unidade móvel de qualidade do ar: SNIF Air Lab (esquerda) e EQA de Entrecampos (direita).

Os resultados obtidos foram comparados com a legislação em vigor em 2004, ano em que decorreu a campanha, levando em linha de conta os respectivos valores de aplicação (Valores Limite - VL e/ou VL + Margem de Tolerância - MT), bem como a assunção de bases temporais diferentes (horárias, octo-horárias, diária), conforme os poluentes em análise.

Aqueles resultados foram depois sujeitos a tratamento estatístico, no qual se procedeu à análise das médias e desvios-padrão de cada grupo de valores, por dia e semana de campanha (cada grupo de valores é designado por X e Y). Foi igualmente efectuada a análise correlacional, no sentido de saber a direcção e magnitude da relação linear entre os respectivos grupos de valores de concentração dos poluentes e quantitativos de tráfego, tendo os coeficientes de correlação sido calculados através do teste de correlação produto-momento de *Pearson*, foram-no para um grau de confiança de 95%, ou seja, $p<0,05$, sendo o grau de dependência linear entre aqueles dois conjuntos de dados, obtido por:

$$r = \frac{\sum\left(x-\bar{x}\right)\left(y-\bar{y}\right)}{\sqrt{\sum\left(x-\bar{x}\right)^2\sum\left(y-\bar{y}\right)^2}}$$ (Equação 3).

No sentido de analisar a reprodutibilidade dos resultados de vários poluentes face ao tráfego existente são apresentados gráficos mais adiante, nos quais se relacionam as respectivas concentrações com o número de veículos contabilizados num sistema de contagem automática da CML, situada nas imediações, bem como com os dados horários de direcção do vento.

4.2. Selecção e caracterização dos locais de medição

A escolha dos pontos de amostragem teve em conta os dois extremos (Sul e Norte) da rotunda de Entrecampos, procurando ser representativos da exposição da população às concentrações dos poluentes provenientes das vias de tráfego situadas nas proximidades, nomeadamente da rotunda propriamente dita, da Avenida das Forças Armadas (a Oeste), da Avenida dos Estados Unidos da América (a Este) e da Avenida da República (prolongamentos Sul e Norte). Refira-se que o ponto de amostragem relativo às medições efectuadas entre 15 e 21 de Outubro de 2004 tem na sua proximidade a Estação de Qualidade do Ar de Entrecampos, medindo em contínuo todos os poluentes da Unidade Móvel de Qualidade do Ar (SNIF Air Lab).

Esta Unidade requereu o abastecimento contínuo de energia eléctrica, fornecida a partir de caixas de comando ou candeeiros públicos localizados nas proximidades.

Devido à sua dimensão e funcionalidade, é possível obter dados reais para zonas de circulação pedonal, uma vez que é possível a sua instalação em locais de passagem. Nos períodos de campanha, foi colocada a escassos centímetros dos passeios, sobre exposição directa do tráfego automóvel, de acordo com os critérios EUROAIRNET mencionados no ponto 2.4 do presente trabalho.

A envolvência aos pontos de amostragem, a sua localização e direcção, e os períodos de campanha, são facilmente identificados através da Figura 12.

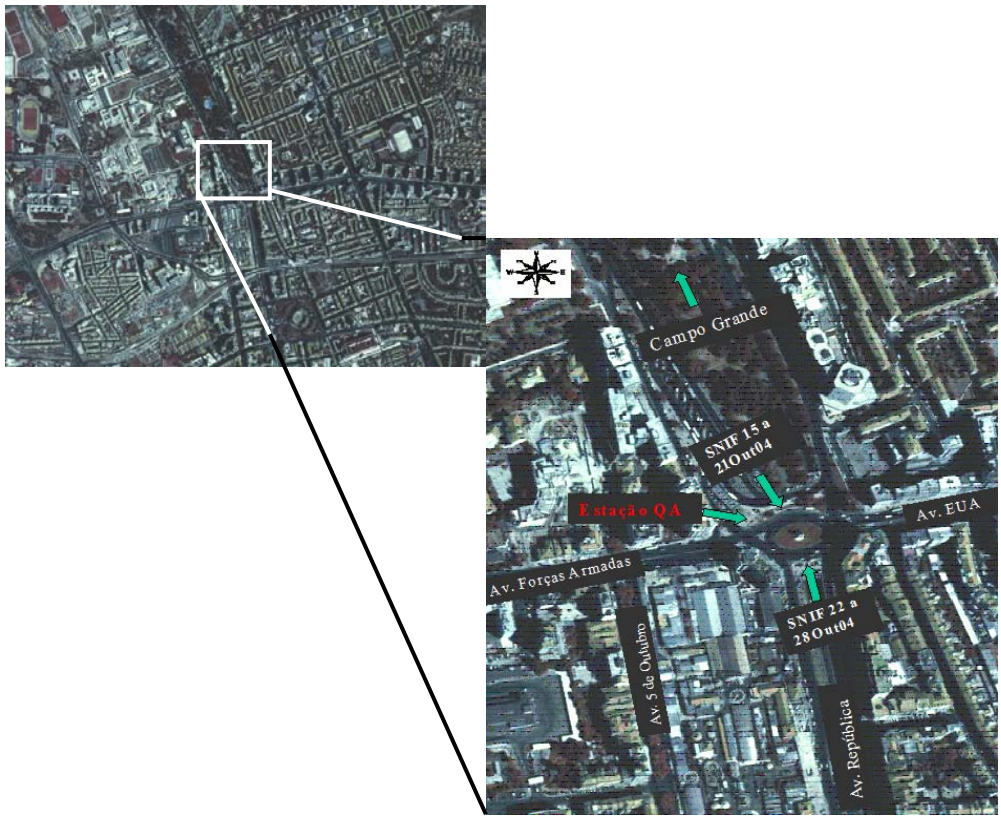


Figura 12 – Ortofotomapas de Lisboa e zona de Entrecampos, com a localização dos pontos de amostragem e respectivos períodos de medição; indicação da localização da EQA de Entrecampos e principais vias de tráfego adjacentes.

Foi aplicado um factor de correcção de 1,18 aos dados de PM_{10} registados no SNIF, sendo este, como já referido, o valor de referência encontrado para as estações de tráfego obtido em estudos de inter-comparação efectuados pelo Instituto do Ambiente. Deste modo, é possível obter resultados equivalentes aos do método de referência (método gravimétrico), dado que a medição foi feita com recurso ao método automático por radiação β.

A Figura 13 apresenta os diagramas com a localização dos pontos de amostragem da campanha de Entrecampos.

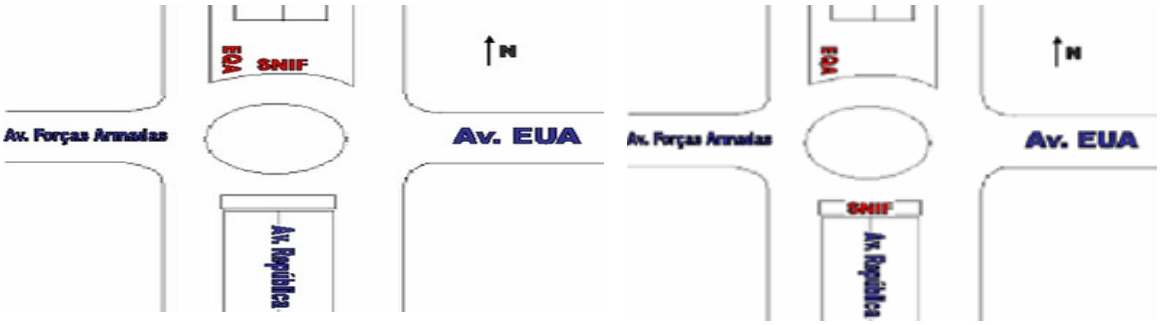


Figura 13 – Diagrama da localização do SNIF e EQA de Entrecampos, no período compreendido entre 15 e 21 de Outubro (à esquerda) e entre 22 e 28 de Outubro de 2004 (à direita).

4.3. Dados Meteorológicos

Os resultados obtidos para os poluentes considerados dependem em larga medida das condições meteorológicas existentes, pelo que as mesmas são descritas para os dias da campanha de qualidade do ar, respeitantes a dados obtidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa.

Na Figura 14 apresenta-se uma síntese dessa informação, onde podem ser observadas as condições de temperatura, precipitação e intensidade do vento, segundo os seus valores médios diários.

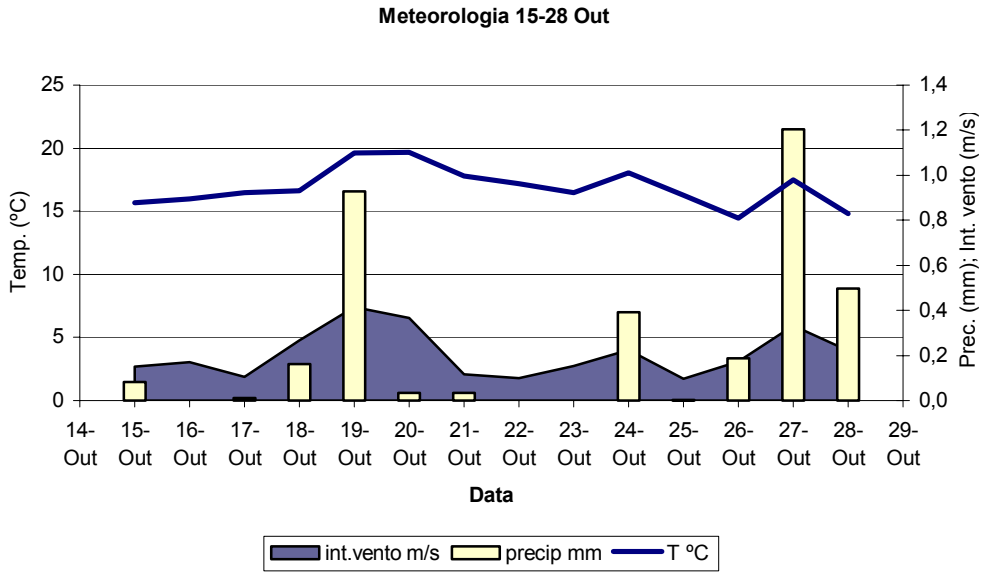


Figura 14 – Evolução temporal dos valores médios diários de intensidade de vento (m/s), de quantidade de precipitação (mm) e de temperatura (ºC), entre 15 e 28 de Outubro de 2004, parâmetros medidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa.

Como é possível observar, a elevação dos valores de intensidade do vento corresponde, naqueles dias, a uma subida dos valores de temperatura. Por outro lado, é de salientar que os dias em que a temperatura sobe coincidem com os dias de maior precipitação.

Relativamente aos dados horários de direcção do vento, verifica-se que na 1ª semana de campanha (15 a 21 de Outubro de 2004), cerca de dois terços se encontravam distribuídos segundo as orientações Este, Sudeste e Sul, e mais de quatro quintos, na 2ª semana (22 a 28 de Outubro de 2004) (Figura 15).

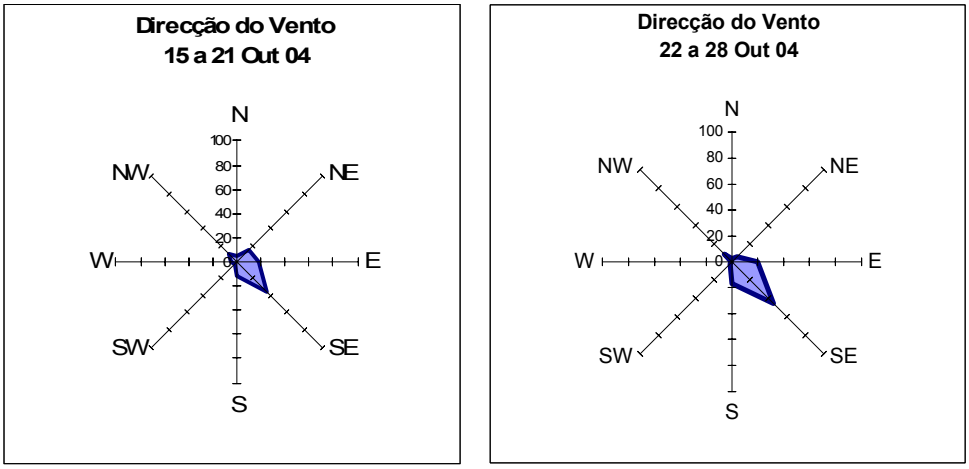


Figura 15 – Rosas-dos-ventos com as orientações médias horárias relativas aos períodos entre 15 a 21 (esquerda) e 22 a 28 de Outubro de 2004 (direita), obtidas na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa.

4.4. Apresentação e análise dos resultados

As figuras 16, 17 e 18 apresentam os valores de concentração dos poluentes medidos, em escala e base temporal comparáveis com os valores-limite estipulados no DL n.º 111/2002, de 16 de Abril:

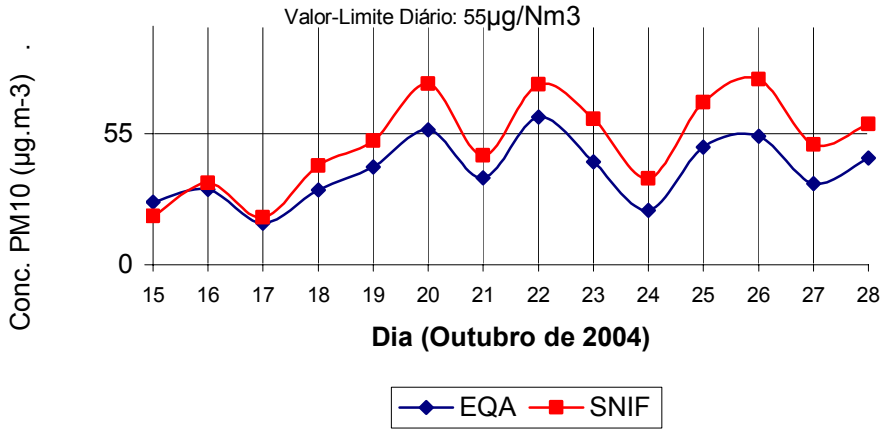


Figura 16 – Evolução das concentrações de PM_{10} obtidas na EQA e SNIF, em base temporal diária (15 a 28 de Outubro de 2004, Entrecampos).

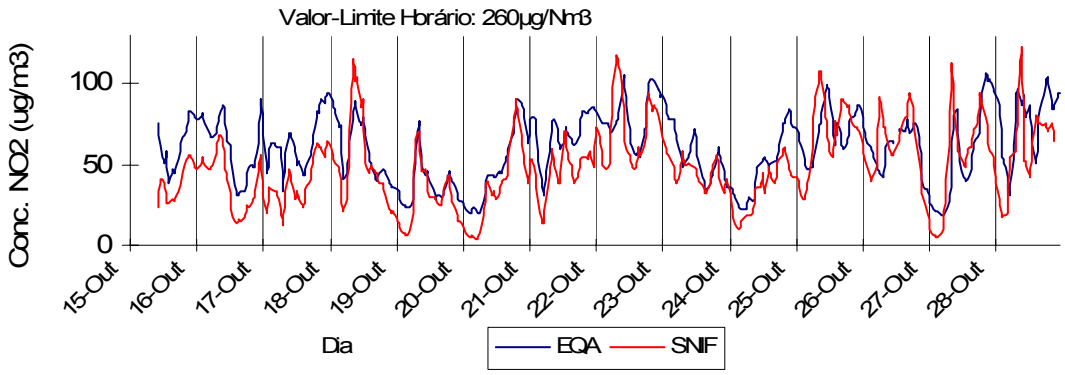


Figura 17 – Evolução das concentrações de NO_2 obtidas na EQA e SNIF, em base temporal horária (15 a 28 de Outubro de 2004, Entrecampos).

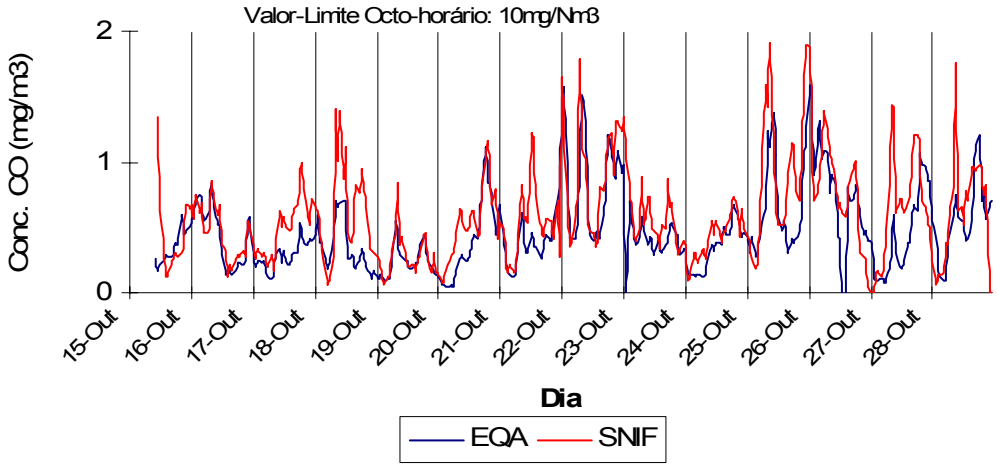


Figura 18 – Evolução das concentrações de CO obtidas na EQA e SNIF, em base temporal octo-horária (15 a 28 de Outubro de 2004, Entrecampos).

Como é possível observar, todos os resultados de NO_2 e CO obtidos cumprem as normas relevantes estipuladas no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, o mesmo não sucedendo a alguns dos valores médios diários registados para PM_{10}, medidos sobretudo no SNIF, que excedem o VL+MT para 2004 (55 µg/m^3).

Apresentam-se mais à frente os valores médios obtidos nas duas semanas de campanha (15 a 21, e 22 a 28 de Outubro de 2004), sendo de realçar o aumento verificado em todos os poluentes, na EQA e SNIF, da primeira para a segunda semanas (Figuras 19 e 20).

Esta constatação poderia ser facilmente conotada com um possível aumento de tráfego, mas o que é certo é que o valor médio de veículos contabilizados foi exactamente igual de uma semana para a outra. Em relação aos parâmetros meteorológicos, constata-se não terem ocorrido diferenças significativas, foi registada maior quantidade de precipitação durante a 2ªsemana, tendo ocorrido uma diminuição da velocidade média do vento (de 4,2m/s para 3,3m/s) e da temperatura (17,6ºC para 16,4ºC). A humidade relativa e a predominância das orientações de vento mantiveram-se sensivelmente idênticas, e a radiação global (Kj/m^2) foi superior em cerca de 28% durante a 2ªsemana.

Por outro lado, a análise dos valores médios das concentrações obtidos nas estações urbanas de fundo dos Olivais e Loures, permitiu verificar que também ocorreram subidas nestes locais, da ordem dos 10-20% nas PM_{10}, 34-104% para o NO_2, e 7-82% para o CO, enquanto que os aumentos verificados no SNIF e EQA em Entrecampos foram de 26-39% para as PM_{10}, 13-40% para o NO_2, e 47-66% para o CO.

Assim, de acordo com os dados meteorológicos e resultados para os vários poluentes medidos nas referidas estações urbanas de fundo, conclui-se que este fenómeno se poderá relacionar com um aumento de poluição a nível regional, com consequentes efeitos a nível local.

Para analisar a possibilidade da ocorrência de episódios de eventos naturais nos dias da campanha, foi aplicado o modelo ICoD (Insular Coastal Dynamics), que permitiu verificar a sua não ocorrência (ANEXOS).

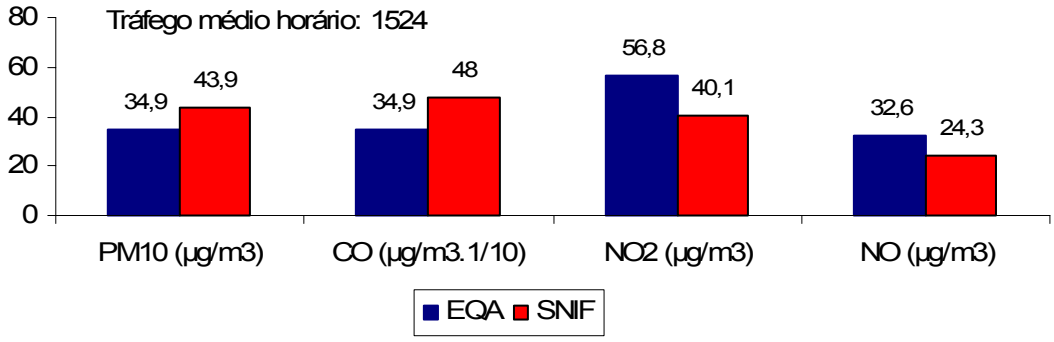


Figura 19 – Valores médios para o período de 15 a 21 de Outubro, relativos aos valores médios horários das concentrações de PM_{10}, CO, NO_2 e NO, obtidas na EQA e SNIF; Indicação do tráfego médio horário, em número de veículos.

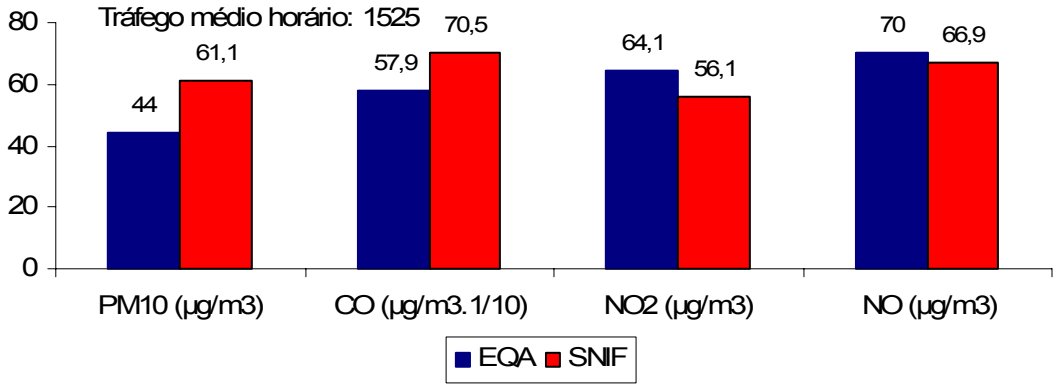


Figura 20 – Valores médios para o período de 22 a 28 de Outubro, relativos aos valores médios horários das concentrações de PM_{10}, CO, NO_2 e NO, obtidas na EQA e SNIF; Indicação do tráfego médio horário, em número de veículos.

No sentido de perceber o tipo de correlação existente entre as variáveis definidas pelos valores de concentração média horária dos poluentes medidos, bem como dos dados dos quantitativos de tráfego, foram determinados os valores de coeficiente de correlação de Pearson "r" (Tabela 10), sendo de salientar os seguintes aspectos:

- tal como seria de esperar, de uma forma praticamente generalizada, os valores dos coeficientes de correlação mais elevados são para cada poluente, entre a EQA e SNIF; os outros valores, embora de uma forma geral se correlacionem, têm respostas menos marcadas, decorrente dos diferentes padrões de desenvolvimento diário. Deste modo, tendo em conta os valores médios registados para cada um dos poluentes serem consistentemente diferentes, pode-se concluir que existe uma importante influência da localização de um ponto de amostragem, nas concentrações obtidas;
- os coeficientes de correlação entre a EQA e SNIF são superiores para os resultados de concentração obtidos durante a primeira semana, para o NO_2, NO e PM_{10}, tal não sucedendo para o CO. Seria ainda assim de esperar, que este último também seguisse a mesma tendência, uma vez que durante a primeira semana o SNIF se encontrou a medir a escassos 15 metros da EQA, embora mais perto do eixo da faixa de rodagem. Tal poderá resultar do facto do CO poder ser considerado um poluente praticamente inerte, a uma escala local (Vardoulakis et al., 2003), sendo influenciado maioritariamente pelas condições meteorológicas existentes;

- todos os grupos de resultados médios horários dos quatro poluentes em estudo e de quantitativos de tráfego, relativos à segunda semana de campanha, se encontram correlacionados em maior ou menor grau, com valores de $p<0,05$ (considerando assim as variáveis estatisticamente dependentes), ao contrário do que sucede na primeira semana, onde 6 cruzamentos de valores (em 24 possíveis), se encontram acima daquele valor. Tal poderá resultar de factores meteorológicos, uma vez que foi precisamente durante a primeira semana, que os dois pontos de amostragem (EQA e SNIF) se encontram mais próximos, e faria mais sentido que os resultados se correlacionassem melhor;
- o NO_2 é o poluente melhor correlacionado com o tráfego, sobretudo durante a segunda semana de campanha. No entanto, registe-se que a único sistema de contagem automática que existe na zona, e que esteve na base dos dados de tráfego disponibilizados, se encontra a medir apenas os quantitativos de veículos que se dirigem no sentido Norte-Sul, junto à ex-Feira Popular, medindo o somatório dos veículos que se deslocam da rotunda de Entrecampos e do túnel que vem do Campo Grande, em direcção ao Campo Pequeno, pelo que é provável, caso existissem dados de outros pontos, que os valores de coeficiente de Pearson pudessem ser mais elevados para a generalidade dos poluentes;

Tabela 10 – Valores dos coeficientes de correlação de Pearson (*r*), correspondentes a valores (p) inferiores a 0,05, entre os valores médios de concentração obtidos para o NO_2, NO, PM_{10}, CO e quantitativos de tráfego, relativos ao SNIF e às EQA de Entrecampos, entre 15 e 21 de Outubro de 2004 (valor de cima, em cada célula), e entre 22 e 28 de Outubro (valor de baixo).

EQA SNIF	NO_2	NO	PM_{10}	CO	TRÁFEGO
NO_2	**0,816**	**0,775**		**0,821**	0,378
	0,626	0,538	0,515	0,611	0,653
NO	0,445	**0,820**	0,253	0,672	0,437
	0,292	0,685	0,523	0,614	0,374
PM_{10}		0,237	**0,858**		0,251
	0,602	0,581	**0,810**	0,544	0,382
CO	0,598	0,677		0,634	0,410
	0,469	0,560	0,453	**0,720**	0,406
TRÁFEGO		0,314		0,221	1
	0,337	0,320	0,251	0,230	1

4.4.1. Dióxido de azoto

As concentrações médias diárias obtidas de NO_2, apresentadas na Figura 21, dizem respeito à média das concentrações horárias obtidas em Entrecampos, entre 15 e 28 de Outubro de 2004, na EQA de Entrecampos e SNIF Air Lab.

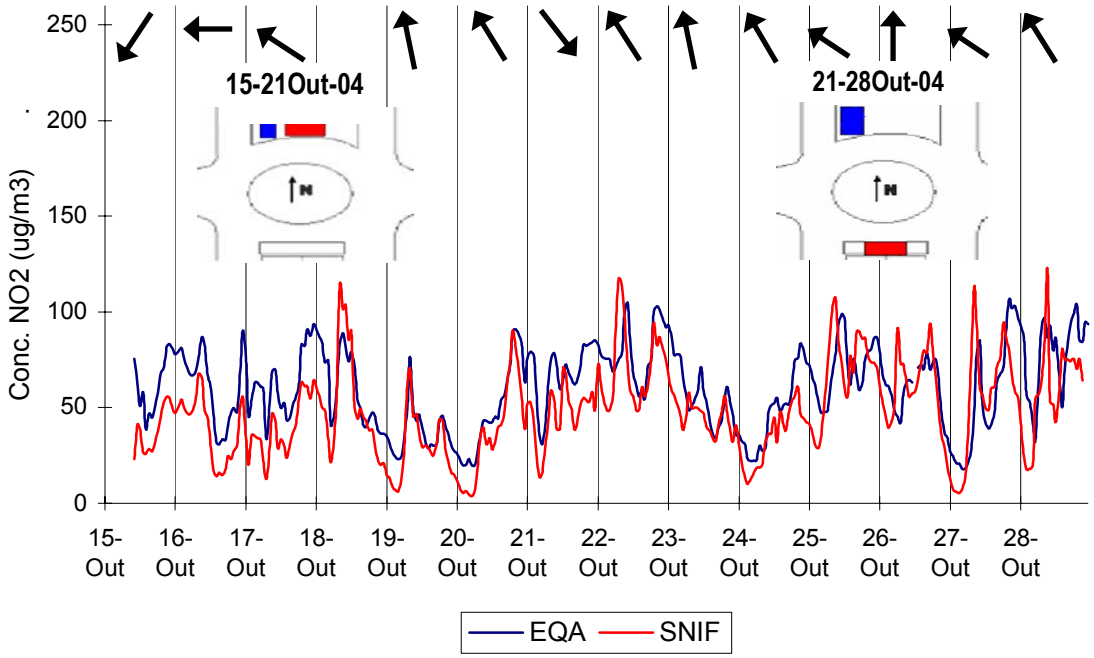


Figura 21 – Valores médios horários de NO_2 obtidos entre 15 e 28 de Outubro de 2004, na EQA de Entrecampos (Azul) e SNIF (vermelho), com indicação da direcção predominante do vento.

As concentrações registadas estão abaixo do valor-limite horário para o NO_2 (260µg/m^3), sendo que as concentrações obtidas na EQA são tendencialmente superiores às verificadas no SNIF. Como já foi aqui referido, relativamente a este poluente, verificou-se uma boa correlação entre os valores naqueles dois pontos de amostragem, o que poderá decorrer da sua proximidade, e do mesmo tipo de contribuição.

Os dados obtidos permitem aliás constatar tratar-se o NO_2, do conjunto dos poluentes medidos, aquele que melhor explica o comportamento do tráfego, sobretudo durante a segunda semana de campanha. Nesse sentido, apresentam-se, na Figura 22, as concentrações obtidas em simultâneo na EQA e SNIF, com a indicação dos quantitativos de tráfego medidos no único sistema de contagem existente na zona, com a contabilização dos veículos que circulam de Norte para Sul, na Av. da República para o Saldanha, antes do Campo Pequeno, relativas às duas quartas-feiras da

campanha. Foram escolhidos estes dias por serem habitualmente os dias da semana mais típicos no que concerne ao padrão de tráfego, sem a influência da proximidade do fim de semana.

A análise da evolução temporal das concentrações de NO_2, mostra uma clara influência do tráfego, no dia 27, e vai de encontro aos valores de correlação apresentados mais à frente, que permitem concluir que a localização do SNIF durante a segunda semana da campanha, responde melhor às variações horárias dos quantitativos de tráfego.

No que respeita ao padrão diário de concentração deste poluente, verificam-se tipicamente valores mais elevados durante as "horas de ponta" da manhã e ao final da tarde, sendo de realçar que, em termos médios, os valores obtidos na EQA são mais elevados do que os registados no SNIF, ao contrário do que sucede com as PM_{10} e CO. Este facto poderá resultar do SNIF se encontrar a uma menor distância da via de tráfego do que a EQA: sendo o NO_2 um produto secundário resultante das emissões automóveis (que libertam primariamente o NO), a menor distância do local de medição em relação aos tubos de escape induz menor número de reacções de formação de NO_2 a partir do poluente primário.

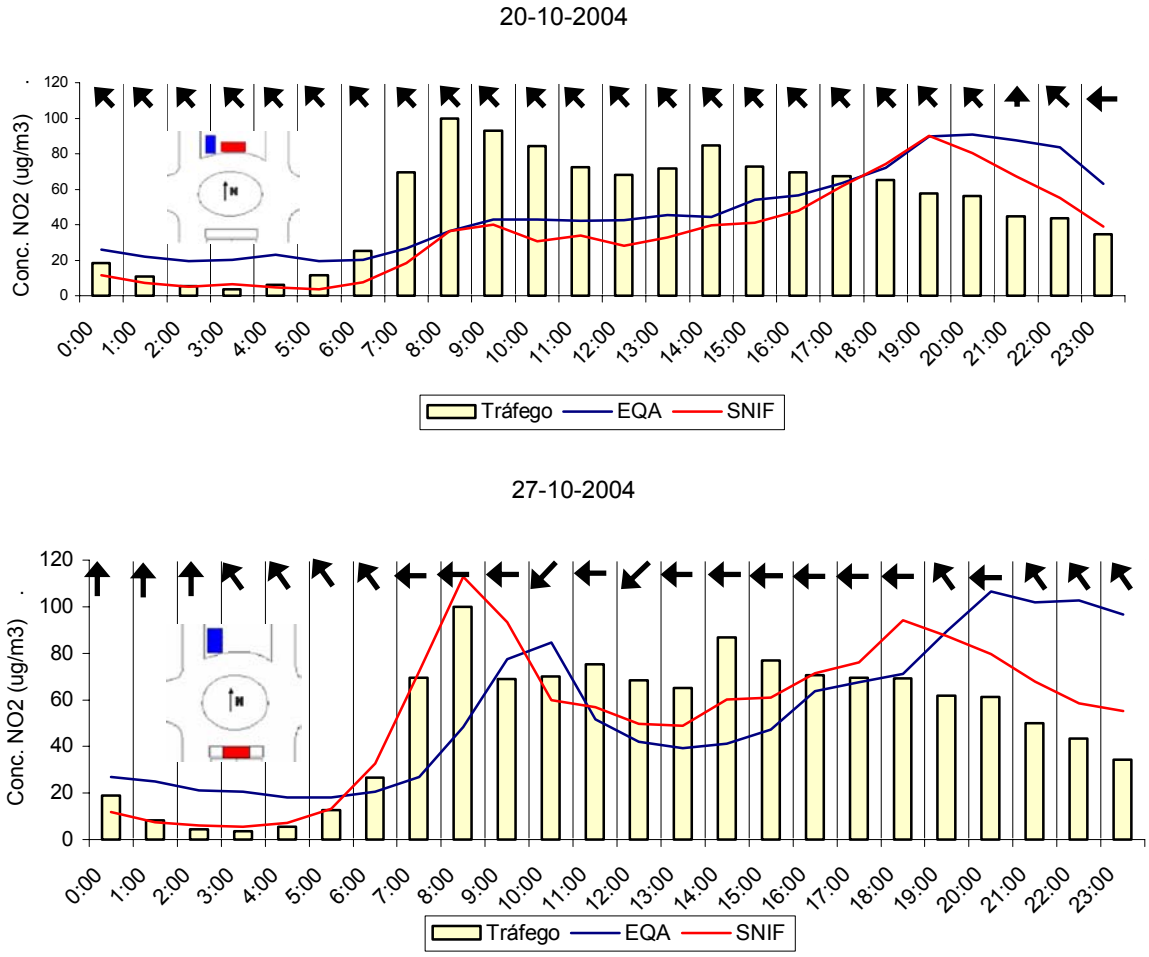


Figura 22 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de NO_2 obtidos em 20-10-2004 (cima) e 27-10-2004 (baixo) na EQA de Entrecampos e SNIF e evolução dos quantitativos médios horários de tráfego (%). As figuras indicam a direcção do vento predominante numa base horária e a localização da EQA (azul), e SNIF (vermelho).

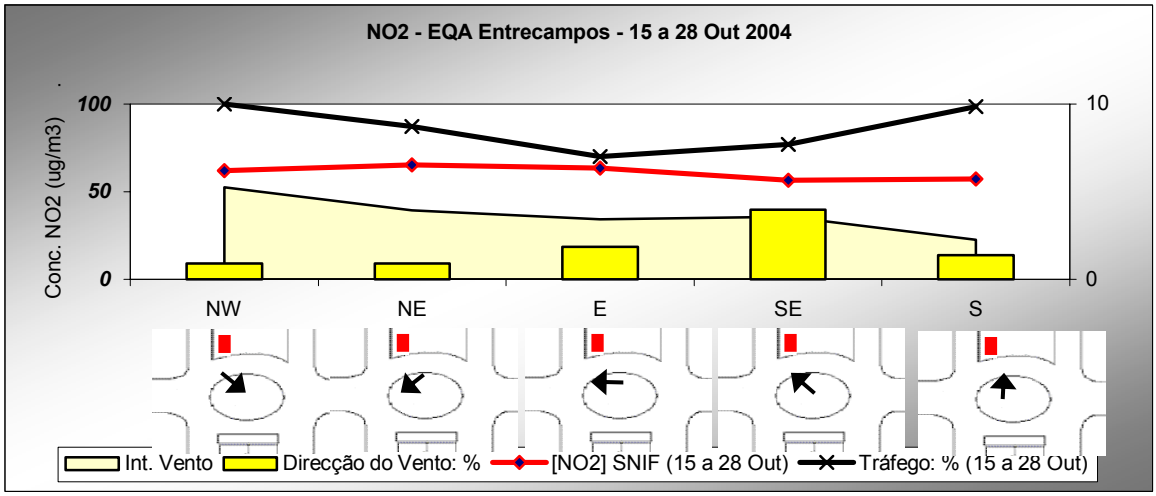


Figura 23 – Valores médios de NO_2 obtidos entre 15 e 28 de Outubro de 2004, na EQA de Entrecampos, em função da direcção do vento; indicação da predominância de cada direcção do vento, e a relação média dos quantitativos de tráfego verificados para cada direcção de vento, expressa em percentagem.

A Figura 23 apresenta os valores de concentração média horária de NO_2 obtidos na estação de qualidade do ar de Entrecampos, diferenciando-os em função do rumo do vento, salientando-se, contudo, que se trata de um poluente secundário, dependente em larga medida da presença de certos compostos e reacções da química urbana, e não só da direcção do vento.

De facto, os processos de transporte e dispersão não são os únicos factores que determinam a relação entre as fontes de emissão e as concentrações no ar ambiente. Numa escala urbana, designadamente ao nível de uma avenida ladeada por edifícios altos, apenas as reações químicas mais rápidas podem ter uma influência significativa nos processos de transformação que lá ocorrem, devido às curtas distâncias existentes entre a fonte emissora e o receptor.

No entanto, este tipo de análise adquire importância, se se pretender averiguar a resposta existente para os valores de concentração de NO_2 (por ter sido o poluente melhor correlacionado com o tráfego, no âmbito do presente estudo, e por ser também, segundo Berkowicz (2000) aquele que é considerado, actualmente, o poluente que melhor relaciona o impacte de tráfego com a saúde humana), em relação às variações dos quantitativos de tráfego, tendo especialmente em conta que se trata de uma estação de qualidade do ar urbana de tráfego. Por questões de validade estatística, as orientações do vento de N, SW e W, não vão ser aqui consideradas por terem sido pouco frequentes durante aquele periodo (menos de 10% no total), e consequentemente os valores de concentração a elas associadas ocorrerem em número reduzido. A Figura 23, apresenta a predominância percentual das restantes direcções do vento.

Refira-se que a referência à percentagem de tráfego se fez em relação ao maior número médio de veículos, registado para cada direcção de vento, pelo que de acordo com o período de análise em causa, apenas ocorre um valor de 100%, neste caso, para a direcção de NW, sendo os restantes uma fracção deste.

Da análise da Figura 23 é possível verificar os seguintes aspectos:

- de uma forma geral, os valores de concentração média horária quase não diferem com a alteração da direcção do vento, o que pode sugerir uma elevada complexidade de movimento de massas de ar locais, dependente dos edifícios e obstáculos existentes nas imediações à rotunda de Entrecampos, bem como a contribuição de várias vias de tráfego situadas segundo orientações diversas. No entanto, trata-se de uma constatação que carece do conhecimento sobre o comportamento dos dados de direcção do vento locais, face aos medidos no aeroporto da Portela;

- não é perceptível qualquer evidência clara que os valores de concentração de NO_2 variem de acordo os respectivos quantitativos médios de tráfego registados para cada direcção de vento, ao contrário do que seria expectável para o tipo de estação em causa.

Segue-se o mesmo tipo de análise, agora efectuada apenas com os resultados de concentração registados para o mesmo poluente, durante a segunda semana (22 a 28 de Outubro), precisamente os que obtiveram um maior valor de coeficiente de correlação, quando comparados com os quantitativos de tráfego.

Da análise da Figura 24 é possível verificar os seguintes aspectos:

- os valores de concentração média horária de NO_2 não diferem significativamente com a direcção do vento; de facto, o posicionamento do SNIF durante este período sofre múltiplas influências praticamente em todos os quadrantes:
    - a rotunda de Entrecampos e a Av. das Forças Armadas a NW;
    - a rotunda e a Avenida Estados Unidos da América a NE;
    - a contribuição do trânsito que vem da Avenida da República afectado pelo semáforo ali existente, a Este;
    - a influência do trânsito que circula no túnel e ainda da Av. da República no sentido Sul- Norte, a SE;
    - por fim, o tráfego que circula no túnel, de Sul;
- ao contrário do que sucedia com os resultados obtidos na estação de qualidade do ar, é agora perceptível a evidência da relação entre os valores de concentração de NO_2 e os respectivos quantitativos de tráfego, registados em média para cada direcção de vento. É de salientar, no entanto, que esta clara melhoria em termos de relação entre a concentração de NO_2 e tráfego deve ter em atenção o facto de não existirem contagens de veículos mais fiáveis no conjunto das vias de tráfego localizadas na envolvente à rotunda de Entrecampos;
- face aos resultados existentes, disponibilizados pela CML, e aos dados de qualidade do ar medidos, conclui-se que os objectivos inerentes à escolha da localização de uma estação de tráfego obtêm neste local uma resposta mais efectiva do que a localização da actual EQA.

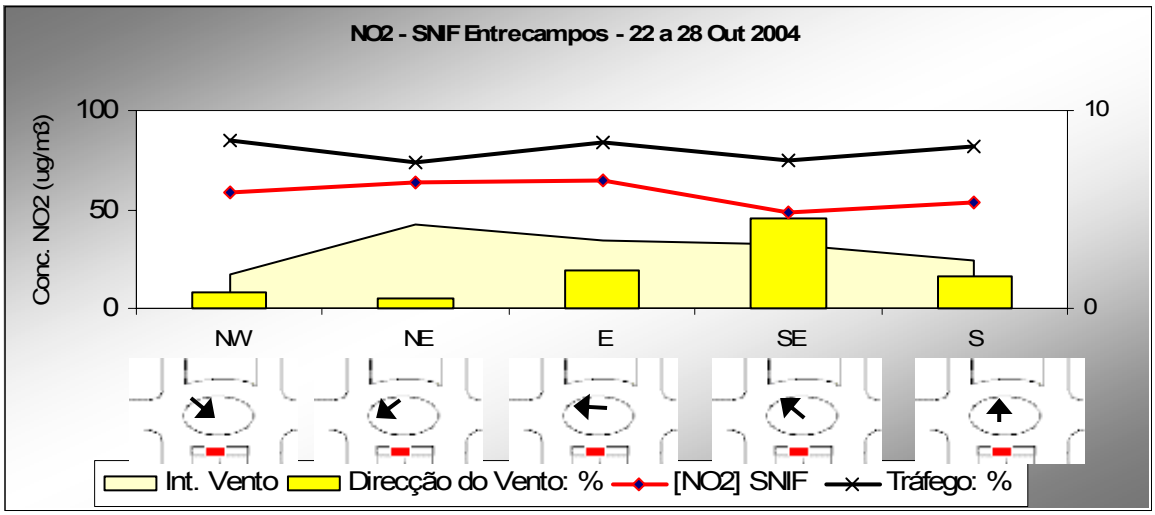


Figura 24 – Valores médios de NO_2 obtidos entre 22 e 28 de Outubro de 2004, na SNIF de Entrecampos, em função da direcção do vento; indicação da predominância de cada direcção do vento, e a relação média dos quantitativos de tráfego verificados para cada direcção de vento, expressa em percentagem.

Tendo o NO_2 sido o parâmetro melhor correlacionado com o tráfego automóvel, como se constatou na Tabela 10, de acordo com os dados de concentração para os vários poluentes em estudo (NO_2, NO, CO e PM_{10}) e com os dados de tráfego, pode agora ser estabelecida uma correlação aceitável entre os valores médios das concentrações nas estações de tráfego e de fundo.

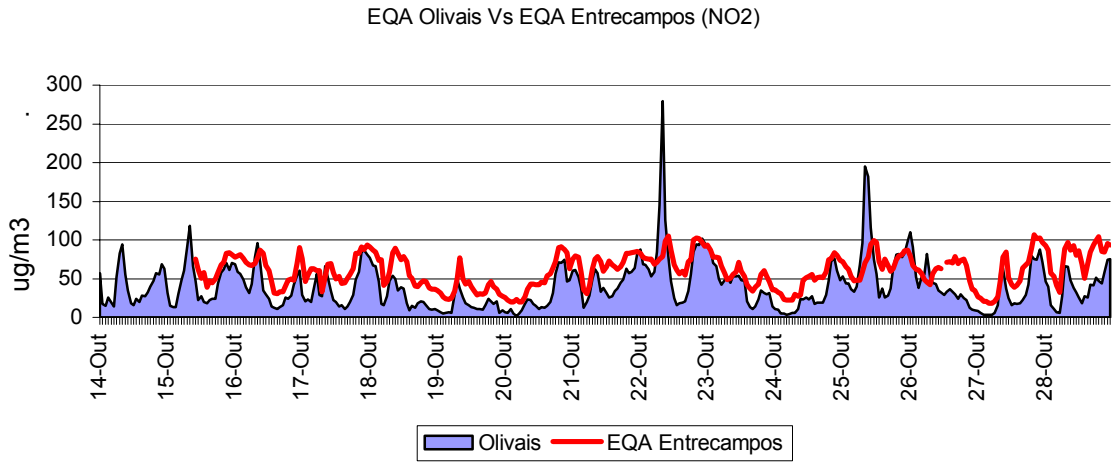


Figura 25 – Evolução temporal dos valores médios horários de concentração de NO_2 (µg/m³) nas Estações de Monitorização da Qualidade do Ar de Entrecampos (estação de tráfego) e dos Olivais (estação urbana de fundo).

As concentrações de NO_2 registadas são superiores perante a influência do tráfego em relação aos níveis de fundo, sendo essa diferença mais acentuada entre as EQA de Loures e Entrecampos.

Tabela 11 – Valores médios de concentração de NO_2, e respectivos desvios-padrão, referentes às medições no SNIF e das EQA de Entrecampos, Loures e Olivais, entre 15 e 28 de Outubro de 2004. O n corresponde ao número de valores médios válidos.

	Tipo de Estação	Concentração média NO_2	Desvio padrão	n
EQA Loures	Urbana de fundo	34,2	19,3	282
EQA Olivais	Urbana de fundo	40,1	31,4	326
EQA Entrecampos	Urbana de tráfego	60,6	21,6	325
SNIF Entrecampos	Unidade Móvel	48,4	23,7	324

Tabela 12 – Valores dos coeficientes de correlação de Pearson (r), para valores de "p" <0,05, entre os (n) valores médios de concentração de NO_2 relativos ao SNIF e às EQA de Entrecampos, Loures e Olivais, entre 15 e 28 de Outubro de 2004.

		r	N
EQA Entrecampos	SNIF Entrecampos	0,711	323
EQA Entrecampos	EQA Olivais	0,679	325
SNIF Entrecampos	EQA Olivais	0,666	324
SNIF Entrecampos	EQA Loures	0,637	280
EQA Entrecampos	EQA Loures	0,626	281
EQA Olivais	EQA Loures	0,491	282

4.4.2. Monóxido de Carbono

A medição de CO ocorreu durante as duas semanas de campanha, na EQA e SNIF, sendo que, como já foi referido, a unidade móvel permaneceu no lado Norte, entre 15 e 21 de Outubro e do lado Sul da rotunda de Entrecampos, entre 22 e 28 de Outubro de 2004.

Quanto ao cumprimento das normas nacionais, em concreto o estipulado no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, verificou-se que o valor limite relativo à média octo-horária (10mg/m^3), não foi excedido por nenhuma ocasião.

As concentrações de CO registadas apresentam mesmo valores muito baixos, afastando-se do valor-limite octo-horário legislado, não contribuindo, desta forma, para um impacte negativo na qualidade do ar na zona envolvente.

Tal como referido anteriormente, as concentrações de CO estão associadas às emissões do tráfego automóvel. Desta forma, observa-se um padrão diário de concentração deste poluente dependente da intensidade do tráfego automóvel, verificando-se valores mais elevados ao início da manhã e ao final da tarde; acresce que o pico observado durante o período da tarde é mais prolongado.

É ainda de realçar que os valores obtidos no SNIF são mais elevados do que os registados na EQA durante a maior parte do dia, invertendo-se tipicamente a situação ao final da tarde. Esta situação é

mais visível na segunda semana de campanha, quando a influência do tráfego é mais significativa; de facto, a dinâmica do trânsito local indica uma maior concentração de veículos no sentido Norte-Sul, de manhã, e no sentido Sul-Norte ao final da tarde, correspondente à flutuação típica de entrada e saída de veículos na cidade de Lisboa.

Deste modo, parece evidente que a maior proximidade de um ponto de amostragem em relação à respectiva zona de influência do tráfego automóvel (Norte-Sul ou Sul-Norte) determina que a representatividade dos resultados deve ser entendida de forma local.

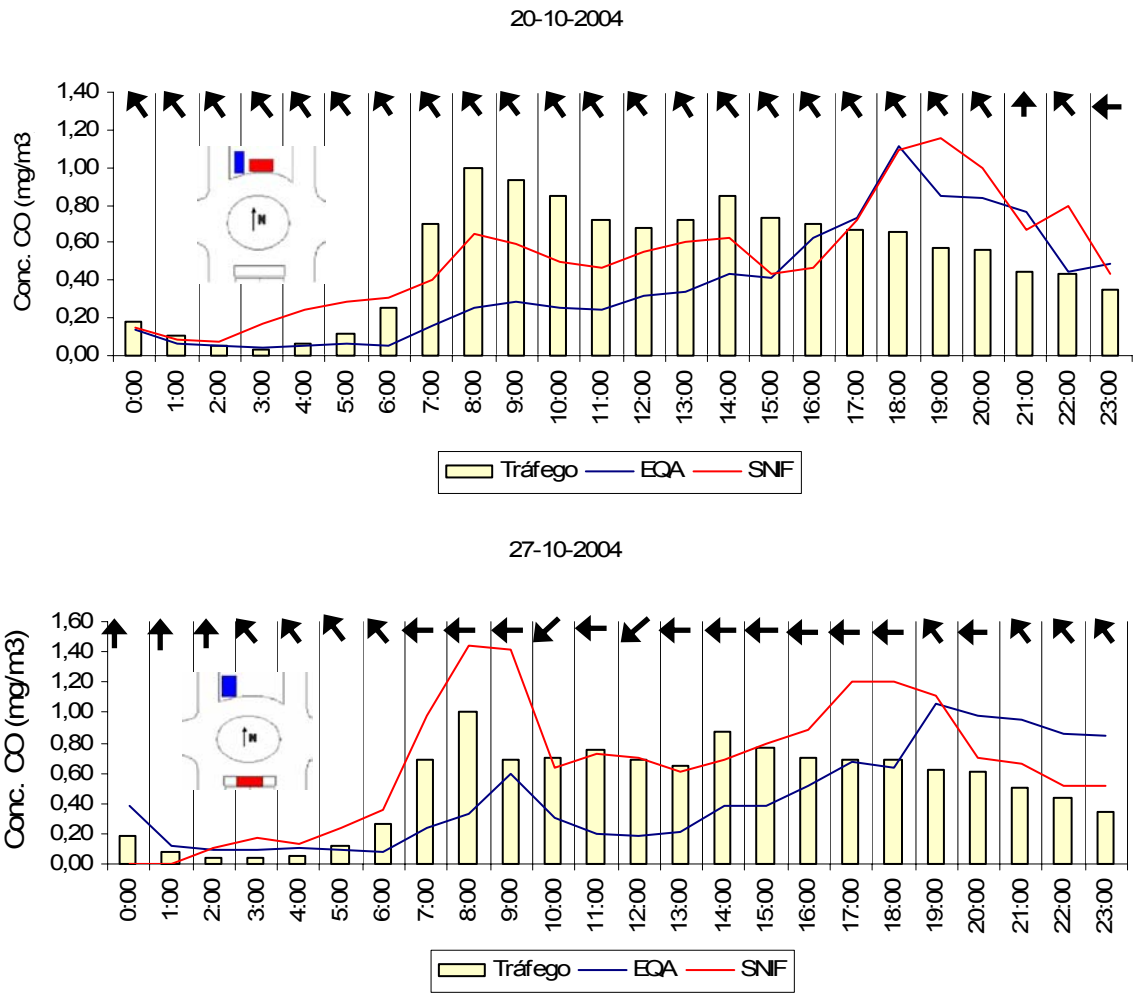


Figura 26 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de CO obtidos em 20 de Outubro (cima) e 27 de Outubro de 2004 (baixo), na EQA de Entrecampos e SNIF, e a evolução dos quantitativos médios horários de tráfego (%). As figuras indicam a direcção do vento predominante numa base horária, e a localização da EQA (azul), e SNIF (vermelho).

4.4.3. Partículas: PM_{10}

As concentrações médias diárias obtidas, foram comparadas com o valor-limite diário em vigor para o ano 2004, ou seja 55 µg/m^3. A Tabela 13 resume os valores médios e máximos registados para cada semana de campanha, e os respectivos desvios-padrão, relativos às medições efectuadas na EQA de Entrecampos e no SNIF.

Tabela 13 – Comparação com a legislação, dos valores médios diários relativos às medições de PM_{10} efectuadas na EQA de Entrecampos e no SNIF, para cada semana de campanha.

	EQA		SNIF	
	15-21Out	22-28Out	15-21Out	22-28Out
N.º dias de amostragem válidos	6	7	6	7
N.º Excedências ao VL diário (55µg/m^3)	1	1	0	6
% de dias em excedência	17	14	0	86
Máximo diário (µg/ m^3)	56,5 ± 11,7	62 ± 25,3	76 ± 16,3	77,8 ± 13,9
Média diária (µg/ m^3)	34,9 ± 16,0	44,0 ± 23,2	43,9 ± 21,7	61,1 ± 22,7

Como se pode verificar pela Tabela 13, seis dos sete valores médios diários de PM_{10} obtidos pelo SNIF excedem os VL+MT (55µg/m^3) na segunda semana de campanha, tendo sido este ponto de amostragem o que registou uma maior percentagem de excedências (cerca de 86%), entre os pontos da 1ª semana de campanha e da EQA na 2ª semana. Tendo em conta que, de acordo com a legislação, o número de excedências permitido é de 35 dias por ano, representando menos de 10% dos dias do ano, e que durante o período de campanha não ocorreram quaisquer alterações visíveis de tráfego, obras ou outro tipo de influência, pode concluir-se, a partir dos resultados apresentados, que caso a EQA de Entrecampos se localizasse naquele ponto, o número de excedências seria muito superior, bem como os valores médios registados.

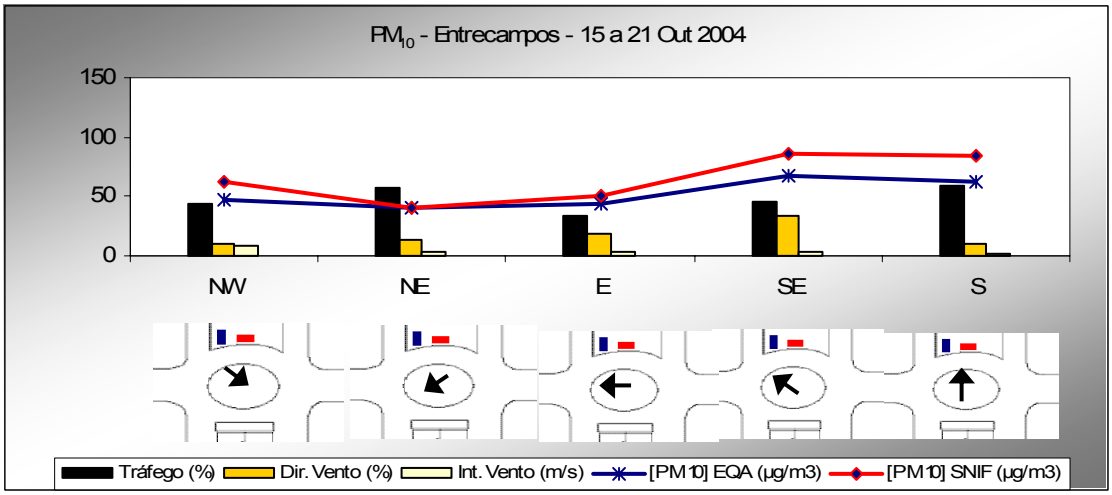


Figura 27 – Valores médios de PM_{10} obtidos entre 15 e 21 de Outubro de 2004, na EQA de Entrecampos e SNIF, em função da direcção do vento. Indicação (em %) da predominância de cada direcção do vento, e da relação média dos quantitativos de tráfego observados para cada direcção e intensidade do vento (m/s).

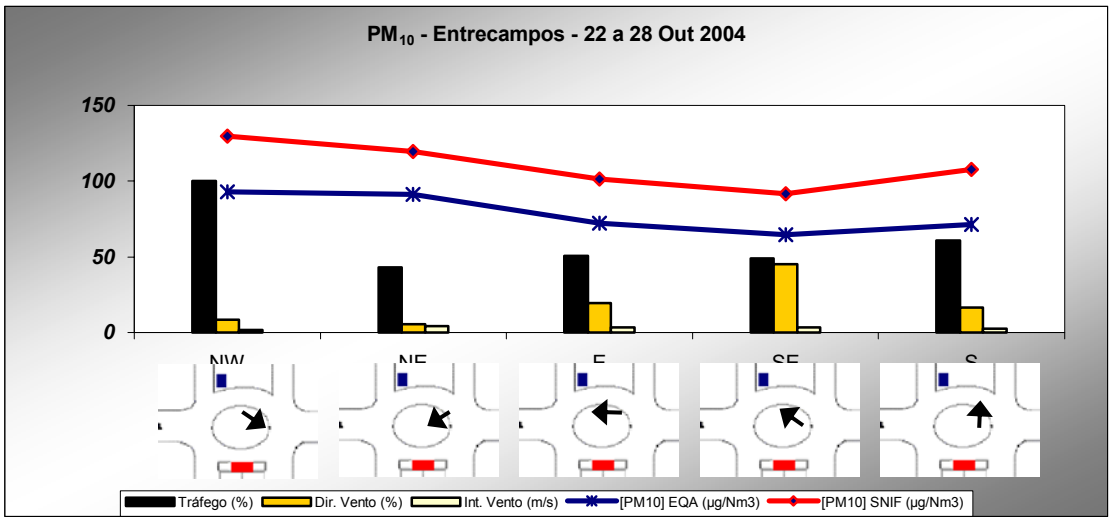


Figura 28 – Valores médios de PM_{10} obtidos entre 22 e 28 de Outubro de 2004, na EQA de Entrecampos e SNIF, em função da direcção do vento. Indicação (em %) da predominância de cada direcção do vento, e a relação média dos quantitativos de tráfego observados para cada direcção e intensidade do vento (m/s).

As Figuras 27 e 28 apresentam para cada direcção do vento:

- os resultados médios horários obtidos na EQA e SNIF;
- a percentagem de ocorrência de cada direcção do vento e respectivo valor de intensidade do vento (m/s);
- a relação (em percentagem) entre os valores médios horários de tráfego, tomando em conta que o maior valor médio horário registado para uma determinada direcção do vento representa 100%.

Refira-se que a presente campanha decorreu num período durante o qual as cinco orientações do vento, expressas nas referidas figuras, representaram cerca de 90% das horas de medição, tendo as restantes 3 orientações (Norte, Oeste e Noroeste) tido uma ocorrência rara, pelo que os valores de concentração associados foram escassos e, consequentemente, as respectivas médias sujeitas a erros muito grandes, que poderiam desta forma dificultar a análise dos restantes resultados.

Assim, a análise dos resultados de concentração obtidos associados às orientações de vento predominantes, permitem seguramente obter respostas sobre o grau de exposição de um ponto de amostragem. São então de referir os seguintes aspectos:

- entre a primeira e a segunda semanas de campanha não ocorreram variações significativas da predominância da direcção do vento;
- o SNIF localizou-se, em qualquer das duas semanas, sob exposição mais directa ao tráfego, a cerca de 6 metros do eixo da primeira faixa de rodagem (1ªsemana) e numa passagem pedonal sob forte influência do tráfego da rotunda de Entrecampos, a cerca de 8 metros do eixo da primeira faixa de rodagem e sob exposição próxima do túnel de Entrecampos, junto do muro superior do mesmo, a Sul (2ªsemana);
- desta forma, seria natural verificarem-se as maiores concentrações de PM_{10} no SNIF em relação à EQA, à excepção da direcção de vento de Nordeste, na 1ªsemana, na qual se registaram níveis de concentração idênticos (entre a EQA e SNIF), sendo de realçar que dessa direcção provêm massas de ar da entrada Norte do túnel de Entrecampos, e essencialmente da área arborizada que se estende de Entrecampos até ao Campo Grande, sendo o tipo de exposição ao tráfego idêntica, pelo é expectável menor contribuição de poluentes atmosféricos com origem nos veículos automóveis;
- a localização próxima do SNIF e EQA durante a 1ª semana, dificilmente poderia resultar numa evidência clara sobre a influência do rumo do vento nos resultados de concentração do poluente;
- no entanto, durante as duas semanas, os valores de concentração mais elevados correspondem a orientações do vento favoráveis ao escoamento das massas de ar das zonas de tráfego mais críticas em direcção aos pontos de amostragem: na 1ª semana o SNIF registou em média valores superiores para rumos de vento de SE e S; na 2ª semana,

num ponto exactamente contrário da rotunda de Entrecampos, os maiores valores foram obtidos para direcções de vento de NW e NE.

No sentido de melhor compreender alguns picos de concentração verificados em Entrecampos, durante o período de campanha, procedeu-se à sua comparação com os valores médios horários de concentração de PM_{10} registados na estação urbana de fundo dos Olivais (Figura 29).

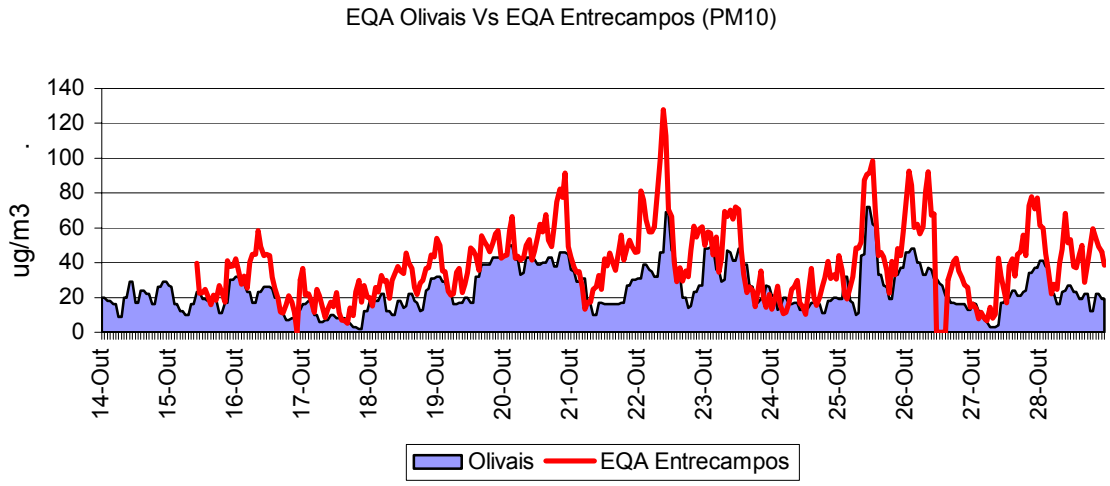


Figura 29 – Evolução temporal dos valores médios horários de concentração de PM_{10} (µg/m³) nas Estações de Monitorização da Qualidade do Ar de Entrecampos (estação de tráfego) e dos Olivais (estação urbana de fundo).

Desta forma, é perceptível o contributo da poluição de fundo nos valores obtidos quer na EQA de Entrecampos quer na Unidade Móvel de monitorização de qualidade do ar (SNIF). Da análise daqueles resultados, é claramente visível que aos aumentos de concentração registados nos Olivais e Loures correspondem subidas em ordem de grandeza idêntica na EQA de Entrecampos e SNIF; tal poderá indicar que a contribuição para os quantitativos totais de PM_{10} colhidos na estação de tráfego de Entrecampos é repartida entre a poluição de fundo existente e a afectação do tráfego e de outras fontes locais. Para melhor tentar explicar a medida da proporcionalidade referida, foi aplicada a correlação de Pearson aos resultados do SNIF e das EQA de Entrecampos, Loures e Olivais, tendo sido obtidos os resultados constantes na Tabela 15.

Tabela 14 –Valores médios de concentração de PM_{10}, e respectivos desvios-padrão, referentes às medições no SNIF e das EQA de Entrecampos, Loures e Olivais, entre 15 e 28 de Outubro de 2004. O n corresponde ao número de valores médios válidos.

Estação	Tipo	Concentração média PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Desvio padrão ($\mu g/m^3$)	n
EQA Loures	Urbana de fundo	23,2	14,3	318
EQA Olivais	Urbana de fundo	25,2	13,1	326
EQA Entrecampos	Urbana de tráfego	39,6	20,5	321
SNIF Entrecampos	Unidade Móvel	53,0	23,8	318

Tabela 15 – valores dos coeficientes de correlação de Pearson (r), para valores de "p" < 0,05, entre os (n) valores médios de concentração de PM_{10} relativos ao SNIF e às EQA de Entrecampos, Loures e Olivais, entre 15 e 28 de Outubro de 2004.

Estação	Estação	*r*	n
EQA Entrecampos	SNIF Entrecampos	0,822	313
SNIF Entrecampos	EQA Olivais	0,751	318
EQA Entrecampos	EQA Olivais	0,748	321
EQA Olivais	EQA Loures	0,712	318
SNIF Entrecampos	EQA Loures	0,657	315
EQA Entrecampos	EQA Loures	0,621	313

Tendo em conta que os valores dos coeficientes de correlação obtidos são aceitáveis (considerando um grau de confiança de 95%), sobretudo entre as medições de Entrecampos e as dos Olivais, é crível que alguns picos de concentração medidos em Entrecampos resultem da contribuição dos níveis de poluição de fundo existentes.

Por outro lado, os valores médios de concentração registados indicam que o SNIF mediu em média o dobro das concentrações de PM_{10} em relação aos valores de fundo dos Olivais e de Loures; por seu turno, a EQA de Entrecampos mediu em média cerca de 50% a mais. Estas diferenças explicam aceitavelmente, a contribuição atribuída directamente ao tráfego rodoviário existente em Entrecampos, pelo que a partir daqui, interessa perceber em que grau essa influência existe, sobretudo através da explicação das variações de intensidade e direcção do vento, bem como os quantitativos de tráfego e a sua a variação ao longo do dia.

5. CAMPANHA DE QUALIDADE DO AR NA AVENIDA DA LIBERDADE

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos na campanha de monitorização da qualidade do ar, realizada entre 16 e 21 de Maio de 2004, colocando o SNIF em dois pontos de medição próximos à EQA da Avenida da Liberdade.

Os resultados obtidos na presente campanha foram comparados com os valores-limite legalmente estipulados, tendo sido dado um especial enfoque à observância dos critérios que norteiam a selecção da localização de estações de tráfego.

Com o mesmo propósito, foi ainda aplicado o modelo FLUENT, do tipo Computação da Dinêmica de Fluídos (CFD), e definido um domínio centrado naquela zona da avenida, para o estudo das condições de dispersão de PM_{10} influenciadas pelo tráfego automóvel.

5.1. Metodologia

A prossecução da campanha de monitorização da qualidade do ar envolveu os recursos referidos no ponto 4.1 do presente trabalho. Mostram-se na Figura 30, as fotos do SNIF e da EQA da Avenida da Liberdade para os quais são apresentados resultados.

Figura 30: Unidade móvel de qualidade do ar: SNIF Air Lab (esquerda) e EQA da Av. Liberdade (direita).

Os resultados obtidos foram comparados com a legislação em vigor em durante a campanha em causa, isto é, 2004, tendo em conta as bases temporais diferentes de comparação (horária, octo-horária, diária), consoante os poluentes em análise: CO, NO, NO_2 e PM_{10}.

Procedeu-se ainda à análise das médias e desvios-padrão de cada grupo de valores (poluentes), por dia e período de campanha, e à análise correlacional daqueles dados.

A reprodutibilidade dos resultados de concentração dos poluentes analisados, em relação aos quantitativos de tráfego contabilizados naquela Avenida, é apresentada de modo gráfico, segundo as orientações do vento predominantes.

Refira-se que os quantitativos de tráfego foram disponibilizados pelo Departamento de Segurança Rodoviária e Tráfego da Câmara Municipal de Lisboa, e são relativos aos dados fornecidos por quatro sistemas de contagem automática, que registam o número de veículos em circulação ascendente e descendente entre o Marquês de Pombal e os Restauradores, na via principal da Avenida da Liberdade, bem como os veículos que circulam em cada sentido na faixa dos transportes públicos.

Os procedimentos preparatórios que possibilitaram a realização da campanha com a unidade móvel de qualidade do ar (SNIF) já foram descritos no capítulo 4 e envolveram, de forma sucinta, o abastecimento contínuo de energia eléctrica, fornecida a partir de candeeiros públicos (colaboração da Divisão de Iluminação Pública da Câmara Municipal de Lisboa), a autorização para a permanência da Unidade Móvel em via pública (Divisão Municipal de Ambiente Urbano e da Divisão de Gestão de Circulação e Estacionamento, ambas da Câmara Municipal de Lisboa) e, por último, o conhecimento dado à Polícia de Segurança Pública, no sentido de se obter a vigilância do equipamento.

Foi aplicado um factor de correcção de 1,18 aos resultados obtidos para PM_{10} no SNIF (método automático por radiação β), correspondente ao valor encontrado para a equivalência ao método de referência (método gravimétrico), para estações de tráfego.

5.2. Selecção e caracterização dos locais de medição

Os pontos de amostragem localizaram-se transversalmente à Avenida (Figura 31), no sentido de caracterizar adequadamente o perfil de poluição no local de implantação da EQA no corredor pedonal Este da Av. Liberdade:

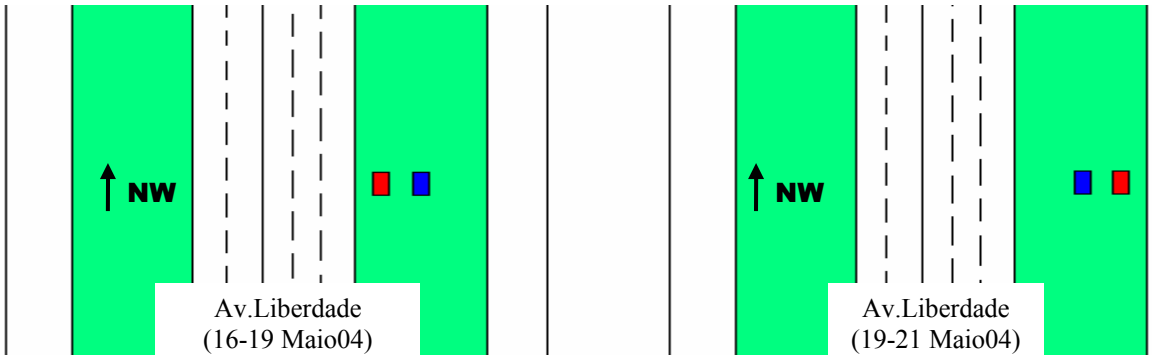


Figura 31 – Diagrama da localização do SNIF (quadrado preenchido a cor vermelha) e EQA (azul) na Avenida da Liberdade, no período compreendido entre as 15 horas de dia 16 e as 9 horas de 19 de Maio (à esquerda), e entre as 15 horas de dia 19 e as 9 horas de 21 de Maio de 2004 (à direita).

Os diagramas da Figura 31, mostram que os pontos de amostragem se encontravam próximos da EQA, sendo desta forma possível:

- determinar melhor a representatividade local dos resultados da EQA;
- avaliar a distribuição transversal dos poluentes ao longo do corredor pedonal da zona de implantação da EQA;
- avaliar o tipo de exposição da população às concentrações dos poluentes provenientes das vias de tráfego adjacentes;
- perceber melhor o modo de escoamento dos poluentes face a uma "barreira" de árvores que percorre longitudinalmente toda a avenida,

impossibilitando-se, contudo, o conhecimento da qualidade do ar existente na área envolvente, uma vez que não foi possível utilizar o SNIF noutras zonas da Avenida.

A envolvência aos pontos de amostragem, a sua localização e direcção, e os períodos de campanha, são facilmente identificados através da Figura 32.

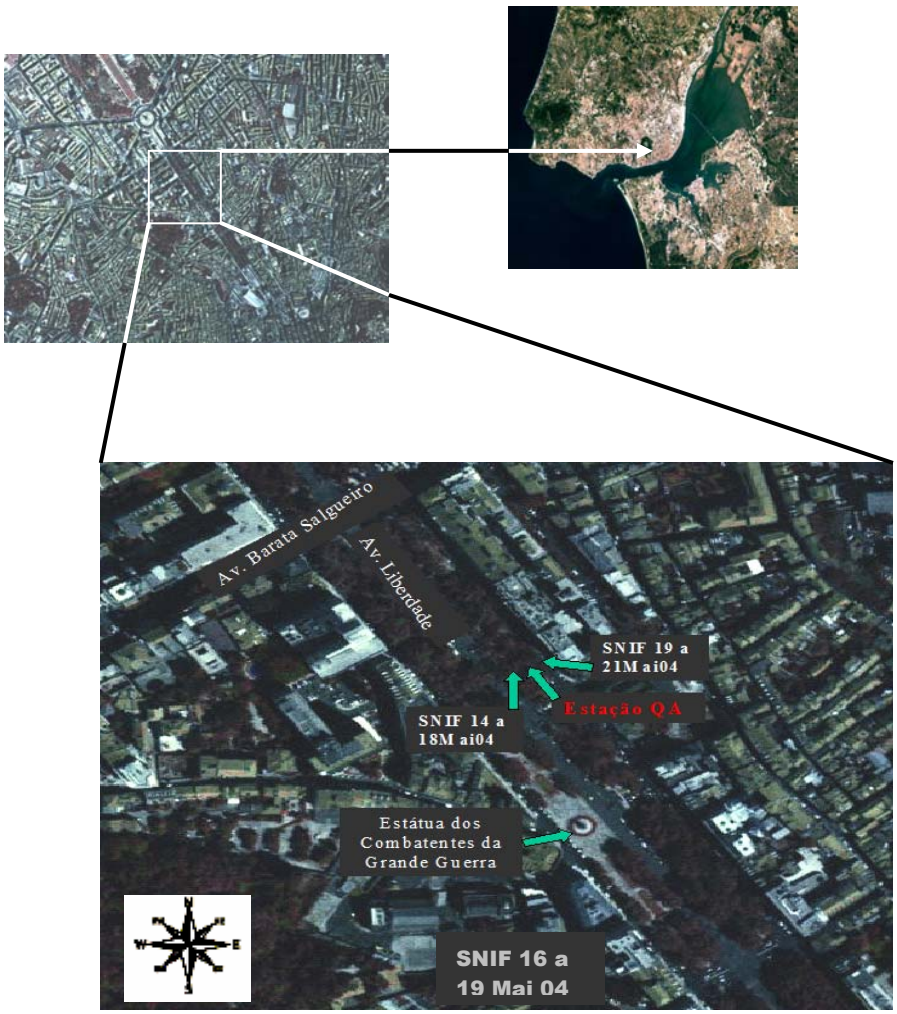


Figura 32 – Ortofotomapas de Lisboa (em cima à direita) e zona da Avenida da Liberdade, entre o Marquês de Pombal e os Restauradores, com a localização dos pontos de amostragem, e respectivos períodos de medição, indicação da localização da EQA de Entrecampos e principais vias de tráfego adjacentes.

Aquela artéria de tráfego possui uma via central com cinco faixas de rodagem, três no sentido ascendente e duas no descendente, ladeada por corredores pedonais arborizados. A separar estes corredores das edificaçõese existem outras duas vias laterais secundárias, uma em cada sentido, ascendente e descendente.

5.3. Dados Meteorológicos

São apresentados os dados dos parâmetros meteorológicos medidos a 10 metros de altura,relativos aos dias da campanha de qualidade do ar, obtidos na estação meteorológica do Instituto de Meteorologia, localizada no aeroporto de Lisboa. A distância do local de medição relativamente à área de estudo, e em particular as diferentes características topográfiicas das duas zonas, é um aspecto a ter necessariamente presente na análise dos resultados.

Na Figura 33, apresenta-se uma síntese dos valores médios diários dos parâmetros temperatura, precipitação e intensidade do vento, medidos entre 16 e 21 de Maio de 2004.

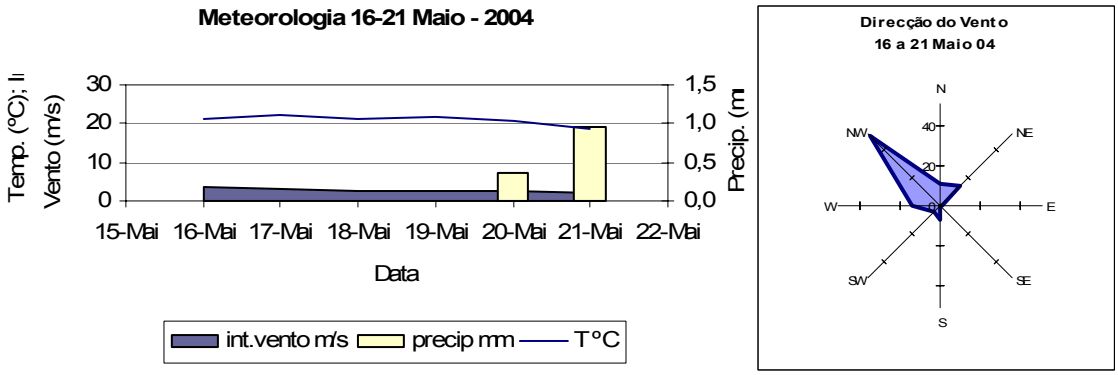


Figura 33 – Evolução temporal dos valores médios diários de intensidade de vento ($m.s^{-1}$), de quantidade de precipitação (mm) e de temperatura (ºC), entre 16 e 21 de Maio de 2004, parâmetros medidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa (esquerda); rosa-dos-ventos com as respectivas orientações médias horárias do vento (direita).

Como é possível observar, os valores de intensidade do vento e temperatura do ar não sofreram alterações significativas. Por seu turno, constata-se a existência de precipitação, embora moderada, nos dias 20 e 21 de Maio, podendo este facto influenciar as concentrações dos poluentes naqueles dias.

Relativamente aos dados horários de direcção do vento entre 16 e 21 de Outubro de 2004, estão distribuídos da seguinte forma: NW: 49 %; N: 11%; NE: 14% e W: 14%, e a soma das restantes orientações (SW, S, SE e E): 12%.

5.4. Apresentação e análise dos resultados

Os resultados obtidos foram comparados com a legislação em vigor em 2004, para os valores de aplicação (Valores Limite - VL e/ou VL + Margem de Tolerância - MT), nas bases temporais (horárias, octo-horárias, diária) estipuladas para os poluentes em análise.

Tabela 16 – Períodos de medição de PM_{10}, CO, NO_2, NO, segundo o local de amostragem do SNIF.

		Ponto de medição 1	Ponto de medição 2
PM_{10}	Início	16 Maio 15:00	19 Maio 15:00
	Fim	19 Maio 09:00	21 Maio 09:00
CO	Início	16 Maio 15:00	19 Maio 15:00
	Fim	19 Maio 09:00	21 Maio 09:00
NO_2	Início		19 Maio 15:00
	Fim		21 Maio 09:00
NO	Início		19 Maio 15:00
	Fim		21 Maio 09:00

Uma vez que ocorreu uma avaria do equipamento de medição de NOx do SNIF durante o 1º período da campanha, a presente análise não contempla aquele poluente entre 16 e 19 de Maio.
Os dados obtidos nas medições efectuadas foram posteriormente sujeitos a tratamento estatístico, através do qual se procedeu à análise das médias e desvios-padrão de cada grupo de valores (poluentes) por dia ou período de campanha. Foi igualmente efectuada a análise correlacional, já operada para os resultados de Entrecampos (V. capítulo 4), de cada grupo de valores de concentração dos poluentes e quantitativos de tráfego, através do teste de correlação produto-momento de *Pearson.*

De seguida são apresentados os gráficos com os valores de concentração dos poluentes medidos, em escala e base temporal comparáveis com os valores-limite estipulados no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril.

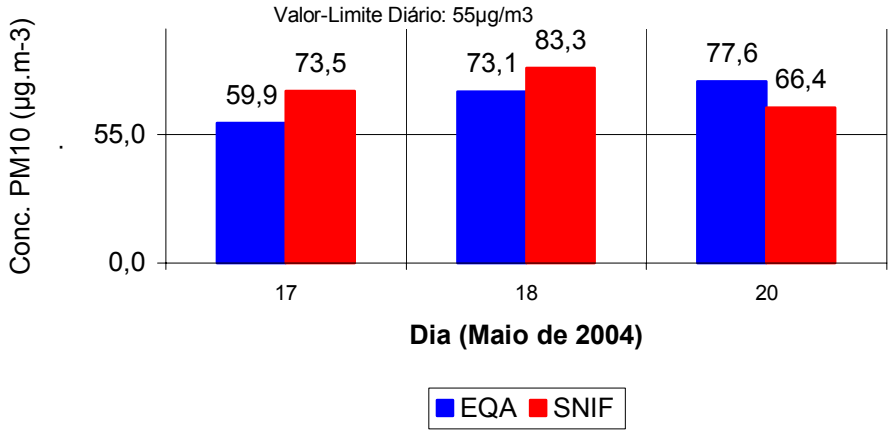


Figura 34 – Evolução das concentrações de PM_{10} obtidas na EQA e SNIF, em base temporal diária (17, 18 e 20 de Maio de 2004, Avenida da Liberdade).

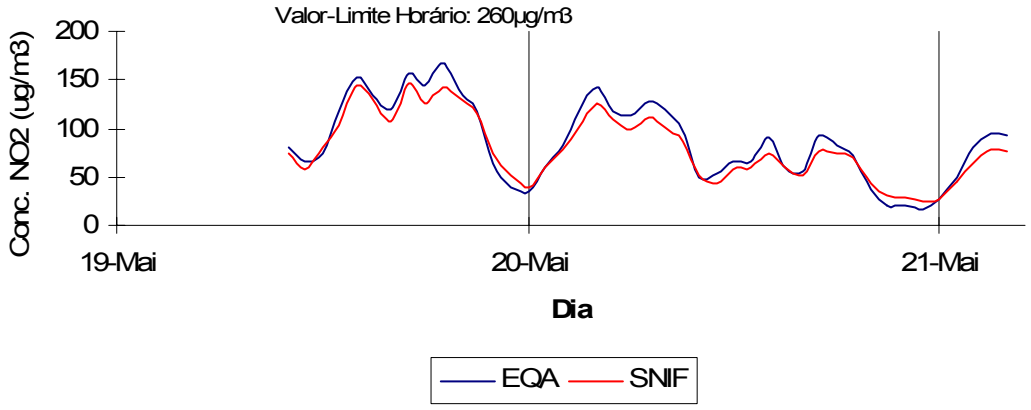


Figura 35 – Evolução das concentrações de NO_2 obtidas na EQA e SNIF, em base temporal horária (19 a 21 de Maio de 2004, Avenida da Liberdade).

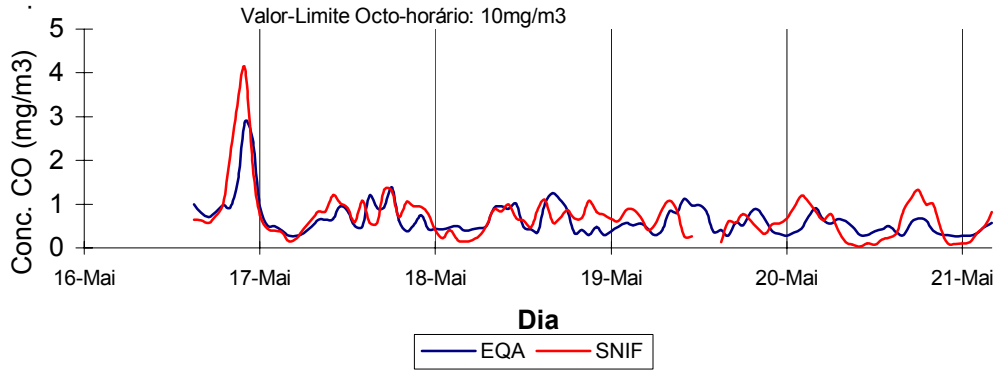


Figura 36 – Evolução das concentrações de CO obtidas na EQA e SNIF, em base temporal octo-horária (16 a 21 de Outubro de 2004, Avenida da Liberdade).

Os resultados apresentados de NO_2 e CO permitem verificar o cumprimento das normas relevantes, estipuladas no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, o mesmo não sucedendo a todos os valores médios diários registados para PM_{10}, medidos na EQA e SNIF, que excediam o VL+MT para 2004 (55 µg/m^3).

De seguida, apresentam-se os valores médios obtidos nos dois pontos de amostragem (16 a 19, e 19 a 21 de Maio de 2004), tendo em conta todos os valores médios horários de cada poluente. Assim, de acordo com as Figuras 37 e 38 são de realçar os seguintes aspectos:

- os poluentes NO e NO_2 não foram medidos no primeiro período da campanha devido a avaria do analisador;
- as concentrações dos poluentes medidos durante o primeiro período no SNIF registaram valores superiores aos obtidos na EQA. Tendo em conta a localização do SNIF durante este período, situado entre a via principal da Avenida da Liberdade e a EQA, e portanto sob maior influência do tráfego automóvel, estes valores mostram que a exposição da população aos poluentes pode estar a ser subdimensionada com a actual localização da EQA, podendo-se concluir que a desde já medíocre qualidade do ar daquele local pode em algumas zonas ser ainda pior;
- verifica-se precisamente o oposto durante o segundo período de medição, ou seja, os valores obtidos na EQA são sempre superiores aos do SNIF, salientando-se porém a diferença quase nula, no que respeita ao CO. Refira-se que durante o segundo período de medição, o SNIF se encontrava mais afastado do que a EQA da via principal da Avenida da Liberdade, sob menor exposição ao tráfego automóvel e à ressuspensão de partículas, o que de acordo com os resultados parece influenciar positivamente os valores obtidos.

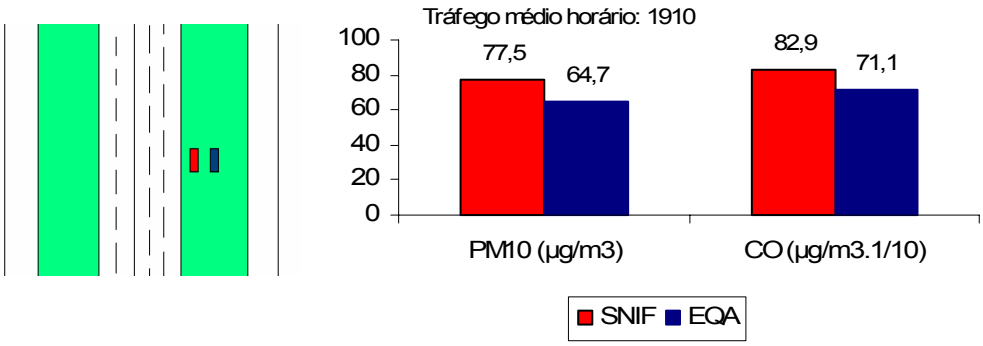


Figura 37 – Valores médios para o período de 16 a 19 de Maio, relativos aos valores médios horários das concentrações de PM_{10} e CO obtidas na EQA (no diagrama, representado a cor azul) e SNIF (vermelho); Indicação do tráfego médio horário, em número de veículos.

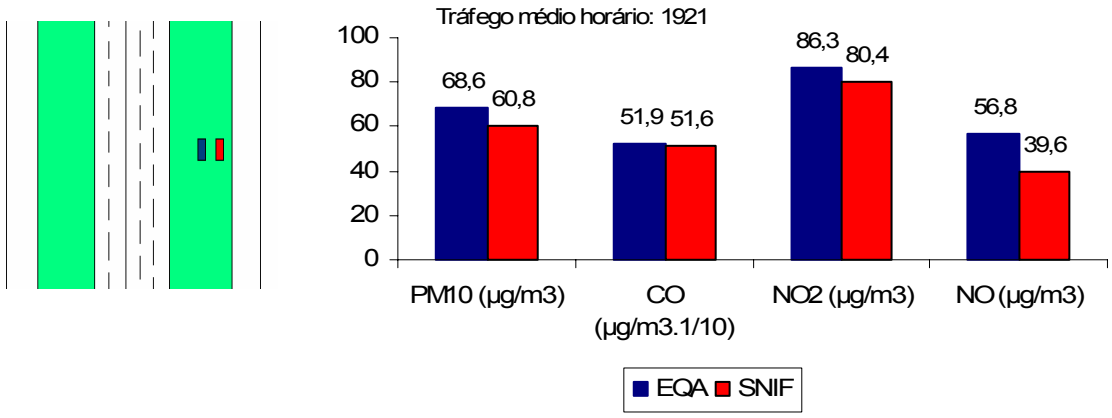


Figura 38 – Valores médios para o período de 19 a 21 de Maio, relativos aos valores médios horários das concentrações de PM_{10}, CO, NO_2 e NO, obtidas na EQA e SNIF; Indicação do tráfego médio horário, em número de veículos.

Foi efectuada a análise correlacional, entre os valores de concentração dos poluentes e quantitativos de tráfego, através do teste de correlação produto-momento de *Pearson*. A Tabela 17, apresenta os resultados dos coeficientes de correlação, entre os valores obtidos na EQA e SNIF, discriminando o período de campanha e os correspondentes valores de *p*. Relativamente a esses valores, há a salientar que os coeficientes de correlação mais elevados ocorrem para cada poluente, entre a EQA e SNIF. Salienta-se ainda que o NO_2 é o poluente que melhor responde às variações de tráfego, concretamente no 2º período de medição.

Por outro lado, no que respeita ao primeiro período de medição, uma vez que o NO_2 e o NO não foram aqui analisados, constata-se que, entre o CO e as PM_{10}, este último poluente é o que ainda assim se correlaciona, embora de forma ténue, com o tráfego.

Tabela 17 – valores dos coeficientes de correlação de Pearson (*r*), (*p* < 0,05), entre os valores médios de concentração obtidos para o NO_2, NO, PM_{10}, CO e quantidade de veículos, relativos ao SNIF e às EQA da Avenida da Liberdade, entre 16 e 19 de Maio de 2004 (valor de cima, em cada célula), e entre 19 e 21 de Maio (valor de baixo).

EQA / SNIF	NO_2	NO	PM_{10}	CO	TRAF
NO_2	**0,981**	0,597	0,658	0,493	0,393
NO	**0,705**	**0,973**	0,557	0,489	0,416
PM_{10}	0,619	0,516	**0,761** **0,865**	0,434	0,243 0,350
CO		0,469	0,420	**0,840** 0,414	
TRAF	0,474	0,383		0,303	1 1

5.4.1. Dióxido de Azoto

Os valores de concentração apresentados na Figura 35, dizem respeito à média das concentrações horárias de NO_2, registados na Avenida Liberdade, entre 19 e 21 de Maio de 2004, na EQA de Entrecampos e SNIF Air Lab. As concentrações estão abaixo do valor-limite horário para o NO_2 (260µg/m^3), sendo que as concentrações obtidas na EQA são ligeiramente superiores às verificadas no SNIF durante praticamente todo o dia, não o sendo nas horas em que se verificam menores valores de concentração, durante a madrugada. Ou seja, a EQA detém, durante este período, os maiores e os menores valores de concentração.

Tendo em conta que este poluente foi aquele que apresentou um valor de coeficiente de correlação de Pearson mais elevado, pode concluir-se, mais uma vez, que se trata do poluente que melhor explica o comportamento do tráfego, consubstanciando a conclusão tirada durante o capítulo 4.

Nesse sentido, apresentam-se na Figura 39 as concentrações obtidas em simultâneo na EQA e SNIF, com a indicação dos quantitativos de tráfego medidos cumulativamente nos quatro sistemas de contagem automática existentes na zona, com a contabilização dos veículos que circulam na via central da Avenida da Liberdade, em ambos os sentidos, incluindo as faixas dos transportes públicos. O dia escolhido é o único que contempla todas as horas do dia, para além de ter sido aquele para o qual se efectuaram as corridas através do modelo FLUENT, abordado mais à frente. Por outro lado, tratou-se de uma quinta-feira, sendo que aquela semana não contemplou qualquer dia de feriado, pelo que se aceita este dia como tendo os padrões habituais de tráfego.

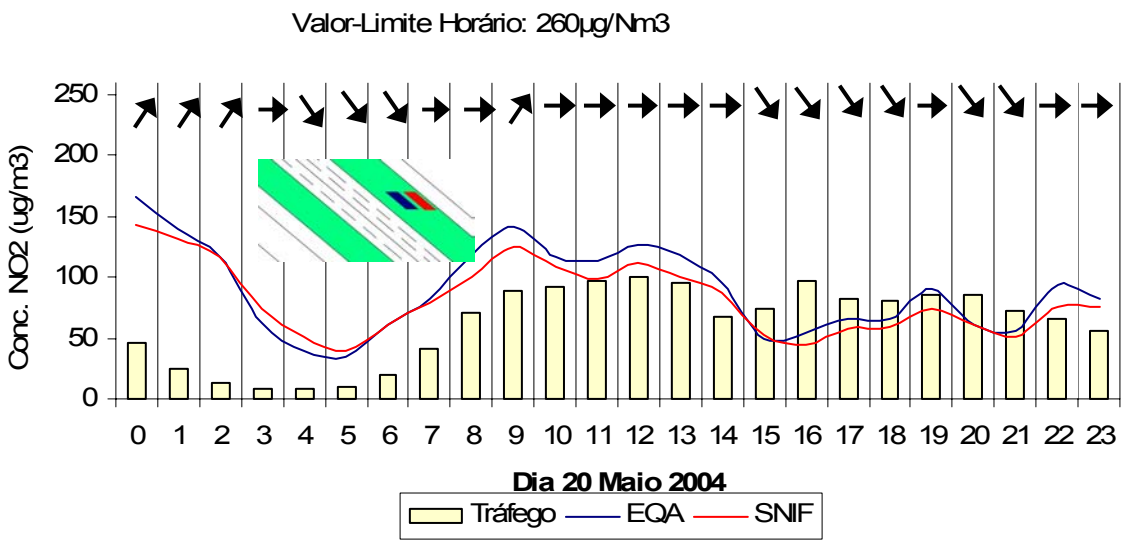


Figura 39 – Valores médios horários de NO_2 obtidos a 20-5-2004 na EQA (no diagrama representada a azul) e SNIF (vermelho), na Avenida da Liberdade, com indicação da direcção média do vento numa base horária e os quantitativos de tráfego (percentagem do maior valor horário, para este dia).

A análise da evolução temporal das concentrações de NO_2 mostra uma influência marcada do tráfego existente, na proporção dos coeficientes de correlação obtidos, que permitem concluir que a localização da EQA responde melhor do que a do SNIF (19 a 21 de Maio) às variações horárias dos quantitativos de tráfego.

No que respeita ao padrão diário de concentração deste poluente, verificam-se valores mais elevados durante a manhã e ao final da tarde. Refira-se que as primeiras horas do dia registaram concentrações bem mais elevadas do que as útimas horas deste dia (20 de Maio), sendo de salientar que este facto se terá ficado a dever à precipitação registada a partir das 21h, influenciando a remoção dos poluentes da atmosfera (deposição húmida).

Durante o capítulo 4, havia sido referido que poderia ser plausível a possibilidade de um amostrador de NO_2 se encontrar sob uma maior proximidade do tráfego do que um outro e registar menores concentrações deste poluente, pelo facto do NO_2 ser um produto secundário resultante das emissões automóveis (que libertam primariamente NO) e não mediar tempo suficiente para a sua formação a partir do poluente primário, no período que decorre entre a exaustão e o transporte até ao local de medição.

Contudo, os resultados da presente campanha mostram que os valores de NO_2, obtidos segundo uma maior distância ao tráfego automóvel da via principal da Avenida (SNIF, durante o 2º período de medição), foram em média inferiores aos teores de NO_2 registados na EQA, embora diferindo

uma escassa margem, seguindo aliás a tendência verificada, neste local, para os restantes poluentes.

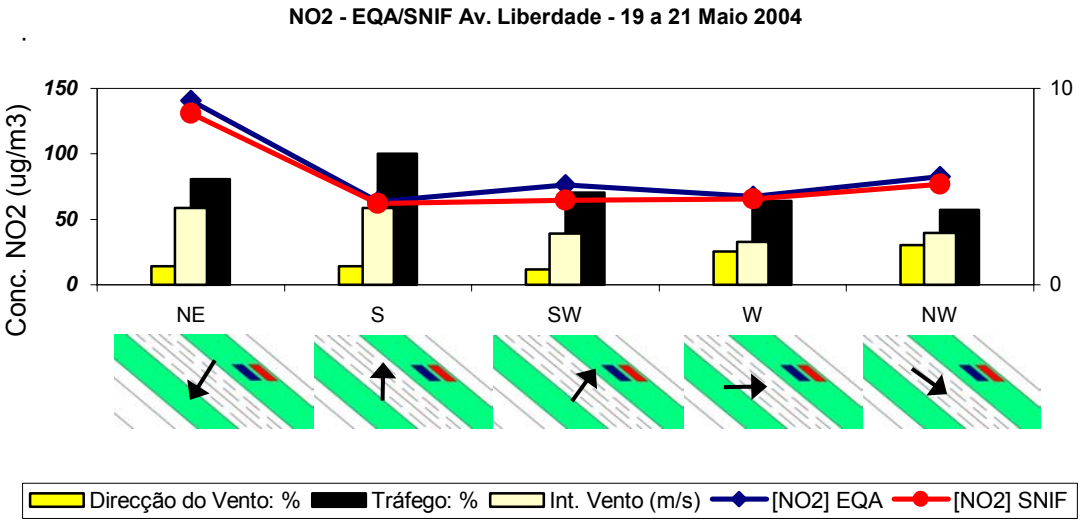


Figura 40 – Valores médios de NO_2 obtidos entre 19 e 21 de Maio de 2004, na EQA da Avenida da Liberdade e SNIF, em função da direcção do vento. Indicação da predominância de cada direcção do vento, e sua intensidade (m/s), e a relação média dos quantitativos de tráfego verificados para cada direcção de vento, expressas em percentagem.

A Figura 40 apresenta os valores de concentração média horária de NO_2 obtidos na EQA e SNIF, entre 19 e 21 de Maio de 2004, diferenciando-os em função do rumo do vento, salientando-se mais uma vez que, dado tratar-se de um poluente secundário, depende em larga medida da presença de certos compostos e reacções da química urbana, e não só da direcção do vento.

Refira-se ainda que o tipo de análise em causa teria naturalmente maior relevância estatística caso o período de amostragem tivesse sido mais alargado; nesse sentido, os valores de concentração obtidos para as direcções do vento de Norte, Sudeste e Este não foram aqui contemplados por terem representado apenas cerca de 5% do total de horas.

Assim, de acordo com os valores apresentados, pode ser concluído que, à excepção da direcção Nordeste, os valores quer da EQA quer do SNIF não registam diferenças significativas, ainda que ocorram variações dos quantitativos de tráfego. No que respeita à direcção Nordeste, os valores são muito superiores, reflectindo neste caso, as condições existentes ao final da tarde de dia 19, aquando da sua ocorrência; a título de exemplo, refira-se que no dia seguinte, naquelas mesmas horas, verificaram-se ventos de Sul/Sudoeste, tendo os resultados sido significativamente inferiores.

Atente-se que os parâmetros meteorológicos, especialmente a direcção e intensidade do vento devem ser aqui analisados com algum cuidado, uma vez que as medições foram efectuadas na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa e as condições de escoamento atmosférico existentes na Avenida da Liberdade podem não ser as mesmas. No entanto, tendo por base a simples constatação de que os valores de concentração de NO_2 são mais elevados para direcções de vento de Nordeste, seria ainda assim aceitável crer que o tráfego existente nas vias laterais, neste caso, no sentido ascendente da Avenida, contribui igualmente para a qualidade do ar local.

Refira-se que a percentagem de tráfego mencionada faz-se em relação ao maior número médio horário de veículos registado para cada direcção de vento, ocorrendo apenas um valor de 100%, sendo os restantes uma fracção deste.

No que concerne à resposta existente entre os valores de concentração de NO_2 e os quantitativos de tráfego (em percentagem), não é possível verificar, da observação da Figura 39, a validade do resultado da análise correlacional efectuada àquelas variáveis, ou seja, não é clara a relação entre as concentrações daquele poluente e o tráfego médio existente.

5.4.2. Monóxido de carbono

A medição de CO ocorreu durante os dois períodos de campanha, na EQA e SNIF, sendo que a unidade móvel permaneceu transversalmente mais próxima do que a EQA da via principal da Avenida da Liberdade, entre 16 e 19 de Maio de 2004, e na mesma linha transversal, mais afastada do que a EQA, entre 19 e 21 de Maio.

Da análise de todos os valores obtidos durante aqueles dois períodos, foi possível constatar o cumprimento confortável do valor limite relativo à média octo-horária (10mg/m^3), estipulado no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, pelo que, desta forma, se constata igualmente não existir um impacte negativo importante deste poluente na qualidade do ar local.

No que respeita ao padrão diário de concentração deste poluente, a Figura 41 mostra a evolução horária dos valores influenciada pela presença de tráfego automóvel, na medida em que registaram aumentos essencialmente durante a manhã e final da tarde; as variações existentes para o resto do dia, podem ser explicadas pela dinâmica do tráfego local, condições meteorológicas e condições de formação, dispersão e remoção do poluente à hora de almoço, apesar da redução ainda pouco

significativa do número de veículos, esta pode representar um acréscimo importante da velocidade média de circulação, e desta forma contribuir para uma redução da emissão de poluentes, nomeadamente de CO (Zickus e Greig, 2001); por outro lado, regista-se novo aumento, com um valor máximo por volta das 16horas (18 de Maio), correspondente a uma pequena subida do número de veículos, sendo de crer que se verifica a situação inversa da hora de almoço.

Verificam-se, contudo, valores abaixo do normal no dia 20 de Maio, durante a tarde, sobretudo medidos no SNIF, sendo que o regime de vento predominante de Sul e a direcção da via de tráfego em estudo fariam prever uma subida dos valores de concentração, pelo que é questionável o uso de dados, concretamente de intensidade e direcção do vento, provenientes de outro local que não o da própria medição, sobretudo em meio urbano onde ocorrem zonas de turbulência atmosféricas bastante localizadas.

Relativamente às diferenças observadas entre a EQA e SNIF, embora em termos médios os valores de concentração não tenham variado mais do que 2 a 3 % nestes dias, consubstanciando o já anteriormente referido, de que este poluente possa permanecer sem variações espaciais muito significativas (CO), existem entre os 2 períodos de campanha alguns aspectos que se salientam:

- a proximidade imediata da via de tráfego (1º período), pode representar pequenos incrementos médios do poluente (Fígura 37). É claramente visível a existência de maiores valores de CO na EQA, no dia 18 de manhã, ao que poderá corresponder uma maior intensidade de tráfego na via lateral do sentido ascendente da Avenida da Liberdade. A situação inverte-se ao final da tarde, quando ocorre um deslocamento de veículos em direcção à saída da cidade, provocando um maior congestionamento da faixa ascendente da via principal da Avenida, e consequentemente valores de CO superiores no ponto de amostragem mais próximo dessas faixas de rodagem (SNIF);
- o maior distanciamento do SNIF da via de tráfego principal (2º período), significou valores médios sensivelmente iguais aos verificados na EQA. Constata-se, contudo, que se registaram valores superiores de CO no SNIF, durante a manhã, e na EQA durante a tarde, sendo as razões apontadas as mesmas referidas no ponto anterior;
- a direcção do vento parece não influenciar decisivamente as concentrações de CO medidas, sendo provável que o mesmo pudesse suceder, caso os parâmetros meteorológicos tivessem sido medidos no próprio local de amostragem.

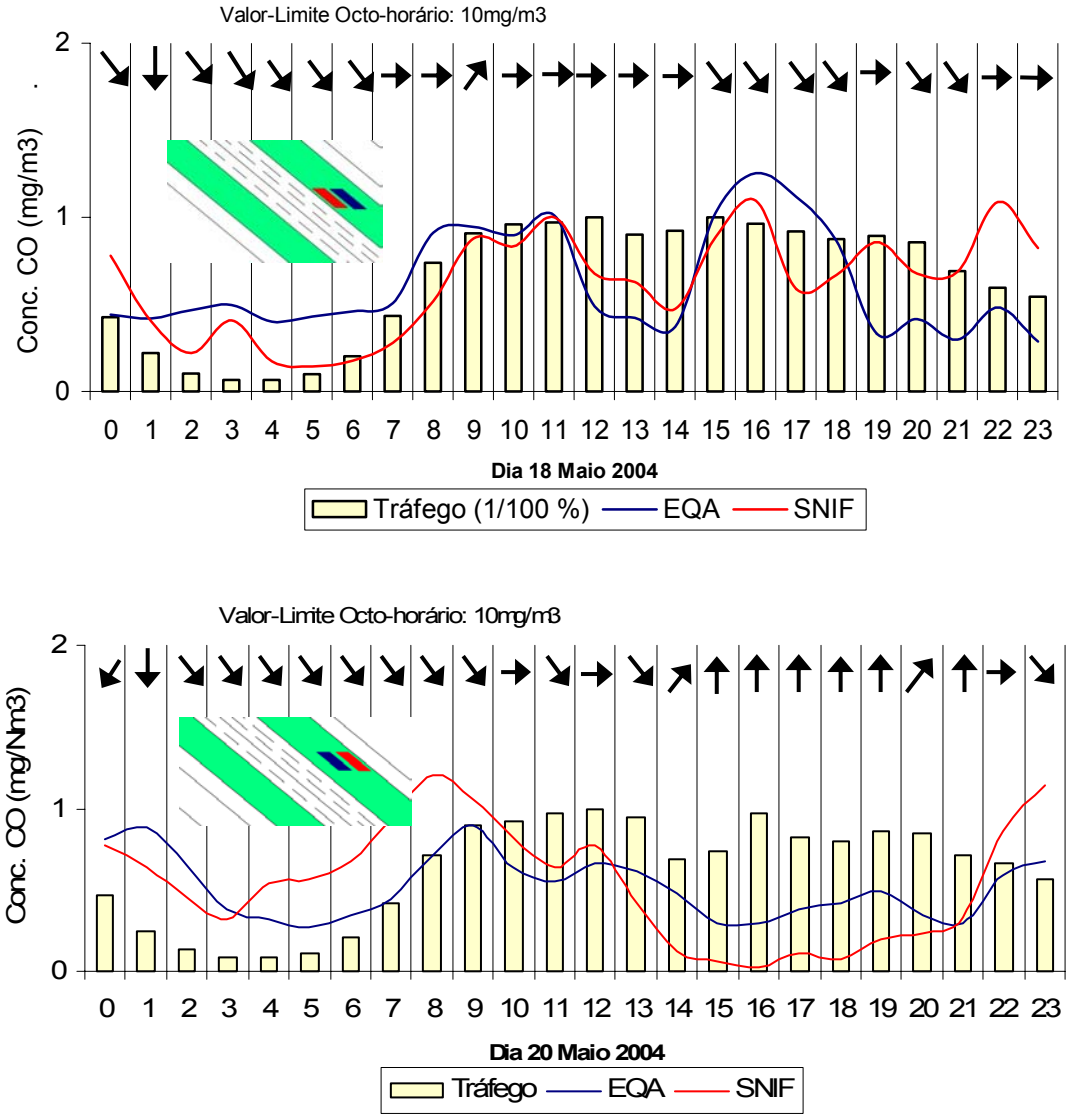


Figura 41 – Evolução temporal dos valores de concentração média octo-horária de CO obtidos em 18 de Maio (cima) e 20 de Maio de 2004 (baixo), na EQA da Avenida da Liberdade e SNIF, e evolução dos quantitativos médios horários de tráfego (10^{-2} %). As figuras indicam a direcção do vento predominante numa base horária e a localização da EQA (azul) e SNIF (vermelho).

Refira-se ainda que, tal como era expectável, os valores de concentração obtidos nas EQA da Avenida da Liberdade e Olivais (estação urbana de fundo), não reflectem uma relação próxima (Figura 42). No entanto, é de realçar que ocorreu nas últimas horas do dia 16 de Maio de 2004, uma subida anormal dos valores medidos quer na EQA da Avenida da Liberdade, quer no SNIF, que foi acompanhada por uma subida proporcional na EQA dos Olivais. No entanto, a estação urbana de fundo de Loures não registou qualquer alteração dos seus valores habituais (Figura 43), pelo que face às variações de direcção de vento e dos locais em questão, é improvável que tenha ocorrido qualquer episódio de poluição não antropogénica de CO. Por outro lado, nas últimas horas do dia 20

de Maio e primeiras do dia 21, ocorreu uma inversão dos valores obtidos na Avenida da Liberdade e nos Olivais, precisamente nas horas em que ocorreu precipitação, indiciando um processo de deposição húmida do poluente.

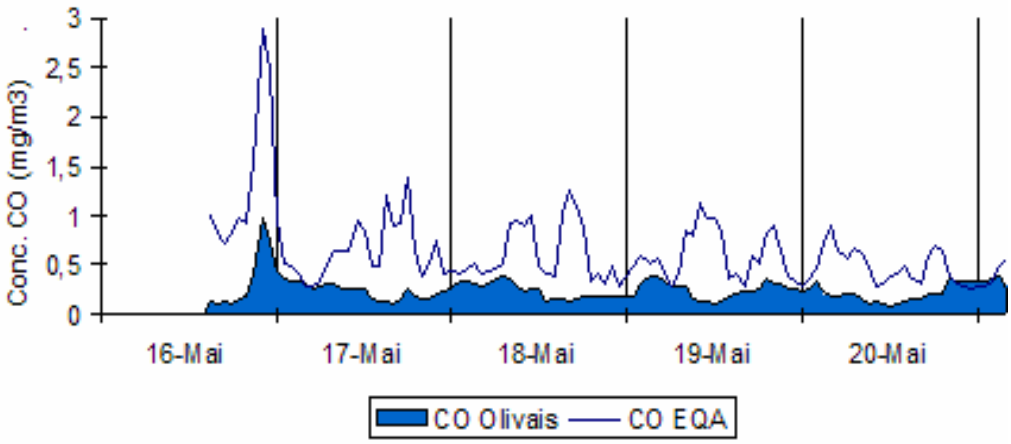


Figura 42 – Evolução temporal dos valores de concentração média octo-horária de CO obtidos entre 16 e 21 de Maio de 2004, na EQA da Avenida da Liberdade e dos Olivais (estação urbana de fundo).

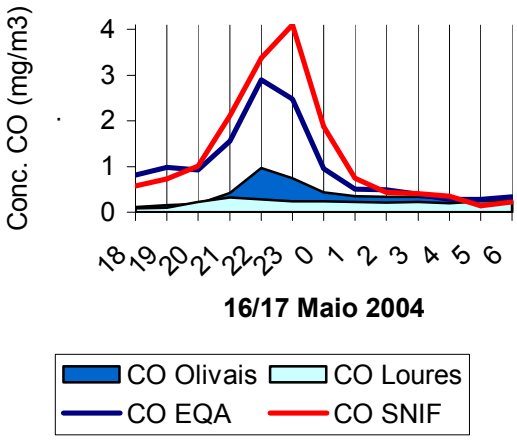


Figura 43 – Evolução temporal dos valores de concentração média octo-horária de CO obtidos entre as 18 horas do dia 16 de Maio de 2004 e as 6 horas de 17 de Maio, obtidos na EQA da Avenida da Liberdade, SNIF e nas EQA dos Olivais e Loures (estações urbanas de fundo).

5.4.3. Partículas (PM_{10})

As concentrações médias diárias relativas às medições efectuadas na EQA da Avenida da Liberdade e SNIF foram comparadas e apresentadas na Figura 34, sendo que o valor-limite diário em vigor para o ano 2004, ou seja 55 µg/m^3, foi sempre ultrapassado. É de referir que durante o período de campanha não ocorreram quaisquer alterações visíveis de tráfego, obras ou outro tipo de influência, que tenham induzido valores mais elevados; por outro lado, essa indução resultará mais dos níveis de fundo verificados, claramente identificados pela análise da Figura 44, na qual é perceptível que esta contribuição é decisiva para a obtenção de valores consistentemente superiores ao respectivo VL+MT. Deste modo, pode-se concluir que para além deste ser o poluente com impacte negativo mais significativo de entre os poluentes medidos, é também aquele que mais dificilmente terá de futuro valores dentro do legalmente permitido; de facto, dependendo dos níveis de poluição regional, qualquer medida local tomada como adequada no sentido da redução dos valores medidos na Avenida da Liberdade, como seja a restrição automóvel, se bem que necessária e compensadora, poderá ser insuficiente, tendo em conta o seu cumprimento legal.

De seguida, são apresentados os valores médios de concentração obtidos, em cada um dos períodos de amostragem, nas estações de qualidade do ar da Avenida da Liberdade, Olivais, Loures e SNIF (e respectivos desvios-padrão e número de valores válidos) (Tabela 18), e os coeficientes de correlação de Pearson entre cada grupo de valores (Tabela 19). A análise desses dados permite concluir que os registos dos níveis de fundo (Olivais e Loures) que melhor se correlacionam com os verificados na Avenida da Liberdade são os da EQA dos Olivais, que se comparam com os valores obtidos na EQA da Av. Liberdade (Figura 44).

Tabela 18 – valores médios de concentração de PM_{10} entre 16 e 19 de Maio de 2004 (valor de cima) e entre 19 e 21 de Maio (valor de baixo), relativos ao SNIF e às EQA da Avenida da Liberdade, Loures e Olivais, respectivos desvios-padrão e número de valores médios válidos (n).

Estação	Tipo	Concentração média PM_{10} (µg/m^3)	Desvio Padrão (µg/m^3)	N
EQA Av. Liberdade	Urbana de tráfego	64,7 68,6	20,7 20,0	67 43
SNIF Av. Liberdade	Unidade Móvel	76,0 60,8	25,0 15,9	67 43
EQA Olivais	Urbana de fundo	36,9 42,6	10,2 11,8	67 43
EQA Loures	Urbana de fundo	35,8 44,0	11,3 11,5	63 43

Tabela 19 – valores dos coeficientes de correlação de Pearson (r), para valores "p"<0,05, entre os (N) valores médios de concentração de PM_{10} relativos ao SNIF e às EQA da Avenida da Liberdade, Loures e Olivais, entre 16 e 19 de Maio de 2004 (valor de cima) e entre 19 e 21 de Maio (valor de baixo).

		r	n
EQA Av. Liberdade	SNIF Av. Liberdade	0,761 0,865	67 43
EQA Av. Liberdade	EQA Olivais	0,580 0,629	67 43
EQA Olivais	EQA Loures	0,497 0,577	63 43
EQA Av. Liberdade	EQA Loures	0,404 0,568	63 43
SNIF Av. Liberdade	EQA Loures	0,265 0,563	63 43
SNIF Av. Liberdade	EQA Olivais	0,278 0,533	67 43

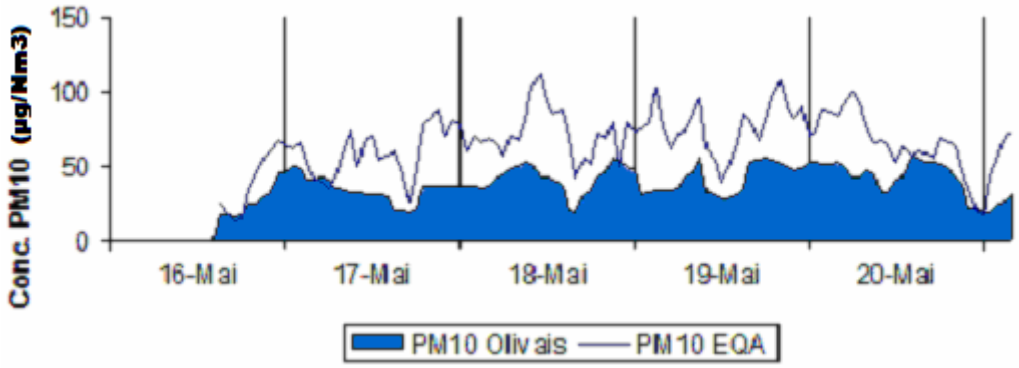


Figura 44 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de PM_{10} obtidos entre 16 e 21 de Maio de 2004 nas EQA da Avenida da Liberdade e dos Olivais (estação urbana de fundo).

Desta forma, é perceptível a contribuição da poluição de fundo nos valores obtidos essencialmente na EQA da Avenida da Liberdade. Da análise daqueles resultados, é claramente visível que aos aumentos de concentração registados nos Olivais correspondem subidas em ordem de grandeza idêntica na EQA da Avenida da Liberdade. **µ**

A análise da Tabela 18, relativa aos valores médios de concentração de PM_{10} obtidos, entre 16 e 21 de Maio de 2004 medidos no SNIF e nas EQA da Avenida da Liberdade, Loures e Olivais, permitiu verificar o seguinte:

- o acréscimo de concentração de poluente verificado no SNIF em relação aos níveis observados nas estações urbanas de fundo dos Olivais e Loures, foi muito superior durante o 1º período, o que revela maior exposição e influência do tráfego automóvel;

- em relação à EQA, ocorre também um acréscimo significativo, embora não tão marcado como no SNIF; tal poderá resultar do posicionamento intermédio de medição (entre os locais onde ficou a medir o SNIF nos 1º e 2º períodos de amostragem).

Por outro lado, por aplicação do modelo ICoD (Insular Coastal Dynamics), obtiveram-se indicações sobre a ocorrência de eventos naturais causadores de um empolamento anormal dos valores de partículas. A sua aplicação para o período da campanha, permitiu verificar que este fenómeno ocorreu de facto, em todos os dias, à excepção do dia 17-5-2004.

Apresentam-se a seguir dois exemplos elucidativos de saída do modelo, relativos aos dias 17 e 20-5-2004, correspondendo a um dia sem evento natural e outro com essa influência, remetendo-se os restantes para anexo.

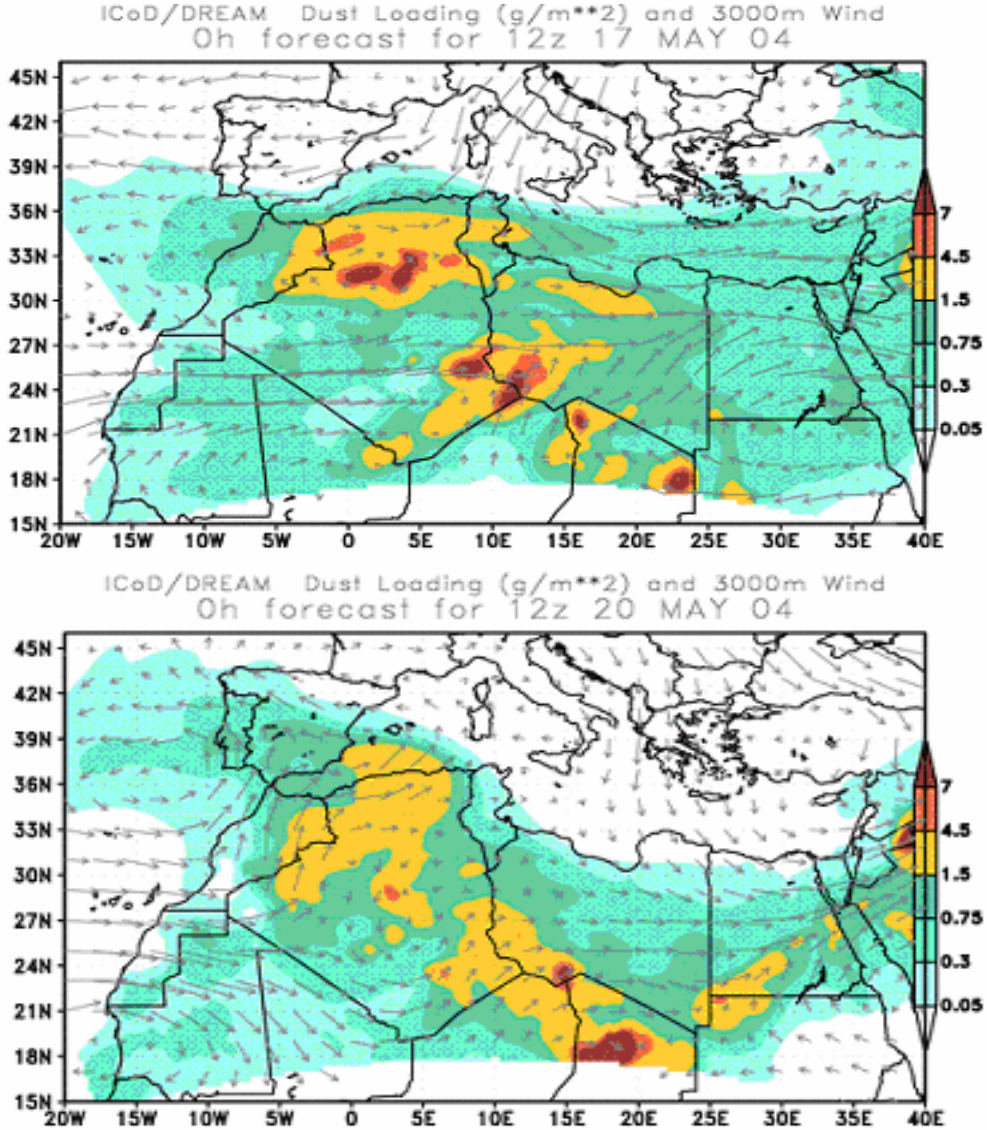


Figura 45 – Resultados da aplicação do modelo IcoD, com o índice de aerossóis para os dias 17-5-2004 (em cima) e 20-5-2004 (em baixo).

A Figura 46 apresenta, para cada direcção do vento, os resultados médios horários obtidos na EQA e SNIF, bem como a percentagem de ocorrência de cada direcção do vento, e respectivo valor de intensidade do vento (m/s), e a relação (em percentagem) entre os valores médios horários de tráfego, tomando em conta que o maior valor médio horário registado para uma determinada direcção do vento representa 100%.

Refira-se que a representatividade das cinco orientações do vento alvo de análise, foi de cerca de 97% das horas de medição do 1º período de amostragem e cerca de 88% durante o 2º período, tendo as restantes 3 orientações (Sudeste, Sudoeste e Este) tido uma ocorrência rara, pelo que os valores de concentração associados foram escassos, introduzindo desta forma um erro acrescido às respectivas médias.

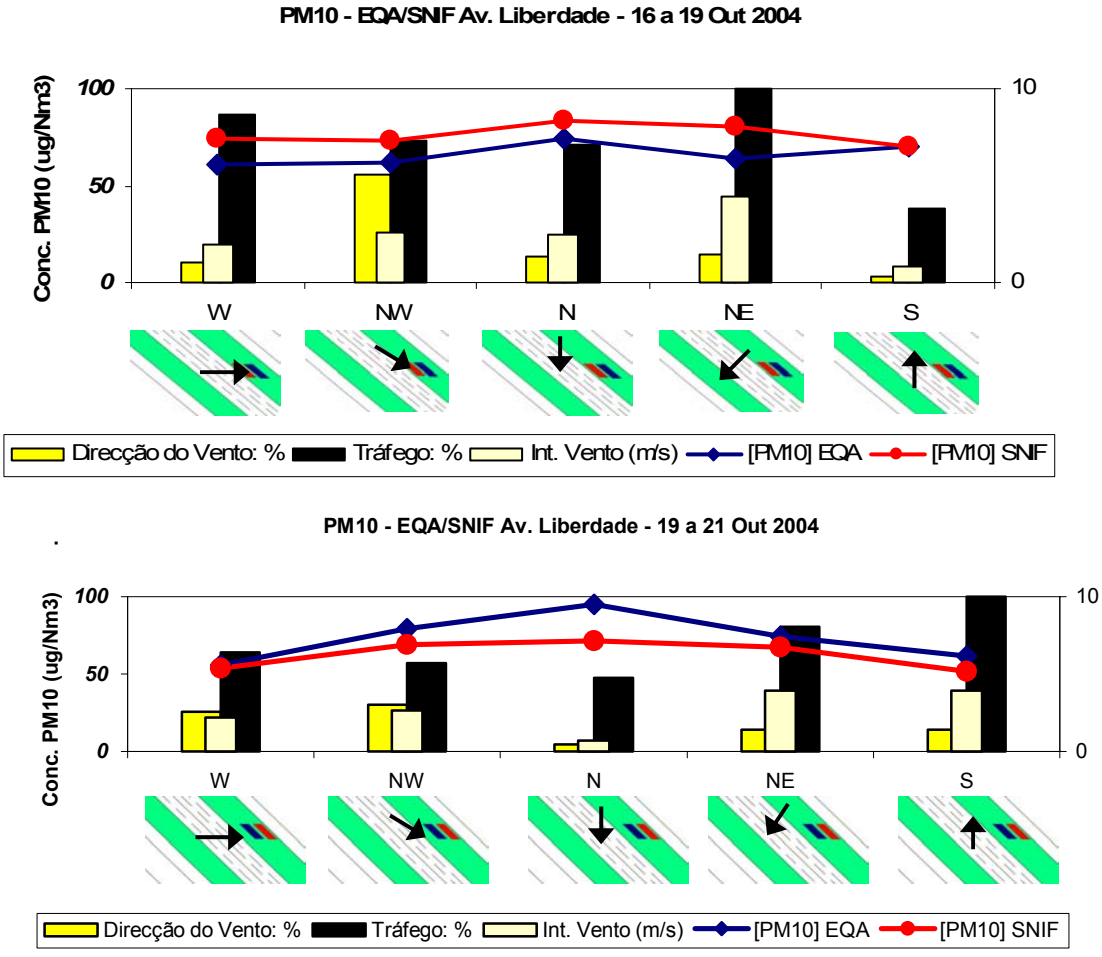


Figura 46 – Valores médios de PM_{10} obtidos na EQA da Avenida da Liberdade e SNIF, entre 16 e 19 de Maio de 2004 (em cima), e entre 19 e 21 de Maio (em baixo), em função da direcção do vento; indicação (em %) da predominância de cada direcção do vento, e da relação média dos quantitativos de tráfego observada para cada direcção e intensidade do vento (eixo secundário).

A análise dos resultados de concentração média horária obtidos na EQA e SNIF, associados às orientações de vento predominantes permitem tirar as seguintes conclusões:

- entre a primeira e a segunda semanas de campanha, não ocorreram variações significativas da predominância da direcção do vento;
- o SNIF localizou-se, no 1º período de campanha, sob exposição mais directa ao tráfego, a 4 metros do eixo da primeira faixa de rodagem da via principal da Av. Liberdade (1ª semana) e no 2º período, mais afastado da via principal da Avenida, mas mais próximo da sua via lateral ascendente, a cerca de 6 metros do eixo da primeira faixa de rodagem desta. A EQA localiza-se entre os dois pontos de amostragem onde ficou a medir o SNIF (nos dois períodos de campanha);
- verificaram-se maiores valores de concentração de PM_{10} no SNIF durante o primeiro período de campanha (16 a 19 de Maio), em relação à EQA, ao contrário do que aconteceu durante o segundo período (19 a 21 de Maio de 2004), pelo que o factor proximidade à via principal revelou ser mais importante do que a direcção do vento;
- contudo, registaram-se, em média, os maiores valores de concentração para ventos de Norte e os menores para ventos de Oeste; esta constatação é precisamente contrária ao que seria de esperar, uma vez que as orientações de vento promoviam o escoamento das massas de ar, respectivamente no sentido dos pontos de amostragem (Oeste) e contrário a estes (Norte);
- desta forma, não é possível assegurar uma relação directa entre a direcção do vento e a existência de maiores ou menores valores de concentração de PM_{10}. Este facto poderá resultar da especificidade e complexidade dos movimentos atmosféricos, bem como devido ao facto de os parâmetros meteorológicos não terem sido medidos no próprio local das medições.

5.5. Aplicação do modelo FLUENT à Avenida da Liberdade - PM_{10}

No âmbito do presente trabalho foi aplicado o modelo FLUENT a um caso de estudo de forma a permitir a estimativa dos campos de vento e de concentração de PM10 com origem nas emissões do tráfego automóvel na Avenida da Liberdade, tendo em conta a metodologia para a selecção da localização de EQA, apresentada no Ponto 2.4, no qual era referido que a mesma deve ter por base uma malha espacial bem definida de resultados de qualidade do ar, ou o recurso a modelos de dispersão adequados.

A razão que motivou a utilização do FLUENT neste estudo prende-se com a possibilidade de, através da geração de uma malha de cálculo não – estruturada, ser praticável a análise do comportamento do escoamento em torno de estruturas tridimensionais de elevada complexidade, típicas dos ambientes urbanos (Amorim, 2003; Riddle et al., 2004)

O FLUENT revela ser uma ferramenta útil, nomeadamente na análise de fluxos aerodinâmicos (Madariaga e Quiroz, 2001), dependendo contudo dos recursos computacionais existentes, de informação que permita ajustar o modelo numérico à realidade, e anda da experiência do utilizador em métodos numéricos e mecânica de fluidos.

As simulações foram realizadas sobre uma área que se localiza sensivelmente a meio da Avenida da Liberdade, incluindo a área de representatividade da EQA lá existente. O domínio de cálculo definido tem uma área de 700 × 700 m^2, e um conjunto de 42 blocos de edifícios de geometria irregular, com alturas que variam entre os 12 e os 40 metros.

Este modelo tem sido utilizado em múltiplas áreas, nomeadamente ao nível científico, tecnológico e industrial, e foi motivo de dissertação de mestrado (Amorim, 2003) sobre qualidade do ar, na qual se baseia a aplicação feita no presente trabalho. Contudo, a sua utilização na área da qualidade do ar, apesar de pouco documentada, tem focado essencialmente a simulação do escoamento e dispersão de poluentes gasosos, tendo aqui sido aplicado para partículas; em termos de simplificação, estas foram simuladas como um gás de elevada densidade.

5.5.1. Descrição do modelo numérico FLUENT

O modelo FLUENT (Fluent Inc., 2003) é um poderoso software e ferramenta do tipo Computacional Fluid Dynamics (CFD), que possibilita a simulação bidimensional (2D) ou tridimensional (3D) do escoamento laminar turbulento, em estado estacionário ou transiente, de fluidos incompressíveis ou compressíveis, newtonianos ou não-newtonianos.

O programa é constituído pelo processador com o mesmo nome (versão 6.1.18) e pelo pré-processador GAMBIT (versão 2.0.4), associado à geração da malha computacional irregular, ou não-estruturada, resolvendo os contornos físicos das estruturas típicas existentes em meio urbano. Esta característica permite a redução do erro inerente à discretização da malha, devido à possibilidade de aumentar a sua resolução, tendo sido obtidas cerca de 700 mil células não – estruturadas.

A construção da malha de cálculo foi realizada com o processador *TGrid* do GAMBIT, para a geração de malhas não – estruturadas híbridas, e um conversor CAD/CAE (para a importação de superfícies e volumes a partir de programas externos).

A estrutura básica do modelo pode ser esquematizada segundo as funções de cada módulo que o compõe, e o tipo de informação transferida (Figura 47).

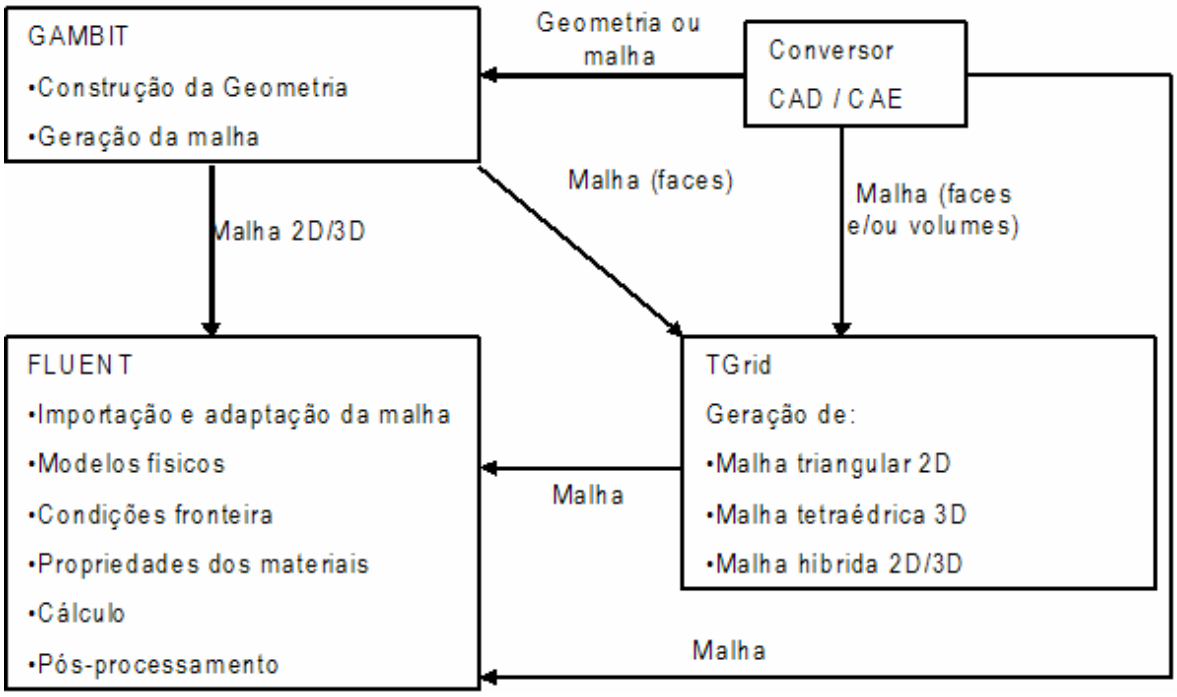


Figura 47 – Estrutura básica do programa (adaptado de Fluent Inc., 2003).

A informação relativa às características da malha (ou grelha), como as coordenadas e tipo de conexão dos nós e as condições-fronteira definidas, é importada directamente do GAMBIT e convertida para um ficheiro que contempla todos os parâmetros necessários à realização da simulação. Posteriormente, o FLUENT gera um ficheiro que contém os valores relativos ao campo do escoamento para cada elemento da malha e o histórico de convergência (residuais).

De uma forma sucinta, são enunciados alguns aspectos em que se baseia a geração da malha de cálculo e a aplicação do modelo:

- a geometria do domínio de estudo é dividida num conjunto de células computacionais ou de cálculo que permitem definir a grelha ou malha de computação (processo de discretização);
- o modelo permite a discretização do domínio em células computacionais irregulares, ou não-estruturadas, alargando o seu âmbito de aplicação a domínios contendo estruturas de geometria complexa;
- a construção das estruturas envolvidas no escoamento e a geração das malhas são realizadas através do pré-processador GAMBIT, com base em células trilaterais ou quadrilaterais, no caso de simulações bidimensionais, e de células tetraédricas, hexaédricas ou piramidais em problemas tridimensionais, permitindo uma maior flexibilização da operação de malhagem (geração de malhas híbridas);
- a solução numérica de escoamentos turbulentos tende a demonstrar uma maior dependência relativamente às características da malha do que em laminares, devido à forte interacção entre o escoamento médio e a turbulência, pelo que a discretização adquire uma importância acrescida nos pontos críticos do domínio de simulação, na proximidade de obstáculos e em zonas de recirculação (fluxos turbulentos);
- o uso de malhas irregulares pode estar associado à introdução de erros de truncatura, quer pelas diferenças significativas no volume de células adjacentes, quer por difusão numérica;
- o FLUENT tem, porém, a capacidade de melhorar a homogeneidade das células através do refinamento da malha com base no gradiente de volume entre elementos contíguos; o problema associado à difusão numérica é minimizado somente com recurso ao refinamento da resolução da malha, tendo em conta que a expressão deste fenómeno é inversamente proporcional ao incremento da resolução computacional. Refira-se que a resolução numérica do escoamento de fluidos contém uma quantidade finita de difusão numérica, aumentando com o uso malhas não-estruturadas, devido ao escoamento não se encontrar alinhado com as faces das células de cálculo (como acontece com a utilização unicamente de hexaedros);

- a malha pode ser ainda refinada na fase de pós-processamento, de acordo com a solução obtida, em zonas do domínio onde se mostrar conveniente, relevante ou necessária a obtenção de uma solução numérica mais detalhada.

Modelação numérica do escoamento e da dispersão

Relativamente à representação numérica do escoamento e da dispersão, o modelo recorre às Equações Gerais da Dinâmica de Fluidos, que traduzem o movimento de uma partícula de ar na atmosfera através das equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia (Equações da Lei de Conservação).

A simulação do escoamento atmosférico é realizada na camada limite atmosférica (onde a velocidade do ar à superfície é zero devido à acção desenvolvida pela força de atrito na sua interface com a atmosfera e o vento no topo da camada é o geostrófico), devendo ser consideradas as seguintes premissas:

- o escoamento de um fluido newtoniano, isotrópico e incompressível num espaço tri-dimensional em regime estacionário;
- a viscosidade e a condutividade térmica do ar mantêm-se constantes (excepto nos cálculos dos efeitos gravíticos/impulsão/flutuação) e a massa volúmica tem variações pequenas, de tal forma que é válida a aproximação de Boussinesq (Amorim, 2003).

Ainda que as equações sejam deste modo simplificadas, impõe-se a parametrização da turbulência, introduzindo informação empírica que relacione as tensões turbulentas (ou de Reynolds), definidas na equação da quantidade de movimento, através de outros parâmetros conhecidos do escoamento, tendo sido seleccionado, no âmbito do presente trabalho, o modelo de fecho de turbulência k – ε, de primeira ordem.

Este modelo apresenta duas equações de transporte modeladas, separadamente, que são resolvidas, uma para energia cinética (k) e outra para o termo de dissipação da energia cinética (ε), assumindo as condições de um escoamento totalmente turbulento e desprezando os efeitos da viscosidade molecular.

5.5.2. Metodologia

A aplicação do modelo FLUENT requereu a definição do domínio de simulação, que se localiza na zona central da Avenida da Liberdade, abrangendo a área de representatividade da EQA (Figura 48). A área de simulação caracteriza-se por possuir um conjunto de edifícios com uma geometria heterogénea e orientações distintas. No que respeita concretamente à Avenida da Liberdade, a mesma encontra-se ladeada por um fiada de edifícios que se distribuem longitudinalmente, segundo uma direcção SE – NW, deste os Restauradores até à praça do Marquês de Pombal. Esta Avenida possui uma via de circulação automóvel principal, com três faixas de rodagem no sentido ascendente, e duas no descendente. Possui anda em toda a sua extensão uma área pedonal preenchida com árvores (plátanos, lodãos e palmeiras) e zonas ajardinadas que separam a via principal das vias laterais de circulação (uma em cada sentido). A metodologia para a introdução das árvores foi desenvolvida e testada anteriormente (Amorim, 2003).

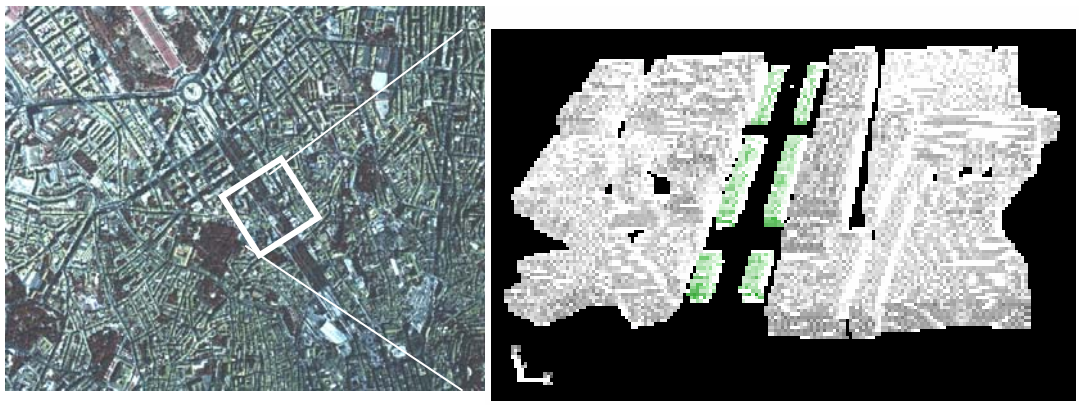


Figura 48 – Domínio de simulação da Avenida da Liberdade (Adaptado de Amorim, 2003).

Os dados de entrada usados para a aplicação do FLUENT requereram a localização e volumetria dos edifícios e vias de circulação existentes no domínio de simulação, a caracterização meteorológica, bem como as concentrações de PM_{10} emitidas pelos veículos automóveis.

Figura 49 – Mapa da rede viária da zona da Avenida da Liberdade, onde incide o domínio de simulação.

Dados meteorológicos

A informação meteorológica relativa aos dias 19 e 20 de Maio de 2004 foi obtida na estação meteorológica do Instituto de Meteorologia, localizada no aeroporto de Lisboa, nomeadamente a temperatura, a intensidade e direcção do vento.

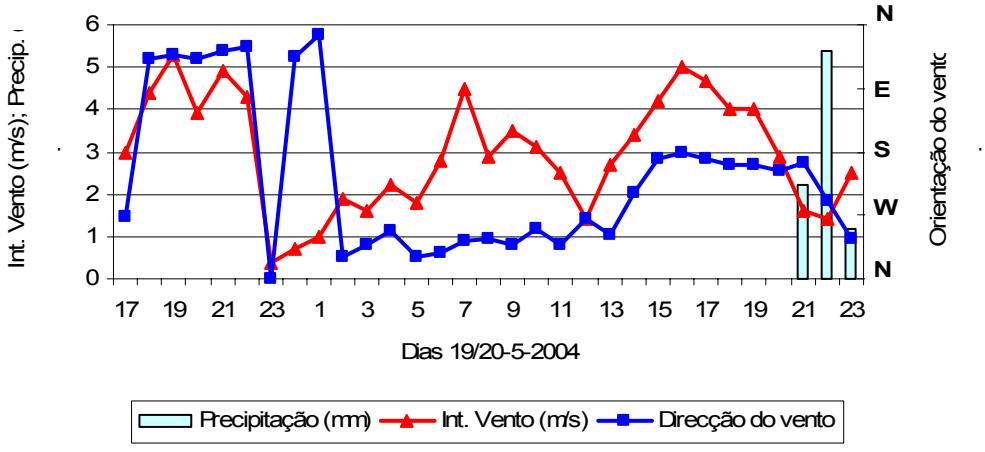


Figura 50 – Evolução temporal dos valores médios horários de intensidade de vento (m/s), de quantidade de precipitação (mm) e de direcção do vento, entre 19 e 20 de Maio de 2004, parâmetros medidos na estação meteorológica do aeroporto de Lisboa.

Durante o período de simulação a velocidade do vento sofreu alterações significativas, desde menos de 1 m/s, ao início da noite (19-5-2004) a um máximo de cerca de 5 m/s, ao final da tarde,

nos dois dias. A direcção do vento predominante durante o final do dia 19, foi de Nordeste; passou a Noroeste durante a 1ª parte do dia 20, e Sul durante a tarde do mesmo dia.

Emissões do tráfego automóvel

Para efeitos de cálculo das emissões resultantes do tráfego automóvel, foram contempladas para além da Avenida da Liberdade, outras ruas: Ruas Barata Salgueiro e Alexandre Herculano, e outras de menor expressão de influência de tráfego, nomeadamente as Ruas Mouzinho da Silveira, Rosa Araújo, Rodrigues Sampaio, de Santa Marta, Júlio César Machado e do Salitre (Figura 49).

Os valores médios horários de emissão de PM_{10} foram estimados pelo Modelo de Emissões de Transportes para Fontes em Linha (em inglês, *Transport Emission Model for Line Sources*, TREM), desenvolvido no Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Amorim, 2003; Tchepel, 2003), com base em dados de tráfego provenientes dos sistemas de contagem existentes na Avenida da Liberdade, e em dados determinados a partir de observações pontuais efectuadas para as restantes ruas.

No sentido de determinar com a maior exactidão possível a quantidade e tipo de tráfego associado à Avenida da Liberdade, foi realizada no dia 23 de Setembro de 2004 uma campanha de contagem de tráfego nas proximidades da EQA. Para tal, recorreu-se a uma câmara de filmar durante 20 minutos em cada hora, iniciando o período de contagem ao minuto 20 e finalizando ao minuto 40 de cada hora, desde as 0 às 24 horas daquele dia. Os resultados são remetidos em anexo.

Dados de qualidade do ar

Os dados de qualidade do ar requeridos para a aplicação do modelo, foram obtidos na EQA da Avenida da Liberdade, apresentando-se na Figura 51 as concentrações médias horárias de PM_{10}, correspondentes ao período entre as 17 horas do dia 19-5-2004 e as 24 horas do dia 20-5-2004.

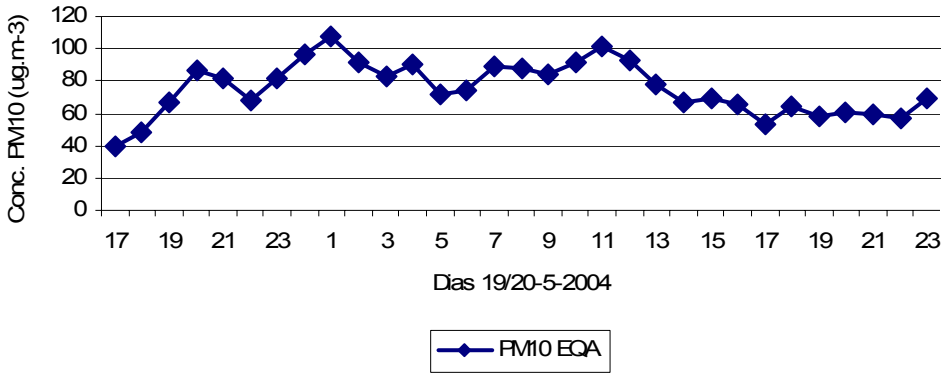


Figura 51 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de PM_{10} obtidos entre as 17h do dia 19 e as 24h do dia 20 de Maio de 2004 na EQA da Avenida da Liberdade.

5.5.3. Resultados da simulação

Foram comparados os resultados de concentração de PM_{10} obtidos no SNIF, na EQA da Avenida da Liberdade e os decorrentes da aplicação do FLUENT, servindo esta análise para validar a sua qualidade, sendo os resultados expressos em campos de concentração simulados.

Na figura 52, são apresentados os resultados da simulação, relativos aos valores médios horários das concentrações de PM_{10}, na localização da EQA da Av. da Liberdade, contendo a contribuição de partículas decorrentes dos sistemas de travagem e dos pneus, e ressuspensão de partículas depositadas, pressupondo-se a existência de um pavimento seco e considerando uma componente relacionada com a velocidade dos veículos automóveis em circulação. Esta metodologia, baseada no modelo da EPA (2003), foi já testada em Martins et al. (2005). Como é possível verificar através da referida figura, não foram considerados três valores por se encontrarem totalmente fora de escala, não afectando o tipo de conclusões apresentadas.

Como é possível observar, o FLUENT subestima consideravelmente as concentrações do poluente, facto que poderá ser explicado por não ter sido contemplada a contribuição dos níveis de fundo, nas simulações efectuadas. Segundo Ketzel (2003), trata-se de informação essencial no sentido de condicionar a análise dos resultados à componente atribuída ao tráfego automóvel.

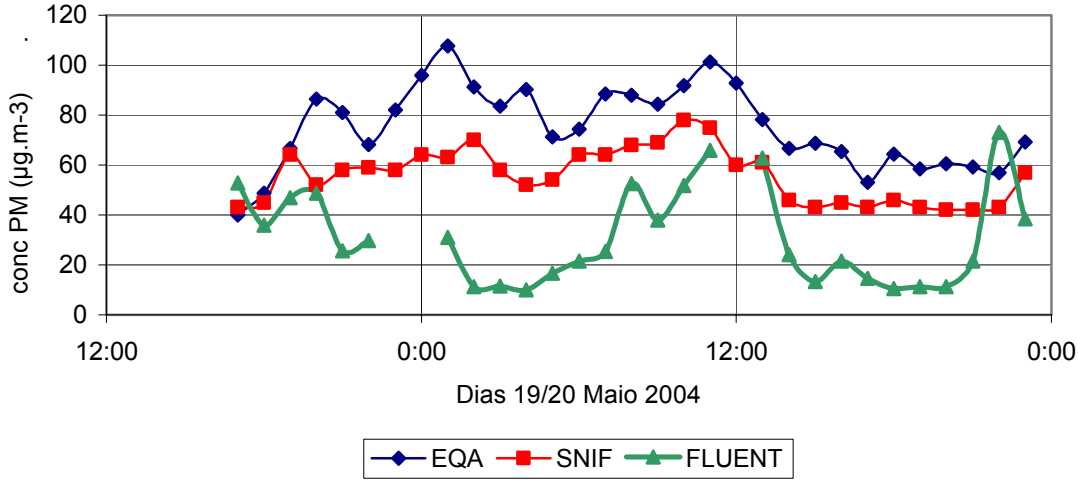


Figura 52 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de PM_{10} obtidos entre as 17h do dia 19 e as 24h do dia 20 de Maio de 2004, na EQA da Avenida da Liberdade, SNIF e FLUENT (correspondente ao local onde se situa a EQA).

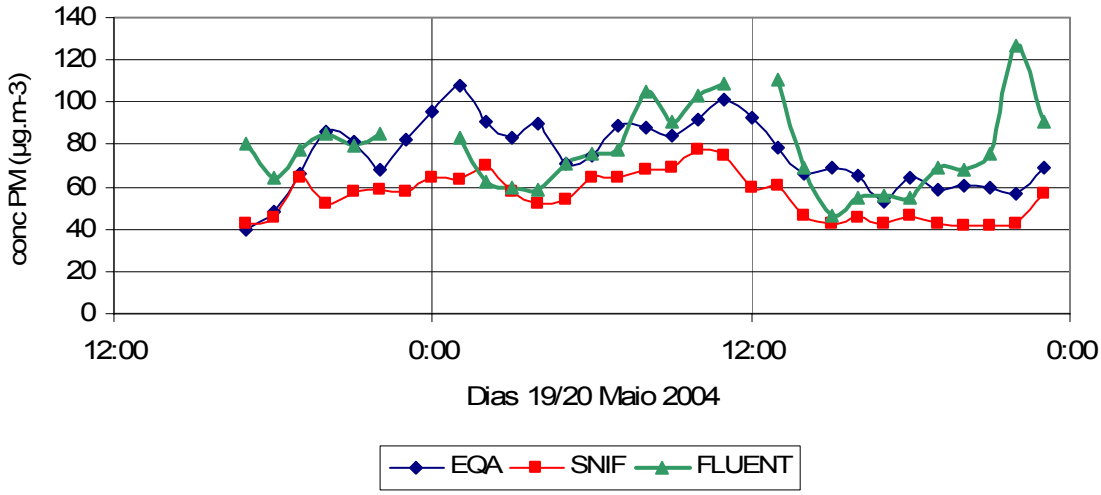


Figura 53 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de PM_{10}, para o mesmo período da Figura 52, na EQA da Avenida da Liberdade, SNIF e FLUENT (valores encontrados após afectação daqueles medidos na EQA urbana de fundo dos Olivais).

Por outro lado, a Figura 53 contempla a afectação dos resultados de concentração de PM_{10} medidos na EQA urbana de fundo dos Olivais, permite observar uma aproximação dos resultados da simulação com os medidos na EQA e SNIF.

Verificam-se ainda algumas diferenças que podem ser explicadas pela dificuldade em prever as concentrações do ar ambiente, devido à complexidade dos processos de dispersão junto de edifícios altos (Zhou e Sperling, 2001), sendo igualmente afectadas por recirculações e movimentos

de turbulência altamente localizados (Longley, 2003), que deverão determinar um comportamento específico do escoamento de partículas.

Acresce ainda o efeito das árvores de grande porte existentes ao longo de toda a zona pedonal que acompanha lateralmente a Avenida, embora o mesmo tenha sido contemplado para efeitos de geração da malha de cálculo, através da introdução empírica de estruturas tridimensionais porosas simples. Refira-se que a presença de árvores tem efeitos indesejáveis sobre a dispersão, retendo as partículas por deposição na folhagem (Amorim, 2003).

Saliente-se, contudo, que se trata de um poluente cuja aplicação do modelo se encontra ainda pouco explorada a nível internacional, existindo ainda uma enorme incerteza quanto à simulação de partículas em ambiente urbanos, nomeadamente a quantificação das emissões existentes, pelo que foram efectuadas igualmente corridas para o CO (Figura 54). A análise correlacional (Tabela 20) entre os resultados de concentração medidos e simulados é francamente melhor para o CO do que para as PM_{10}, sendo que para as partículas inaláveis, os resultados não tiveram expressão e foram inferiores a qualquer um dos valores de r apresentados na Tabela 20. Relativamente a esta tabela, é ainda de realçar que, com um grau de confiança de 95%, os valores de PM_{10} estimados pelo FLUENT apresentam uma correlação aceitável com os de CO medidos na EQA e sobretudo no SNIF.

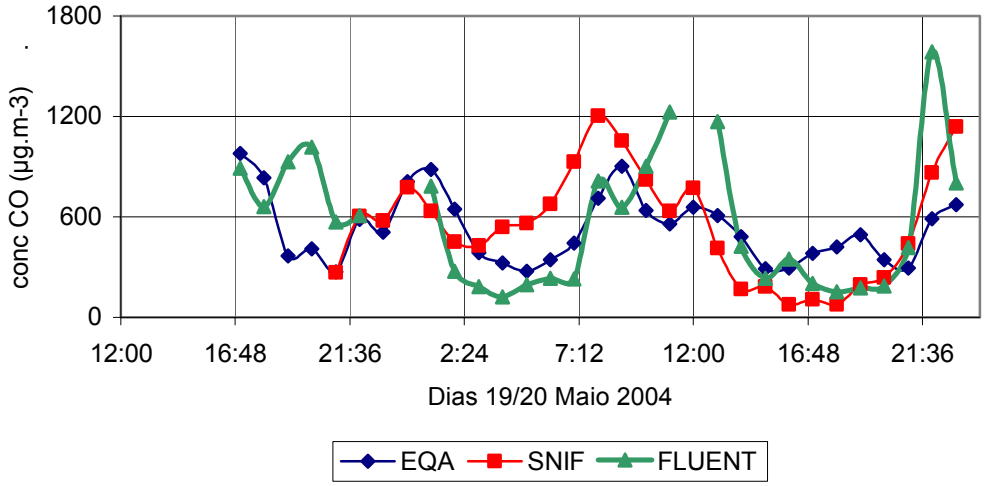


Figura 54 – Evolução temporal dos valores de concentração média horária de CO obtidos entre as 17h do dia 19 e as 24h do dia 20 de Maio de 2004, na EQA da Avenida da Liberdade, SNIF e FLUENT (correspondente ao local onde se situa a EQA).

Tabela 20 – Valores dos coeficientes de correlação de Pearson (r), para valores "p"<0,05, entre os (N) valores médios de concentração de PM_{10} e CO estimados pelo FLUENT e os obtidos no SNIF e EQA da Avenida da Liberdade, 19-5-2004 (17h) e 20-5-2004 (24h).

		r	n
FLUENT PM_{10}	FLUENT CO	0,968	28
FLUENT PM_{10}	SNIF CO	0,571	24
FLUENT PM_{10}	EQA CO	0,498	28
FLUENT CO	SNIF CO	0,495	24
FLUENT CO	EQA CO	0,487	28

Deste modo, constata-se que são obtidos resultados mais rigorosos na representação numérica da dispersão de CO, podendo ainda ser estabelecida uma aceitável resposta entre as emissões de PM_{10} estimadas pelo modelo, e as concentrações medidas na EQA e SNIF.

Decorrentes do cálculo efectuado pelo FLUENT, são apresentados em anexo os planos horizontais (altura: 3m) dos campos de concentração de PM_{10}, os quais permitiram identificar a existência pontual de *hot-spots*, e a distribuição do poluente sobre um domínio de simulação que possui uma EQA de tráfego, cuja representatividade é e deverá ser muito localizada.

6. CONCLUSÕES

As campanhas de monitorização de partículas inaláveis em cinco das principais vias de tráfego rodoviário existentes em Lisboa (Segunda Circular, Eixo Norte-Sul, Avenida Marechal Gomes da Costa, Saldanha e Avenida da Liberdade), tornaram possível as seguintes conclusões:

- os resultados gerais mostram o generalizado incumprimento legal do VL+MT para 2004 (55 $\mu g/m^3$), concretamente nos dias úteis da semana (em proporção superior a dois terços), sendo de salientar que durante o período da campanha não se terão verificado quaisquer eventos naturais;
- os valores de concentração mais elevados foram obtidos na Avenida da Liberdade, um pouco acima, em termos médios, dos restantes locais amostrados, ainda que se trate de uma avaliação pouco sustentada devido ao diminuto número de valores médios diários em causa;

- a ocorrência de precipitação nos primeiros dias, a diminuição da intensidade do vento, a localização dos pontos de amostragem a alturas e distâncias à via de tráfego diferentes, parecem ter influenciado os teores de partículas inaláveis obtidos.

A referida campanha permitiu obter indicações, em simultâneo, sobre o poluente que regista persistentemente o maior número de excedências ao valor-limite, nomeadamente nas EQA da Avenida da Liberdade e Entrecampos, precisamente os locais onde decorreram as restantes campanhas de monitorização, agora para vários poluentes (CO, NO, NO_2 e PM_{10}).

A caracterização da qualidade do ar em Entrecampos e Avenida da Liberdade, que envolveu os resultados do SNIF e da EQA, permitiu concluir os seguintes aspectos:

- os resultados de NO_2 e CO cumprem sempre as respectivas normas de qualidade do ar, estipuladas no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, o mesmo não sucedendo a alguns dos valores médios diários registados para PM_{10}, medidos sobretudo no SNIF, que excediam o respectivo VL+MT;
- verifica-se normalmente um perfil diário bimodal das concentrações de PM_{10}, CO e NO_2, por serem poluentes influenciados pelo tráfego automóvel;
- quer em Entrecampos, quer na Av. da Liberdade, o NO_2 é do conjunto de poluentes medidos, aquele que melhor acompanha as variações de tráfego;
- a localização do SNIF durante a segunda semana da campanha de Entrecampos, parece obter, face aos resultados apresentados, uma resposta mais efectiva do que a da actual EQA, no que concerne aos objectivos inerentes à escolha da localização de uma estação de tráfego;
- na Avenida da Liberdade a proximidade à sua via principal representa, por regra, maiores valores de concentração medidos, à excepção do CO, cuja tendência não é clara;
- verificaram-se, por altura da campanha da Av. Liberdade, a ocorrência de intrusão de partículas provenientes do deserto do Sahara ou Sahel, tendo influenciado decisivamente os valores obtidos.

Refira-se que os critérios que norteiam a metodologia para a selecção e localização de uma EQA orientada para o tráfego automóvel requerem o cumprimento de certos aspectos, mencionados em legislação nacional própria (Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril), ou em documentos de

referência existentes noutros países. De uma forma geral, tal metodologia recorre a modelos de dispersão adequados ou a existência de uma boa caracterização do local através de medições de qualidade do ar.

Nesse sentido, procedeu-se, para além da realização daquelas campanhas, à aplicação do FLUENT enquanto ferramenta CFD na simulação numérica do escoamento e dispersão de poluentes em ambiente urbano.

As concentrações de PM_{10} simuladas pelo FLUENT são significativamente inferiores às medidas, quando se consideram apenas as emissões directas dos veículos automóveis. Contudo, a integração da componente "ressuspensão" e da contribuição dos valores do poluente medido na EQA urbana de fundo dos Olivais, resulta numa muito melhor aproximação das concentrações medida e simulada.

A análise dos campos horizontais de concentrações de PM_{10} produzidos pelo modelo, permite verificar a ocorrência de *hotspots* e prever que a desde já medíocre qualidade do ar existente na Av. da Liberdade, pode ser em algumas zonas ainda pior.

Assim, tendo em conta a aceitável resposta do modelo, tendo igualmente em conta os coeficientes de correlação existentes entre os valores de concentração simulados para PM_{10} e de CO medidos no SNIF, pode concluir-se que as representações dos campos horizontais de concentração obtidos no modelo revelam ter interesse no apoio à decisão sobre a localização de estações de tráfego.

7. REFERÊNCIAS

ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (2002)*; Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air ;* Coordination technique de la surveillance de la qualité de l'air ; Paris, 64p.

AMORIM, J.H. (2003) Modelação do escoamento e da dispersão de poluentes atmosféricos em áreas urbanas; Dissertação de mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal, 130p.

BALDAUF, R.W.; WIENER, R.W.; HEIST, D.K. (2002) *Methodology for Siting Ambient Air Monitors at the Neighborhood Scale*; Journal of the Air & Waste Management Association, vol. 52; pp. 1433-1442; ISSN: 1047-3289.

BERKOWICZ, R. (2000) OSPM - A Parameterised Street Pollution Model; Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 65; pp 323-331.

BISORCA, D e IONEL, I. (2002) Numerical Application for Dispersion of CO in a Street Canyon in the Romanian City of Timisoara; Univ. Politehnica Timisoara, Faculty of Mechanics; Timisoara, Romania, Southeastern Europe Fluent Users, Group Meeting, 31 Oct - 1 Nov., Thessaloniki.

BORREGO, C; TCHEPEL, O.; COSTA, A; AMORIM, J.; MIRANDA, A.; (2003) Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale; Atmospheric Environment, vol. 37; pp 5197-5205.

CARSLAW, D.; BEEVERS, S. (2004) *New Directions: Should road vehicle emissions legislation consider primary NO_2*?; Atmospheric Environment, vol. 38; pp 1233-1234.

COMISSÃO EUROPEIA (2000) "A UE e a qualidade do ar", Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 18p; ISBN 92-828-4807-8.

CONCAWE (1998) *A study of the number, size & mass of exhaust particles emitted from European diesel and gasoline vehicles under steady-state and European diesel and gasoline vehicles under steady-state and European driving cycle conditions*; Prepared for the CONCAWE Automotive Emissions Management Group by its Special Task Force AE/STF-10; CONCAWE Report No. 98/51, 56pp; Brussels, Belgium.

DECRETO-LEI n.º 202/2000, de 1 de Setembro.

DEMERJIAN, K. L. (2000) A *review of national monitoring networks in North America*; Atmospheric Environment, vol. 34; pp 1861-1884.

DIRECTIVA 2003/17/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Março de 2003, Jornal Oficial da União Europeia, 22-2-2003.

DOMINGOS, J., PINTO, M. F., PONTES, M. T. (1989) *Ocorrência Média Anual no Território Português das Classes de Estabilidade Atmosférica de Pasquill-Guifford*, C.T.A.M.F.U.L./I.S.T., Lisboa.

DOMINGOS, J. J. (1990) *Impacto Ambiental das Emissões Gasosas do Tráfego Urbano*. In: Seminário Internacional "Os Sistemas de Transporte e o Ambiente"; Instituto Superior Técnico, Lisboa.

EEA - European Environment Agency (1999); EUROAIRNET - Site Selection 1998; Technical Report n. º 16; Copenhagen.

EEA - European Environment Agency (2001); TERM 2001; Indicators tracking transport and environment integration in the European Union; Copenhagen; ISBN 92-9167-307-2.

EEA - European Environment Agency (2003); Europe's environment: the third assessment; - assessment report No 10; Copenhagen; ISBN 92-9167-669-1.

EEA - European Environment Agency (2004); EEA SIGNALS 2004; A European Environment Agency update on selected issues; Copenhagen; ISBN 92-9167-574-1.

EEA - European Environment Agency (2004); TERM 2004; Indicators tracking transport and environment integration in the European Union; Copenhagen; ISBN 92-9167-698-5.

EPA, Environmental Protection Agency (2003). AP-42 Emissions Factors, Fifth Edition, Volume I, Chapter 13, Miscellaneous sources. Section 13.2.1. Paved Roads, 12p.

EUROPEAN STANDARD EN 12341, Novembro de 1998, Air Quality - Determination of the PM10 fraction of suspended particulate matter - Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods, CEN - European Committee for Standardization, Brussels

FEDOROVICH, E. (2004) Dispersion In Atmospheric Convective Boundary Layer With Wind Shears: From Laboratory Models To Complex Simulation Studies; School of Meteorology, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma.

FERREIRA, F.; TENTE, H.; TORRES, P.; CARDOSO, S.; OLIVEIRA, J. (2000) Air Quality and Management in Lisbon; Environmental Monitoring and Assessment, vol. 65; pp 443-450.

FIGUEIRA, M. (1998) A Poluição Ambiental e o Tráfego Automóvel. Revista "Planeamento Civil de Emergência", n.º 11.

FLUENT Inc. (2003) FLUENT 6.1 User's manual, Fluent Inc., Lebanon.

GEOTA – Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente (2003) Mobilidade na Área Metropolitana de Lisboa, Perspectivas e Propostas, Lisboa.

GOMES, J. (2001) Poluição Atmosférica – Um Manual Universitário; Publindústria, Edições Técnicas; ISBN: 972-98726-0-0.

HALL, D.L. (1998) *A study of the number, size & mass of exhaust particles emitted from european diesel and gasoline vehicles under steady-state and european driving cycle conditions*; CONCAWE Automotive Emissions Management Group by its Special Task Force AE/STF-10, report no. 98/51; Brussels.

HUNT, J. C. R., ORR, A., ROTTMAN, J. W., CAPON, R. (2004) Coriolis effects is mesoscale shallow layer with sharp changes in surface conditions. *Q. J. R. Meteorol. Soc*., 130, pp. 2703-2731.

HEXT, P.M.,; ROGERS, K.O.; PADDLE, G.M. (1999) *The health effects of PM2.5 (including ultrafine particles)*; Report no. 99/60; CONCAWE; Brussels.

KETZEL, M.; WAHLIN, P.; BERKOWICZ, R.; PALMGREN, F. (2003) *Particle and trace gas emission factors under urban driving conditions in Copenhagen based on street and roof-level observations*; Atmospheric Environment, vol. 37; pp 2735-2749.

LONGLEY, I., (2003) Short-term measurements of airflow and turbulence in two street canyons *in Manchester*; Atmospheric Environment, vol. 38; pp 69-79.

MADARIAGA, R.; QUIROZ, L. (2001) *Analisis Numerico Del Flujo Alrededor Del Empenaje de un Avion*, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Concepción, in: http://galileo.dim.udec.cl/aero/cfd/madariaga_apa.pdf.

MARN – Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais; PNPA – Plano Nacional de Política do Ambiente (1995); ISBN: 972-9300-64-X.

MARTINS, A., CERQUEIRA, M., FERREIRA, F., BORREGO, C., AMORIM, J.H. (2005) Lisbon Air Quality - Evaluating Traffic Hot-Spots, in: 3rd International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, 26-30 Setember, Istambul, Turkey.

MCOT - Ministério das Cidades e do Ordenamento do Território, Instituto do Ambiente (2003); REA 2002 – Relatório de Estado do Ambiente 2002; 84p.

MENSINK, C.; COLLES, A.; JANSSEN, L.; CORNELIS, J. (2003) Integrated air quality modelling for the assessment of air quality in streets against the council directives; Atmospheric Environment; Vol. 37, Issue 3; pp 5177-5184.

NETO, J.; DEUS, R.; CARVALHO, R. (2004) *AMPoluiAtmo - Apoio a Monitorização da Poluição Atmosférica*, Instituto de Meteorologia, Departamento de Observação e Redes, Lisboa.

OSSES, R.; URRUTIA, C. (2002) *Hot Emissions Model for Mobile Sources: Applications to the Metropolitan Region of the City of Santiago, Chile*; Journal of the Air & Waste Management Association, 52: 167-174; ISBN: 1047-3289.

QIN, Y.; CHAN, L. (1993); Traffic source emission and street level air pollution in urban areas of Guangzhou, South China; Atmospheric Environment; Vol. 27, Issue 3; pp 275-282.

RIDDLE, A.; CARRUTHERS, D.; SHARPE, A.; McHUGH, C.; STOCKER, J (2004) *Comparisons between FLUENT and ADMS for atmospheric dispersion modelling*; Atmospheric Environment; Vol. 38, pp 1029-1038.

SALMINEN, K.; KARLSSON, V. (2003) Comparability of low-volume PM_{10} sampler with -attenuation monitor in background air; Environment; Vol. 37, pp 3707-3712.

SCHATZMANN, M.; LEITL, B. (2002) Validation and application of obstacle-resolving urban dispersion models; Atmospheric Environment; Vol. 36, pp 4811-4821.

SEAKINS, P., LANSLEY, D.L., HODGSON, A., HUNTLEY, N., POPE, F. (2002) New Directions: Mobile laboratory reveals new issues in urban air quality; Atmospheric Environment; Vol. 36, pp 1247-1248.

SEINFELD, J.H., PANDIS, S.N. (1998) Atmospheric Chemistry and Physics: from Air Pollution to Climate Change. Wiley, New York.

STULL, R.B. (1998) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology; Atmospheric Sciences Library*; Kluwer Academic Publishers; Netherlands; 666 pp.: ISBN: 90-277-2768_6.

TCHEPEL, O.A. (2003) *Modelo de emissões para apoio à decisão na gestão da qualidade do ar*. Dissertação de Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 213 p.

TURNER, D. (1969) Workbook of Atmospheric Diffusion Estimates; U.S. Environmental Protection Agency Report 999-AP-26, Washington, DC.

VARDOULAKIS, S., FISHER, B., PERICLEOUS, K., GONZALEZ.FLESCA, N. (2003) *Modelling air quality in street canyons: a review;* Atmospheric Environment; Vol. 37, Issue 2, pp 155-182.

VENKATRAM, A., ISAKOV, V., PANKRATZ, D., HEUMANN, J., YUAN, J. (2004) *The analysis of data from an urban dispersion experiment*; Atmospheric Environment, vol. 38; pp 3647-3659.

ZHOU, H., Sperling, D. (2001) *Traffic emission pollution sampling and analysis on urban streets with high-rising buildings*; Institute of Transportation Studies, University of California, Davis; Transportation Research Part D 6, pp 269-281.

ZICKUS, M.; GREIG,A. (2001) *Effects of congested vs. freeway urban traffic flow on air pollutant concentrations in a street canyon*; Paper presented at the 7th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, May 28-31, 2001.

WU, Y.; HAO, J.; FU, L.; WANG, Z.; TANG, U. (2002) *Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China;* Atmospheric Environment; Vol. 37, Issue 2, pp 155-182.

ANEXOS

ANEXO A - DETECÇÃO DE EVENTOS NATURAIS - MODELO IcoD

ANEXO B - APLICAÇÃO DO FLUENT À AVENIDA DA LIBERDADE

ANEXO A - DETECÇÃO DE EVENTOS NATURAIS - MODELO IcoD

.

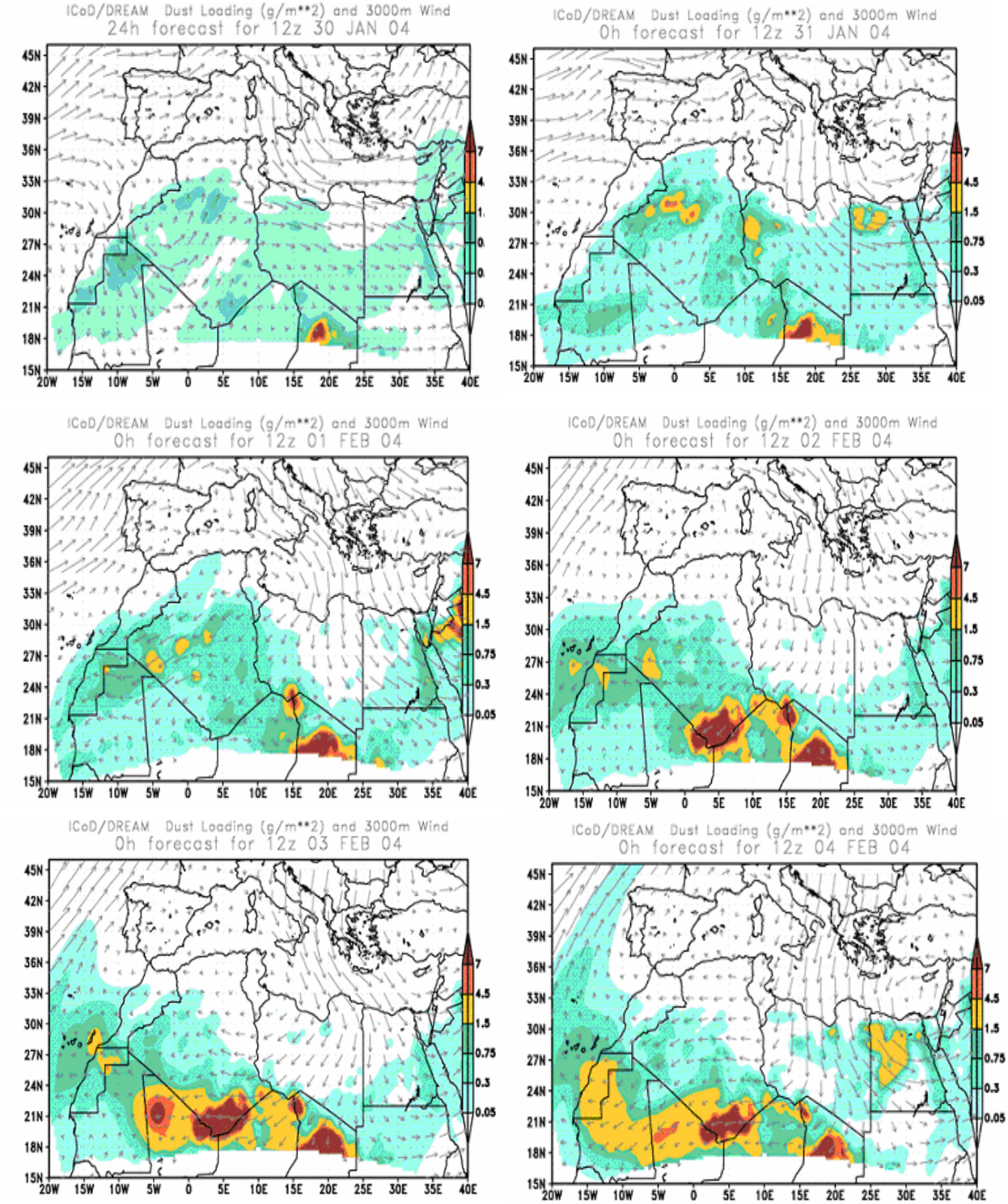


Figura A1 – Índice de aerossóis, estimado pelo modelo ICod, entre os dias 30-1-2004 e 4-2-2004

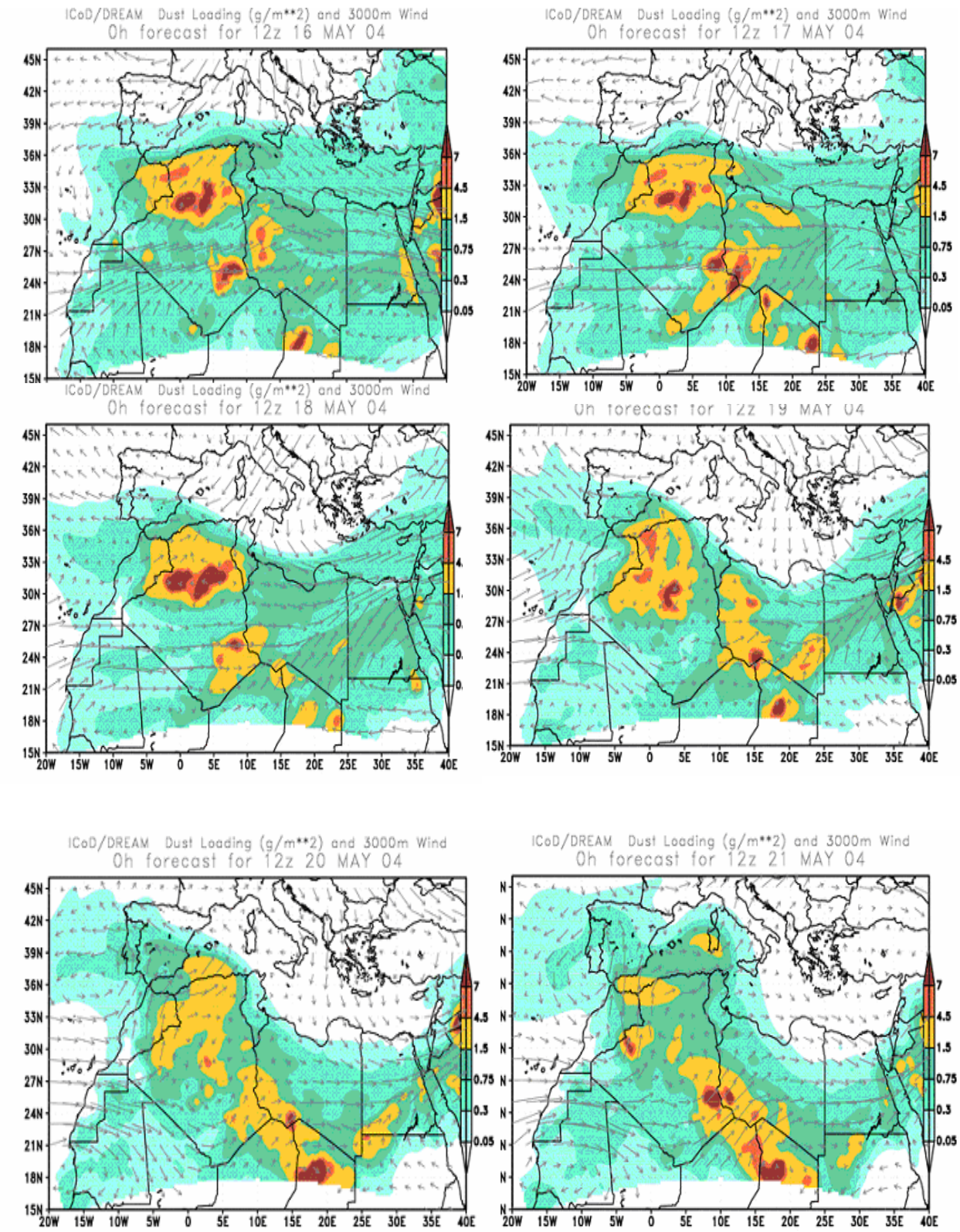


Figura A2 – Índice de aerossóis, estimado pelo modelo ICod, entre os dias 16-5-2004 e 21-5-2004

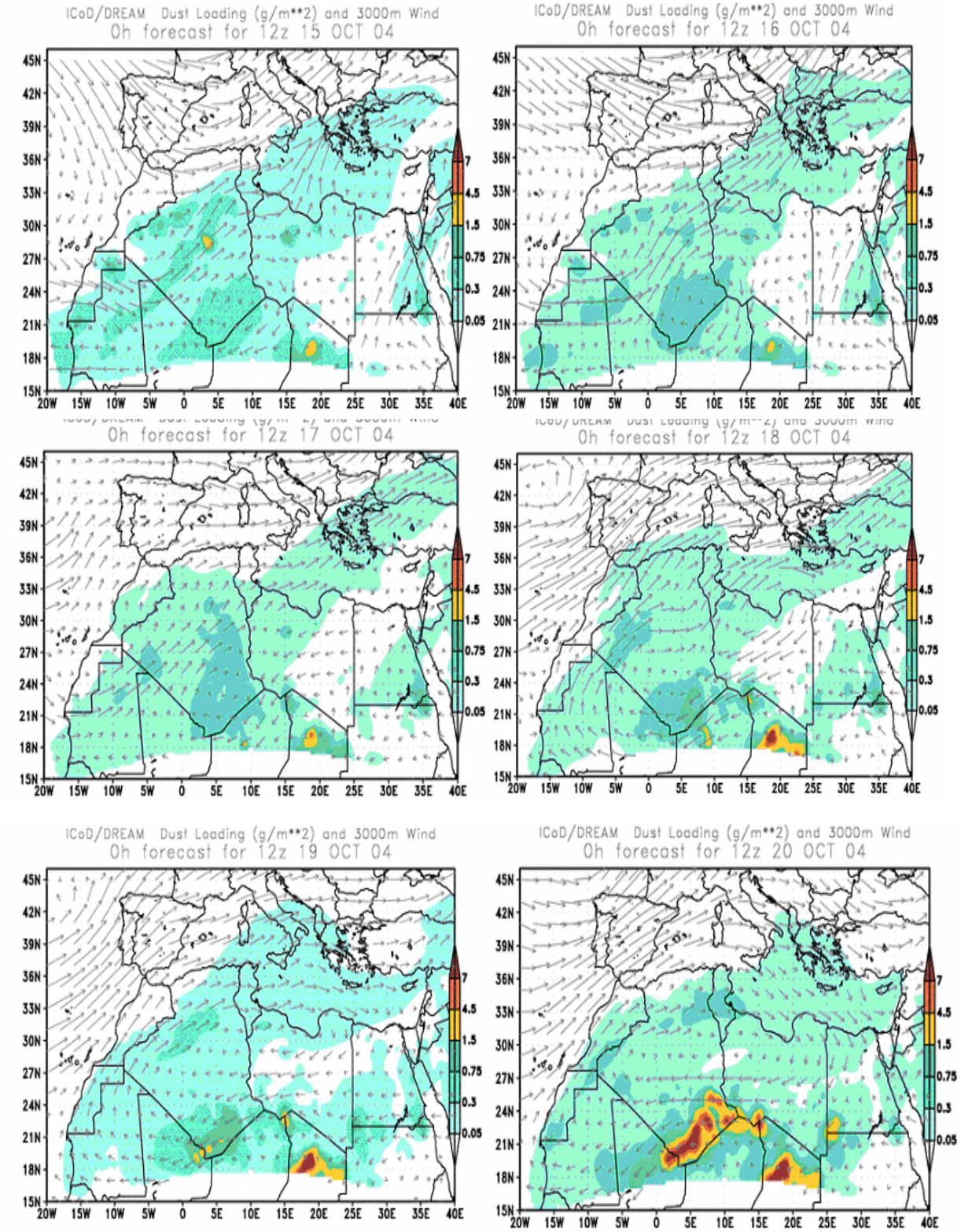


Figura A3 – Índice de aerossóis, estimado pelo modelo ICod, entre os dias 15-10-2004 e 20-10-2004

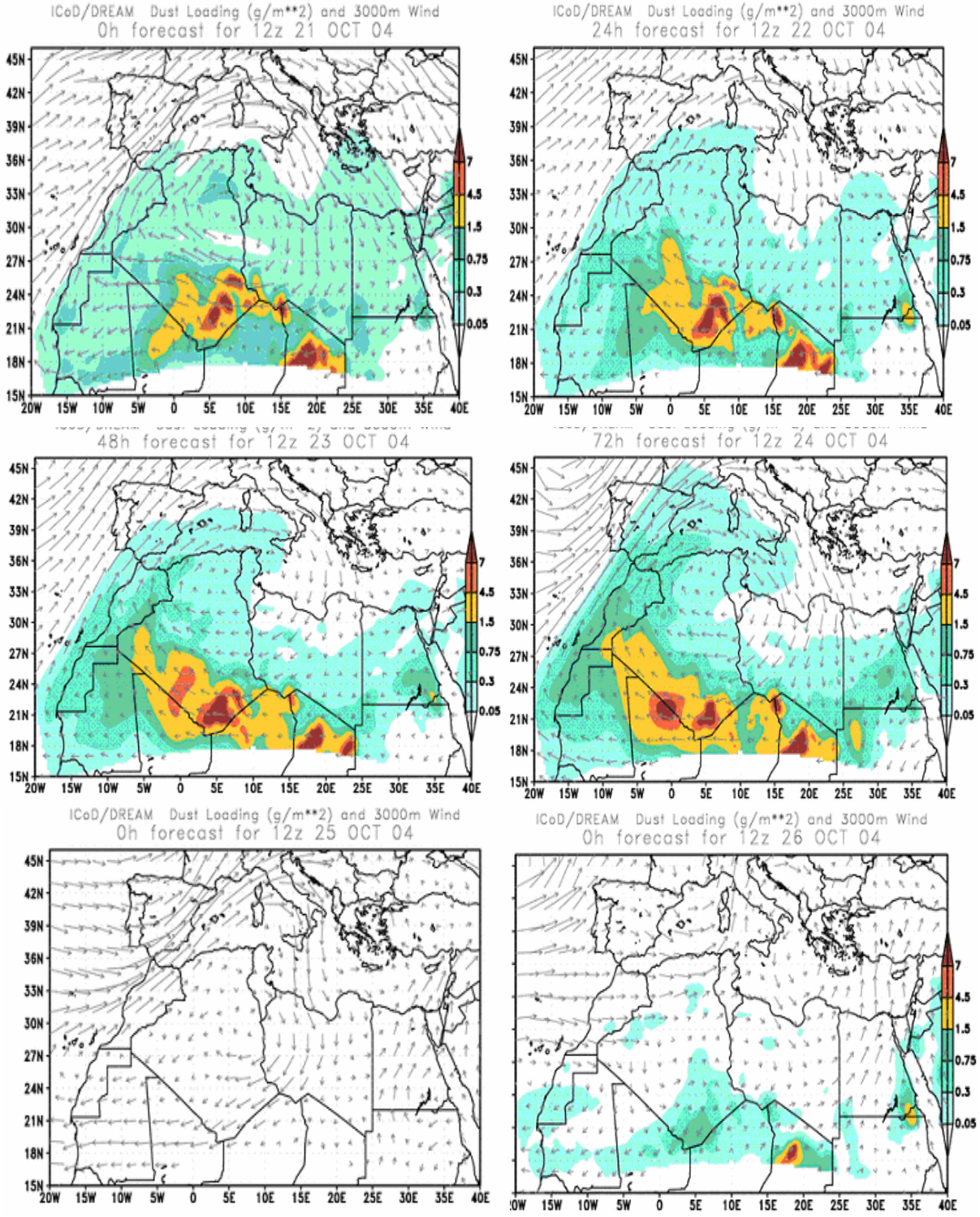


Figura A4 – Índice de aerossóis, estimado pelo modelo ICod, entre os dias 21-10-2004 e 26-10-2004

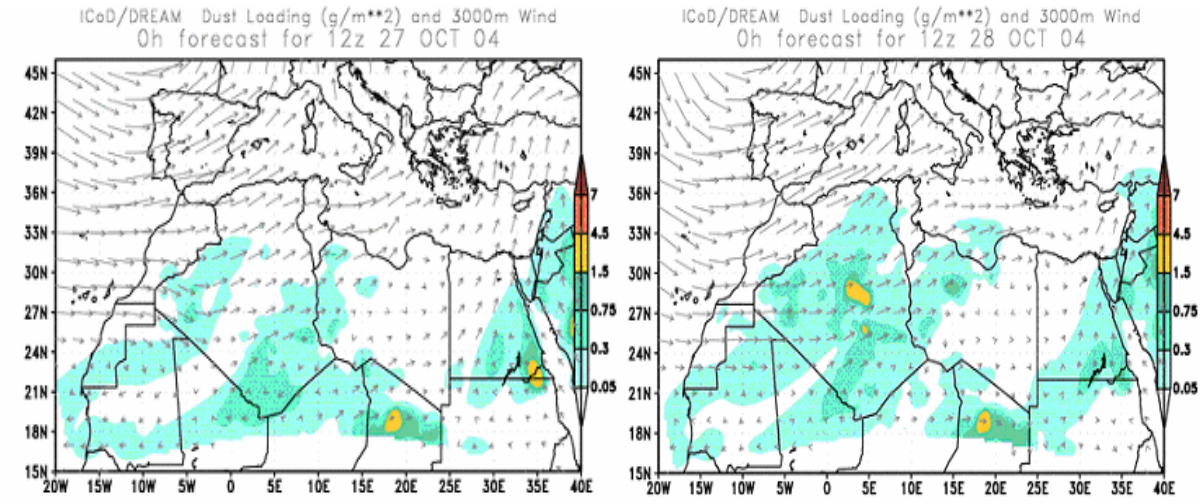


Figura A5 – Índice de aerossóis, estimado pelo modelo ICod, entre os dias 27-10-2004 e 28-10-2004

ANEXO B - APLICAÇÃO DO FLUENT À AVENIDA DA LIBERDADE

	Ligeiros	Pesados	Autocarros	Táxis	Motociclos	Total
0:00	666	6	18	120	18	828
1:00	522	3	9	102	12	648
2:00	261	3	6	81	3	354
3:00	159	6	6	57	3	231
4:00	129	6	9	42	6	192
5:00	213	27	36	54	0	330
6:00	339	30	87	102	3	561
7:00	612	57	126	141	12	948
8:00	1437	72	129	312	51	2001
9:00	1536	72	135	453	81	2277
10:00	1674	99	90	522	96	2481
11:00	1773	84	84	534	93	2568
12:00	2133	36	120	519	111	2919
13:00	1521	51	93	441	105	2211
14:00	1782	24	120	456	156	2538
15:00	2091	24	90	477	102	2784
16:00	1953	54	135	345	126	2613
17:00	1644	48	135	330	102	2259
18:00	1716	15	126	420	93	2370
19:00	1806	9	114	408	60	2397
20:00	1770	6	90	309	36	2211
21:00	1473	15	63	288	24	1863
22:00	1095	12	42	210	45	1404
23:00	**936**	**9**	**33**	**165**	**30**	1173

Figura B1 – Contagens de tráfego efectuadas na Avenida da Liberdade no dia 23-9-2004

	Ligeiros	Pesados	Motociclos
0:00	95	3	2
1:00	96	2	2
2:00	97	3	1
3:00	94	5	1
4:00	89	8	3
5:00	81	19	0
6:00	79	21	1
7:00	79	19	1
8:00	87	10	3
9:00	87	9	4
10:00	89	8	4
11:00	90	7	4
12:00	91	5	4
13:00	89	7	5
14:00	88	6	6
15:00	92	4	4
16:00	88	7	5
17:00	87	8	5
18:00	90	6	4
19:00	92	5	3
20:00	94	4	2
21:00	95	4	1
22:00	93	4	3
23:00	94	4	3

Figura B2 – Prevalência de veículos ligeiros, pesados e motociclos, em circulação na Avenida da Liberdade no dia 23-9-2004

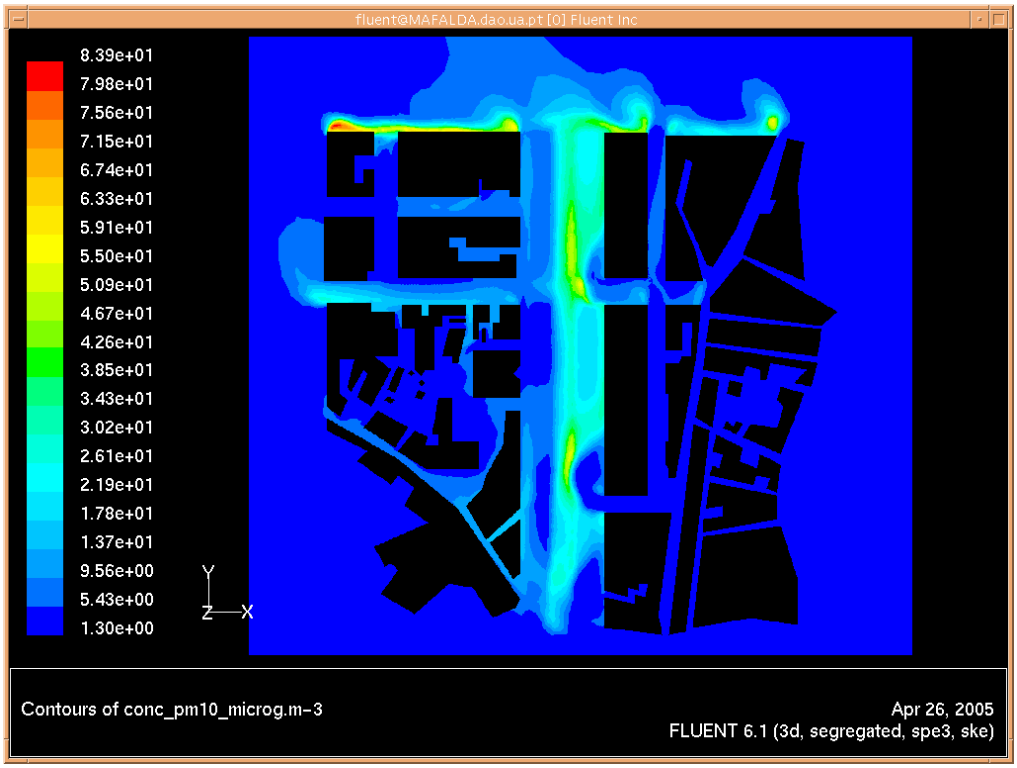


Figura B3 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 17 às 18 horas, do dia 19-5-2004

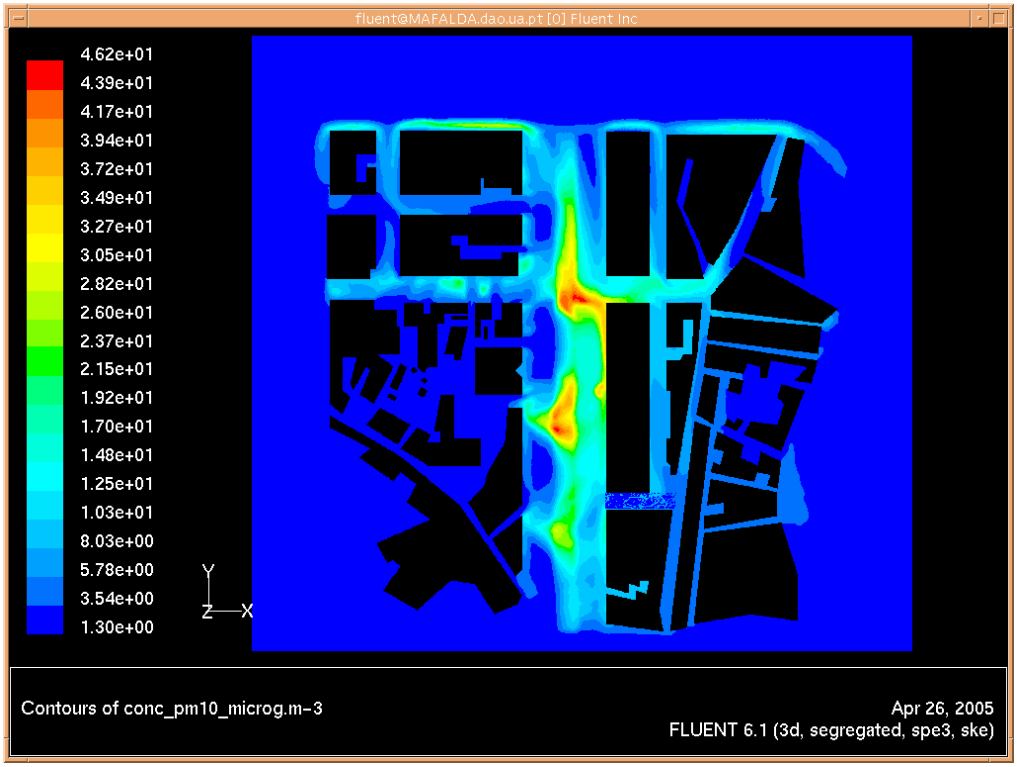


Figura B4 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 18 às 19 horas, do dia 19-5-2004

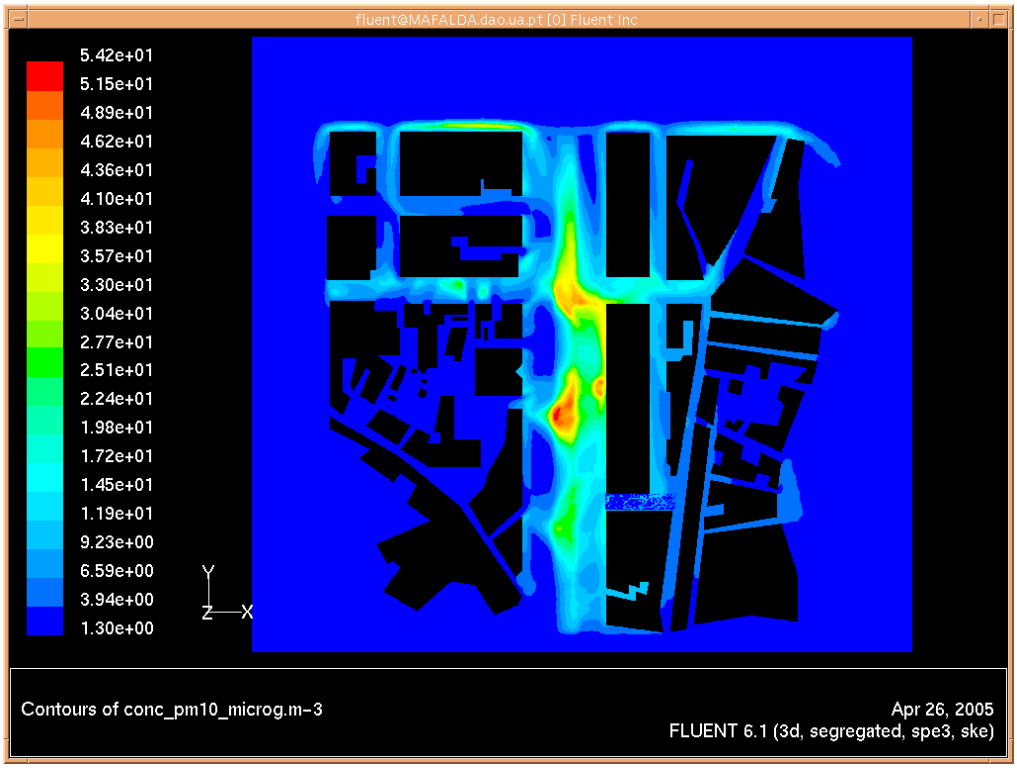


Figura B5 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 19 às 20 horas, do dia 19-5-2004

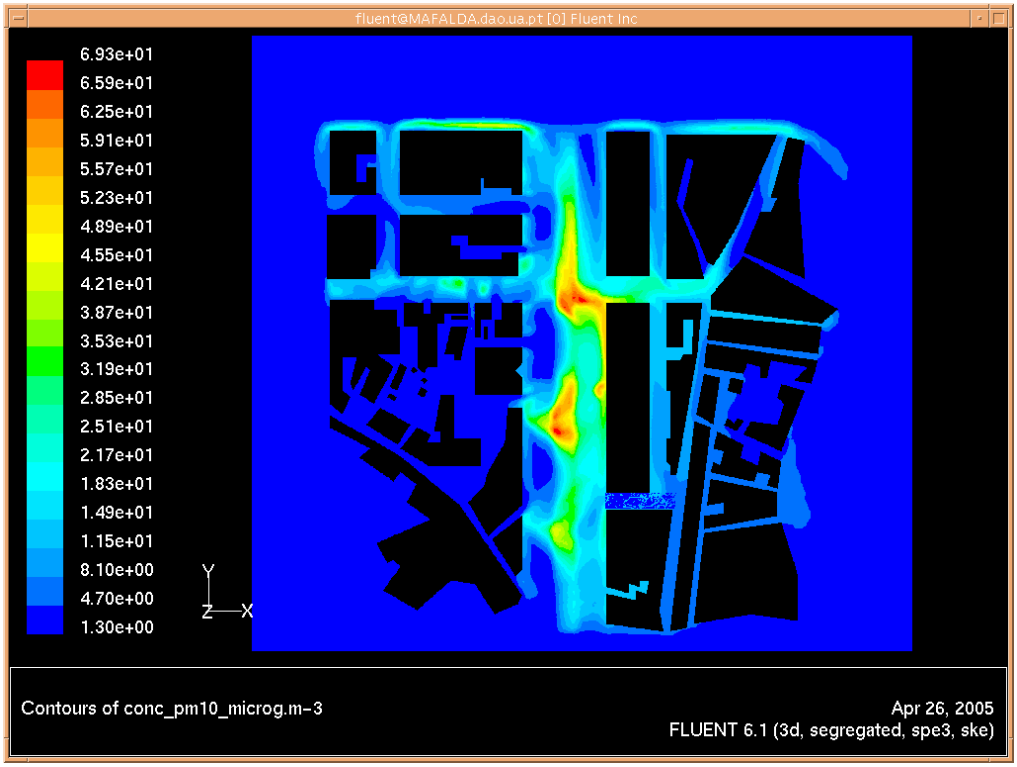


Figura B6 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 20 às 21 horas, do dia 19-5-2004

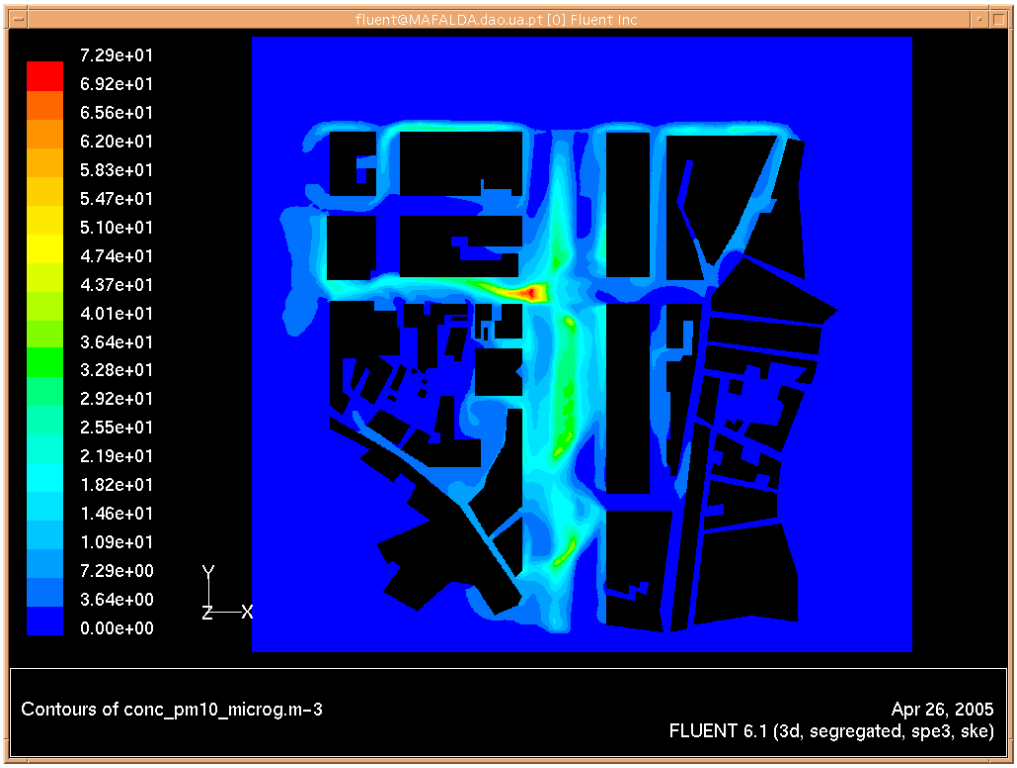


Figura B7 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (em $\mu g.m^{-3}$), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 21 às 22 horas, do dia 19-5-2004

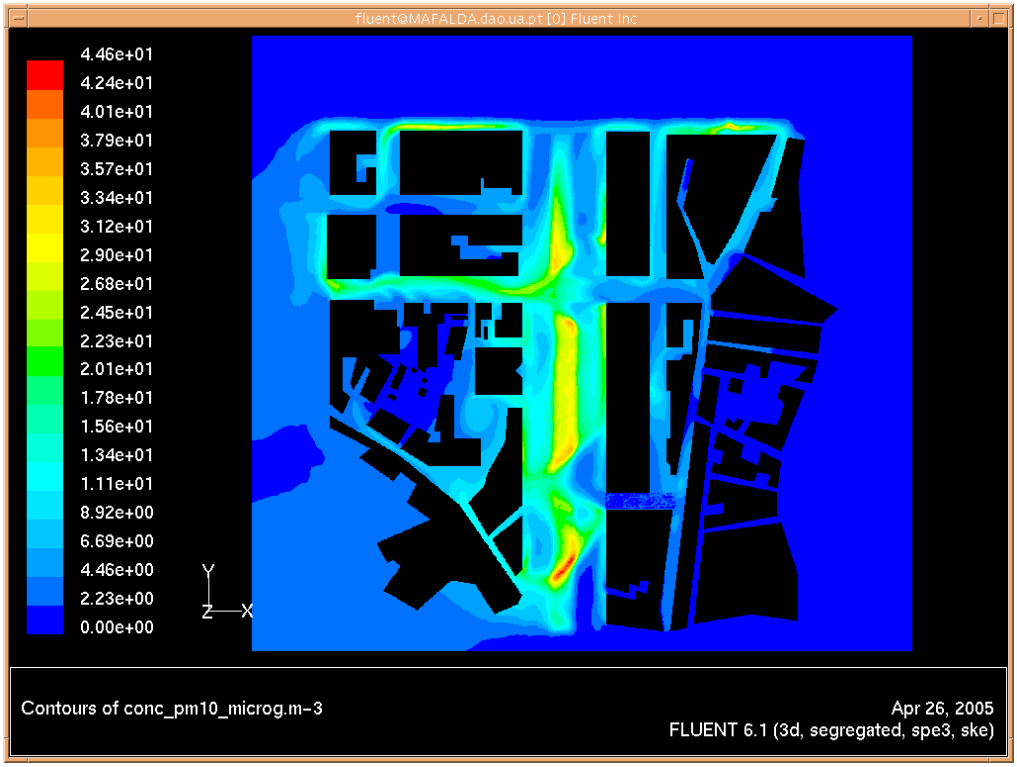


Figura B8 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} ($\mu g/m^3$), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 22 às 23 horas, do dia 19-5-2004

Figura B9 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (em $\mu g.m^{-3}$), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 23 às 24 horas, do dia 19-5-2004

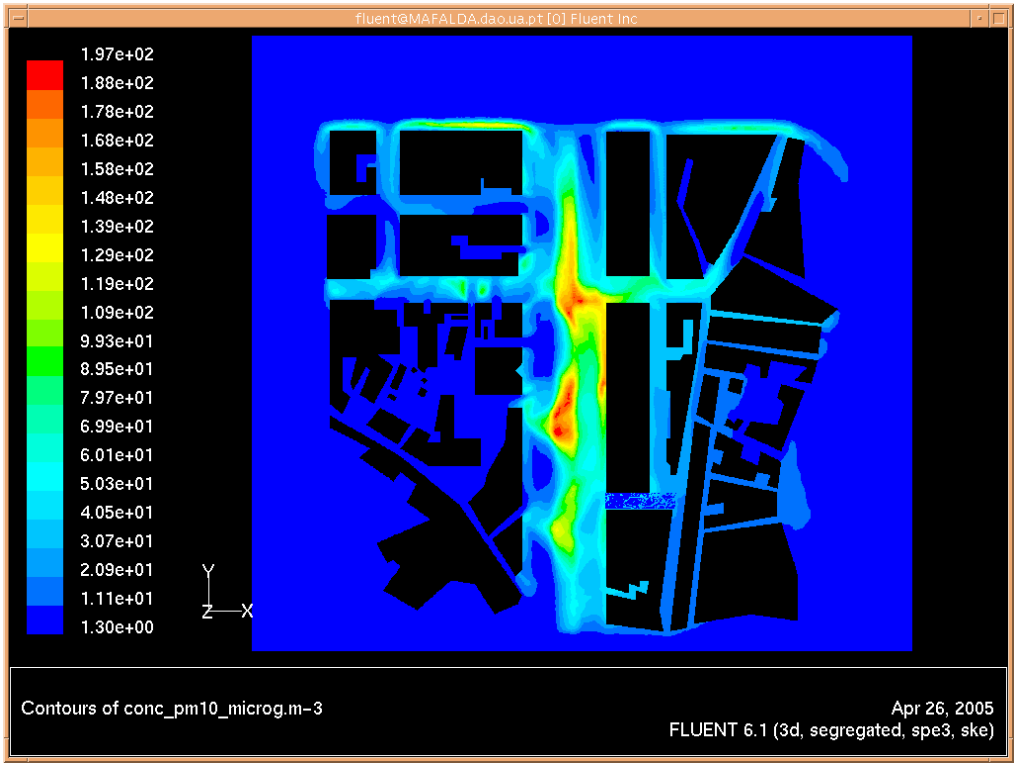


Figura B10 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} ($\mu g/m^3$), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 0 às 1 hora, do dia 20-5-2004

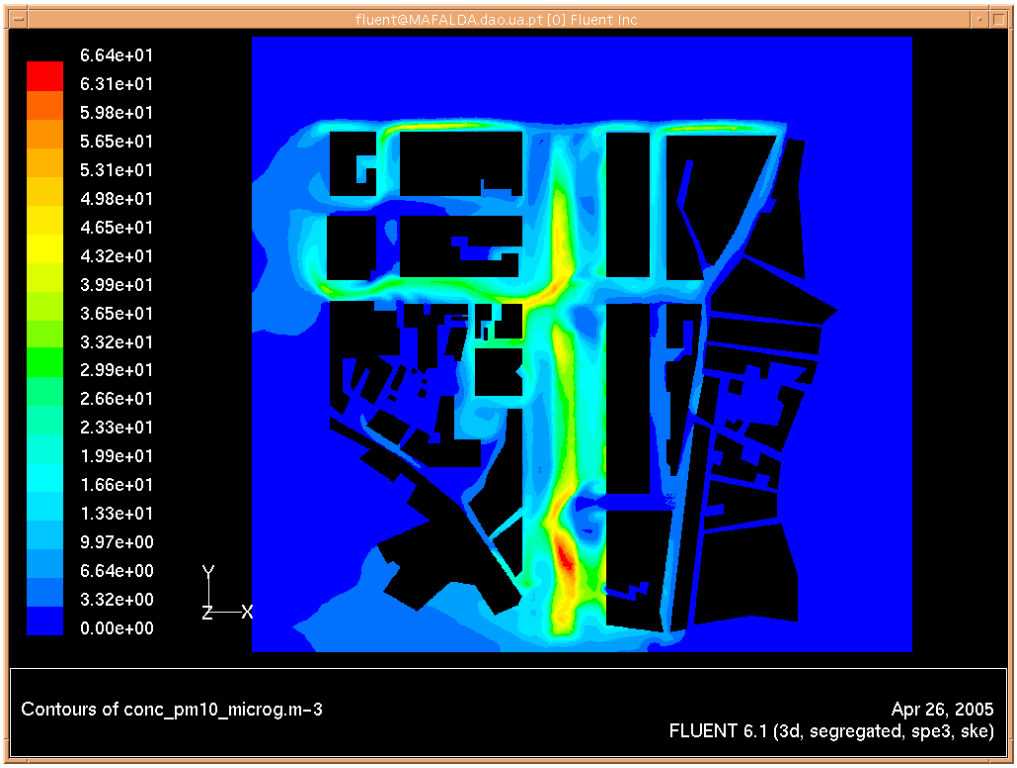


Figura B11 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período da 1 às 2 horas, do dia 20-5-2004

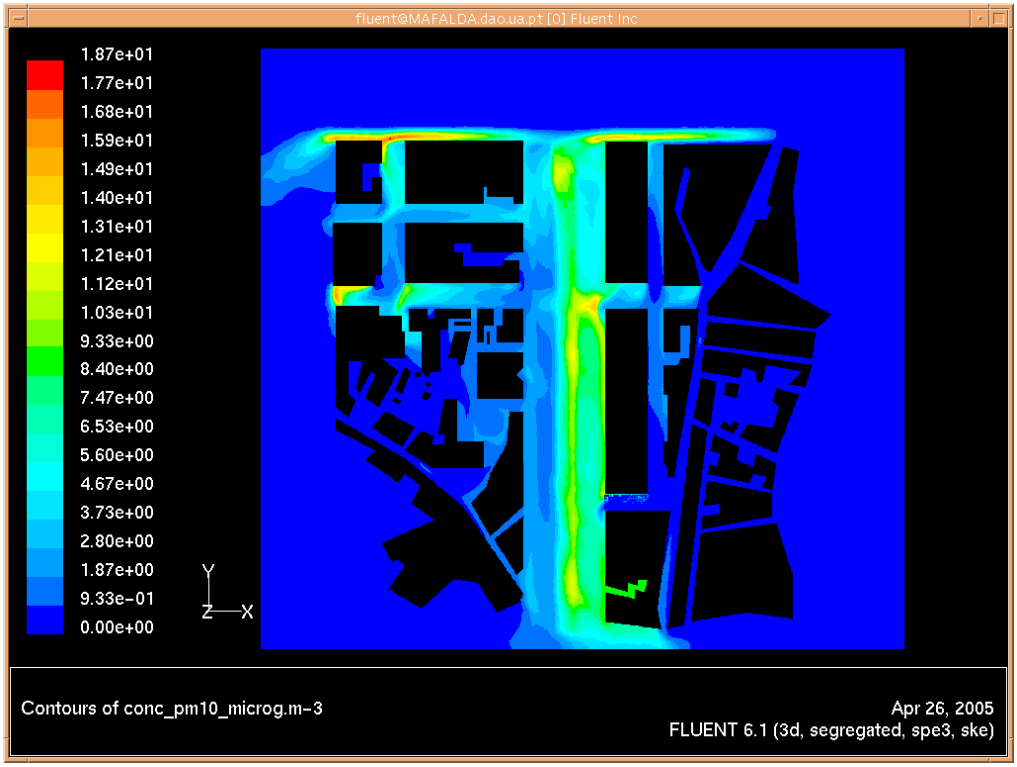


Figura B12 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 2 às 3 horas, do dia 20-5-2004

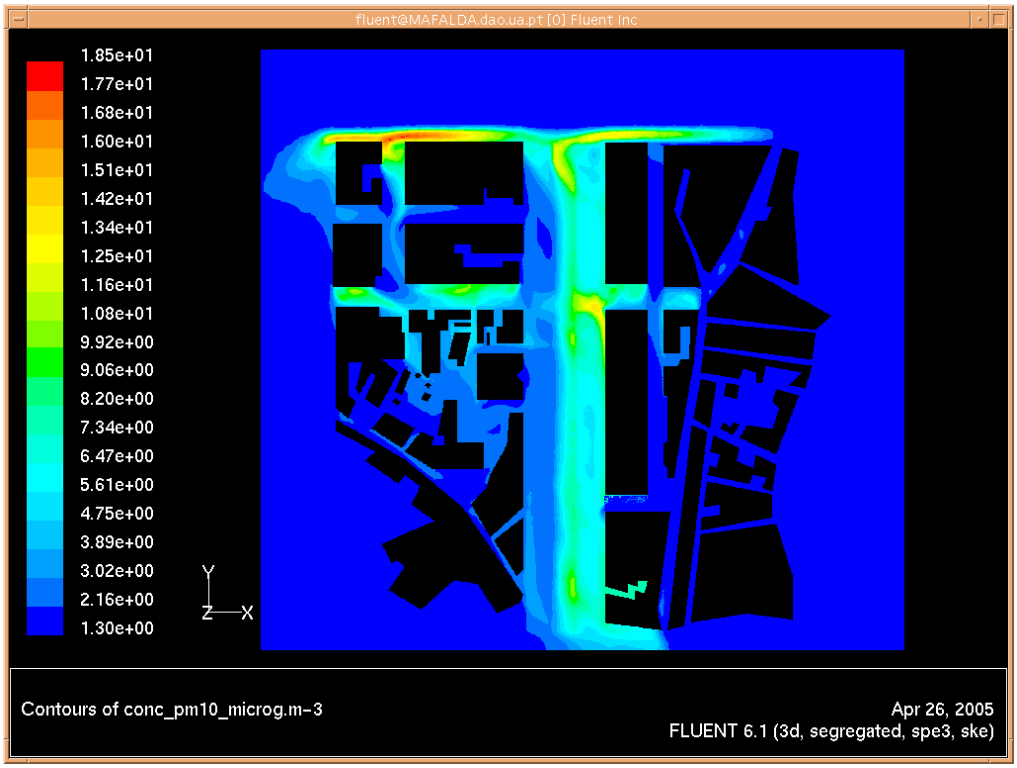


Figura B13 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 3 às 4 horas, do dia 20-5-2004

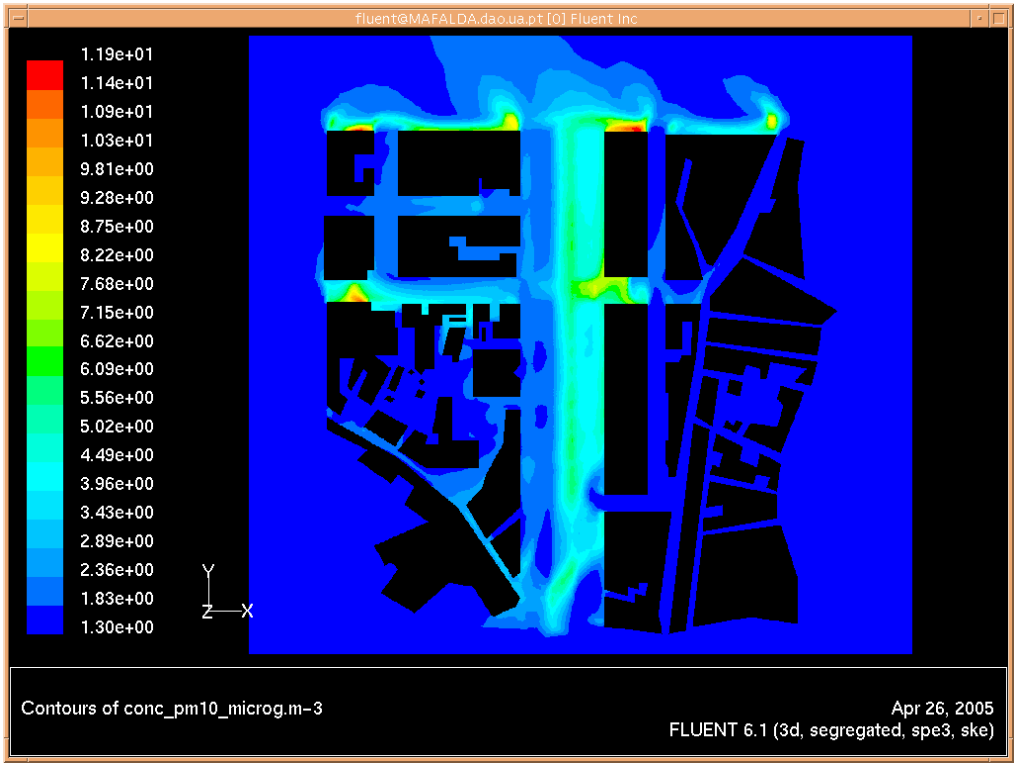


Figura B14 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 4 às 5 horas, do dia 20-5-2004

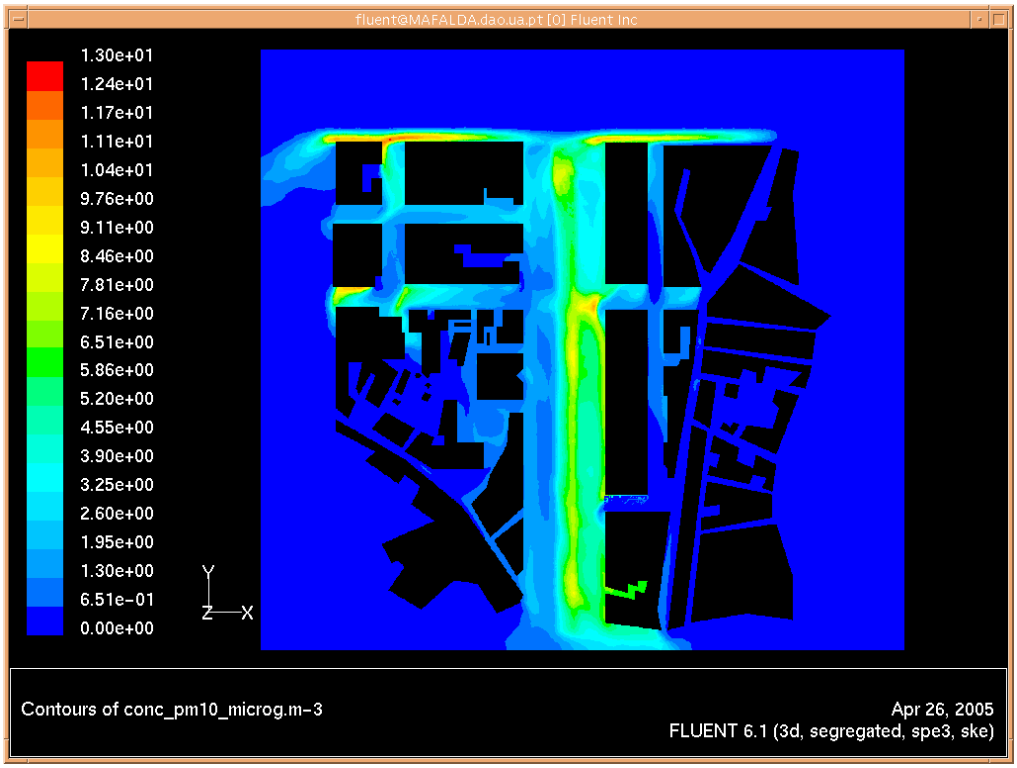


Figura B15 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 5 às 6 horas, do dia 20-5-2004

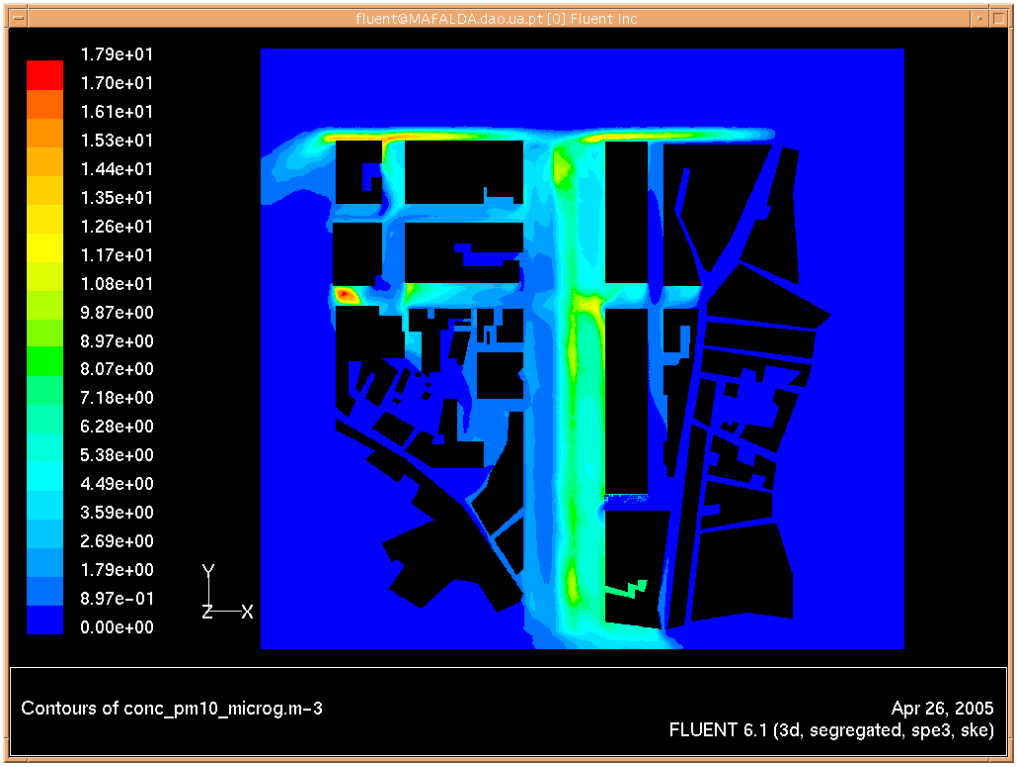


Figura B16 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 6 às 7 horas, do dia 20-5-2004

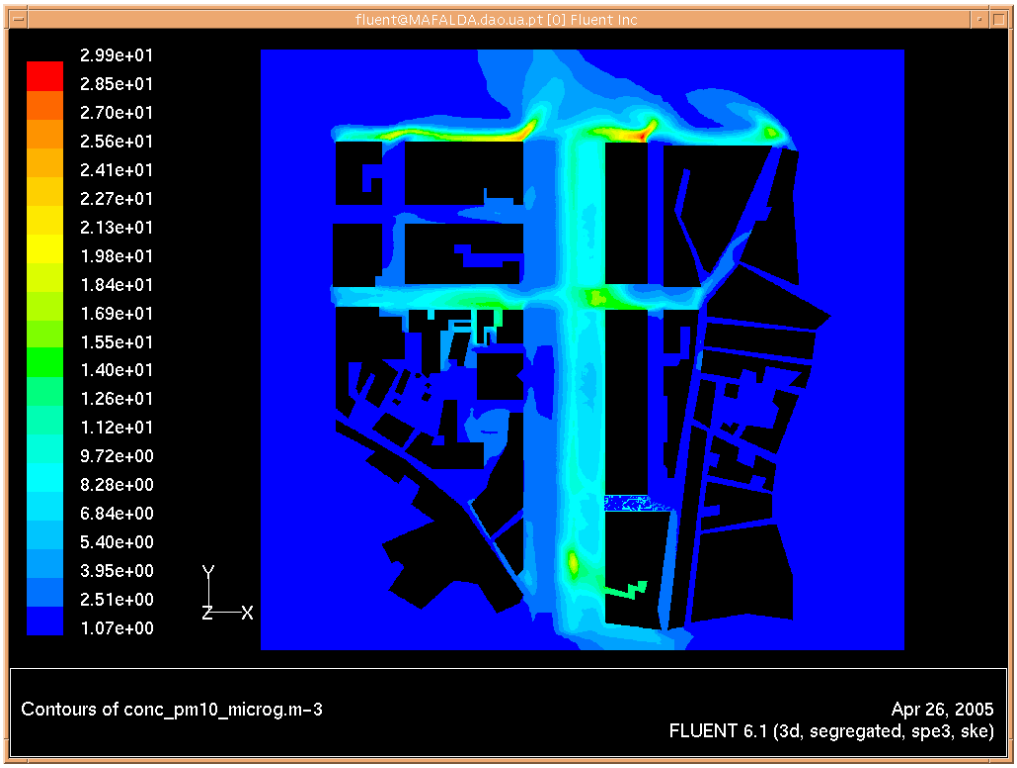


Figura B17 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 7 às 8 horas, do dia 20-5-2004

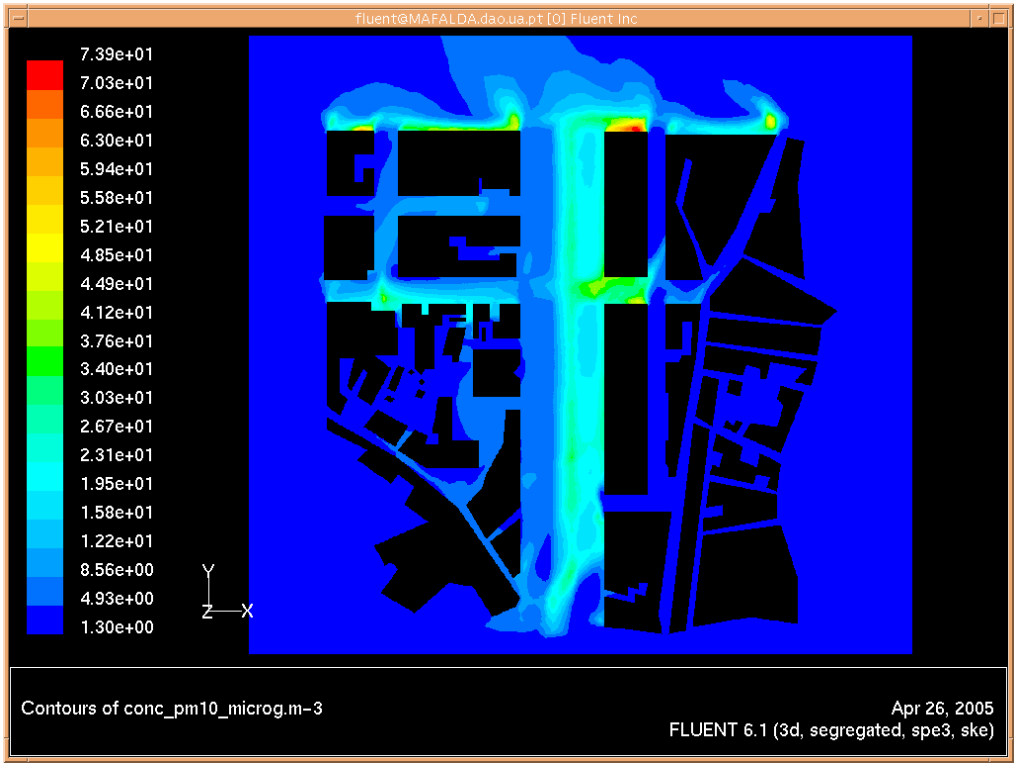


Figura B18 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 8 às 9 horas, do dia 20-5-2004

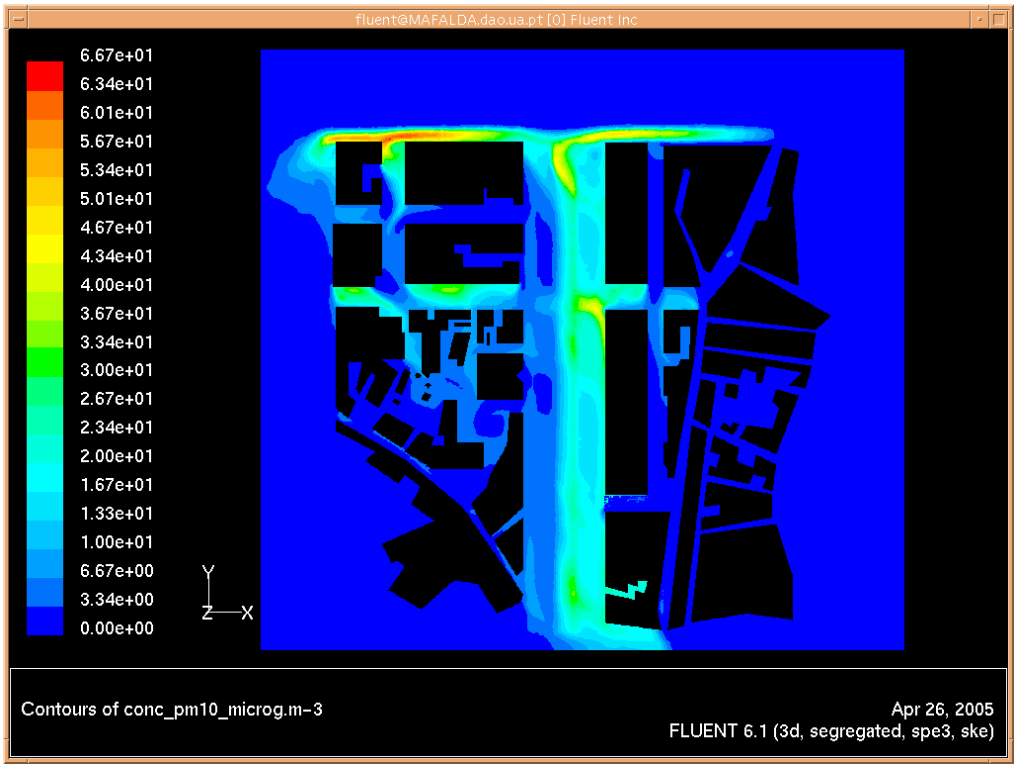


Figura B19 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 9 às 10 horas, do dia 20-5-2004

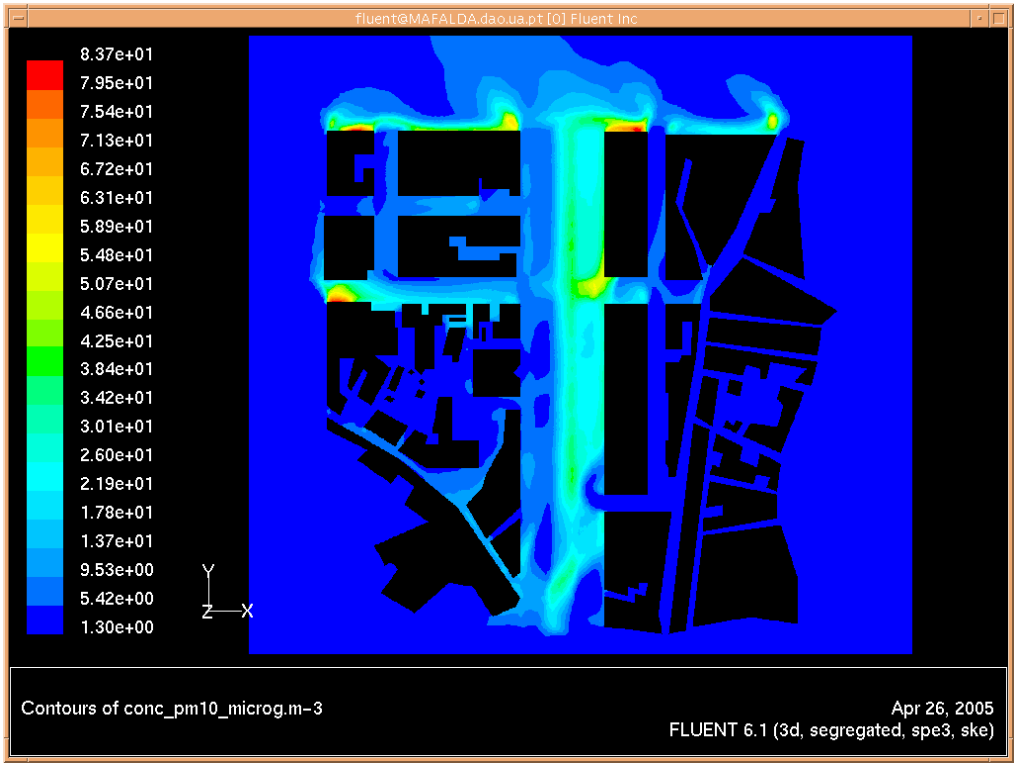


Figura B20 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 10 às 11 horas, do dia 20-5-2004

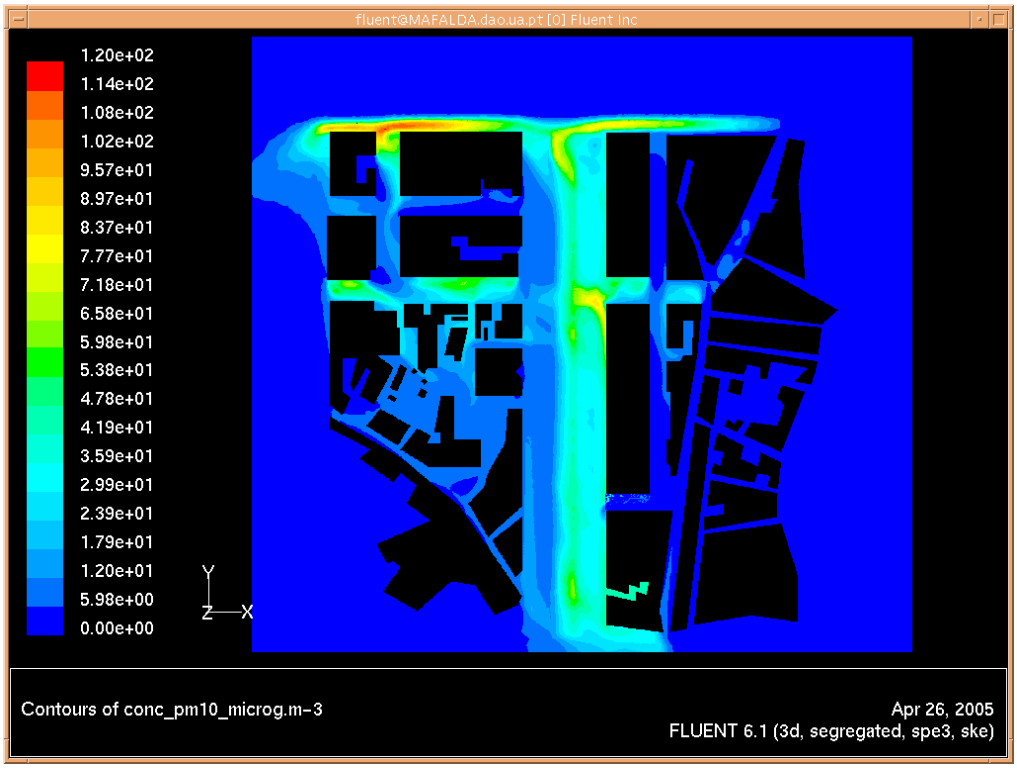


Figura B21 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 11 às 12 horas, do dia 20-5-2004

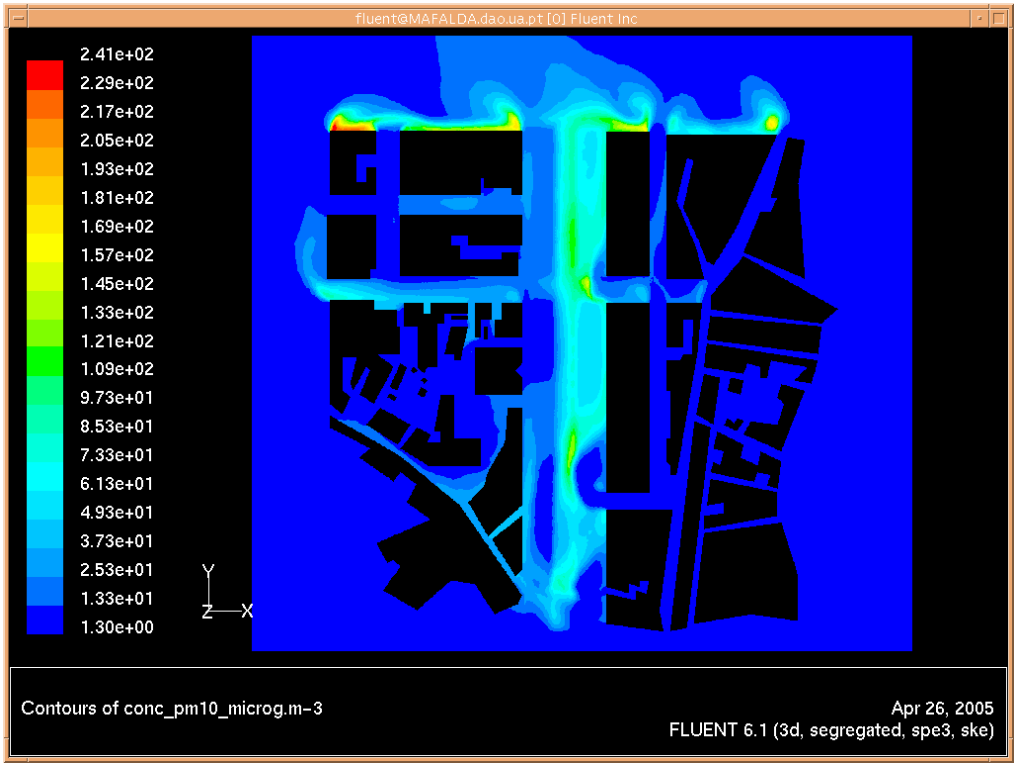


Figura B22 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 12 às 13 horas, do dia 20-5-2004

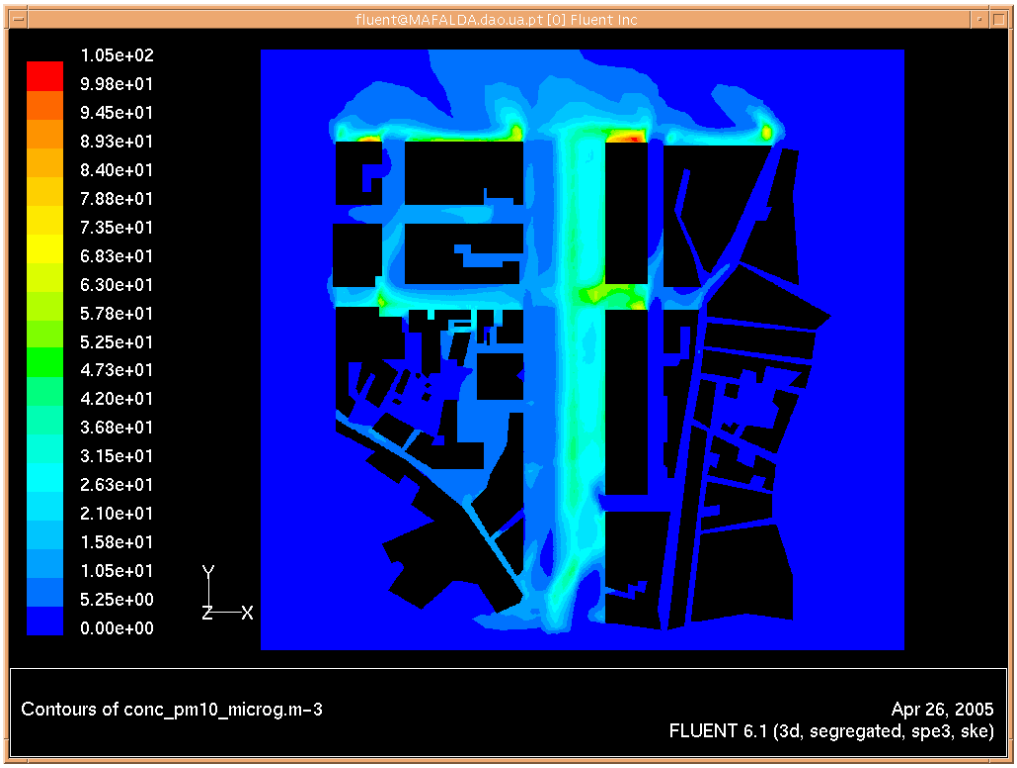


Figura B23 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 13 às 14 horas, do dia 20-5-2004

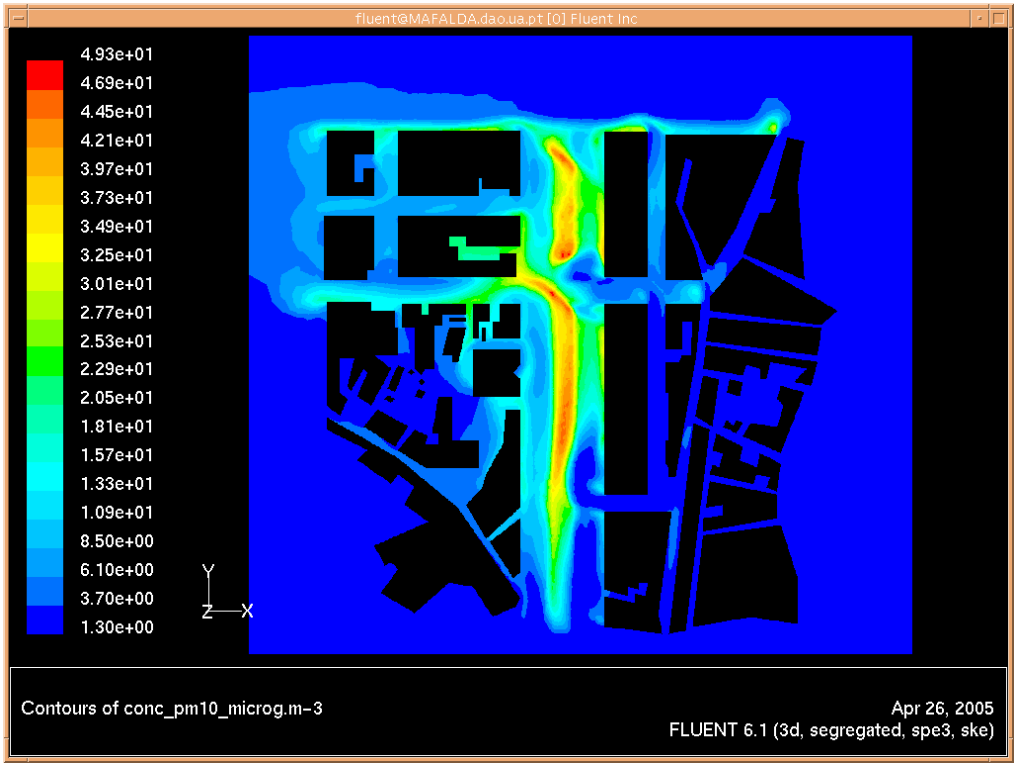


Figura B24 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 14 às 15 horas, do dia 20-5-2004

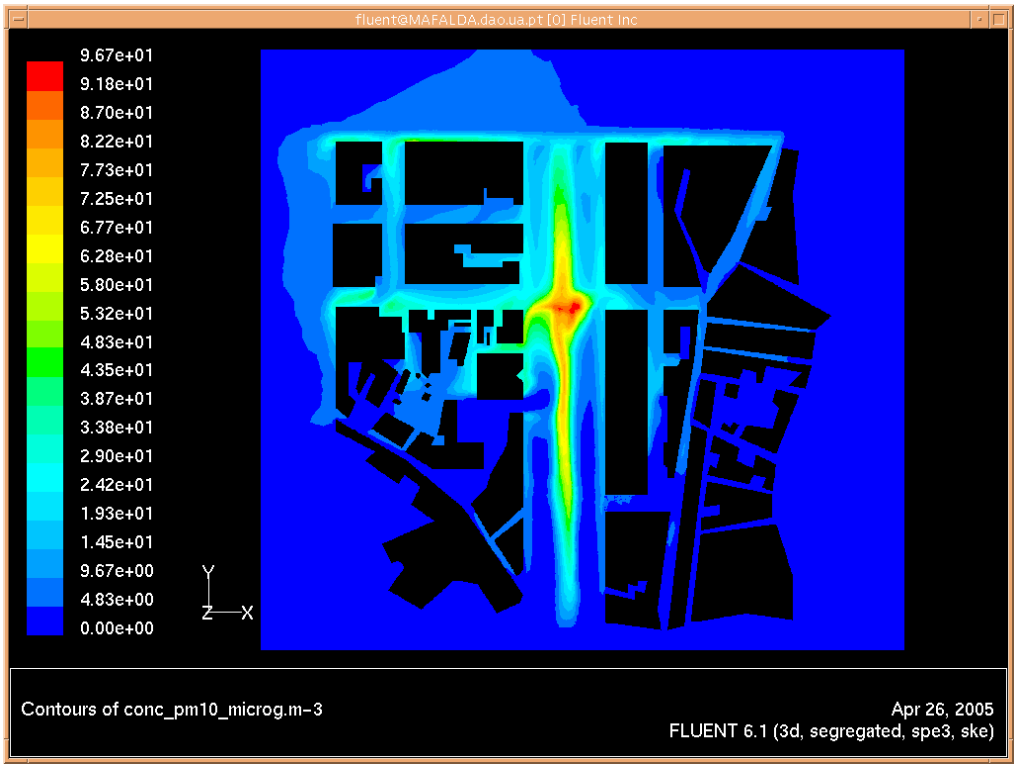


Figura B25 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 15 às 16 horas, do dia 20-5-2004

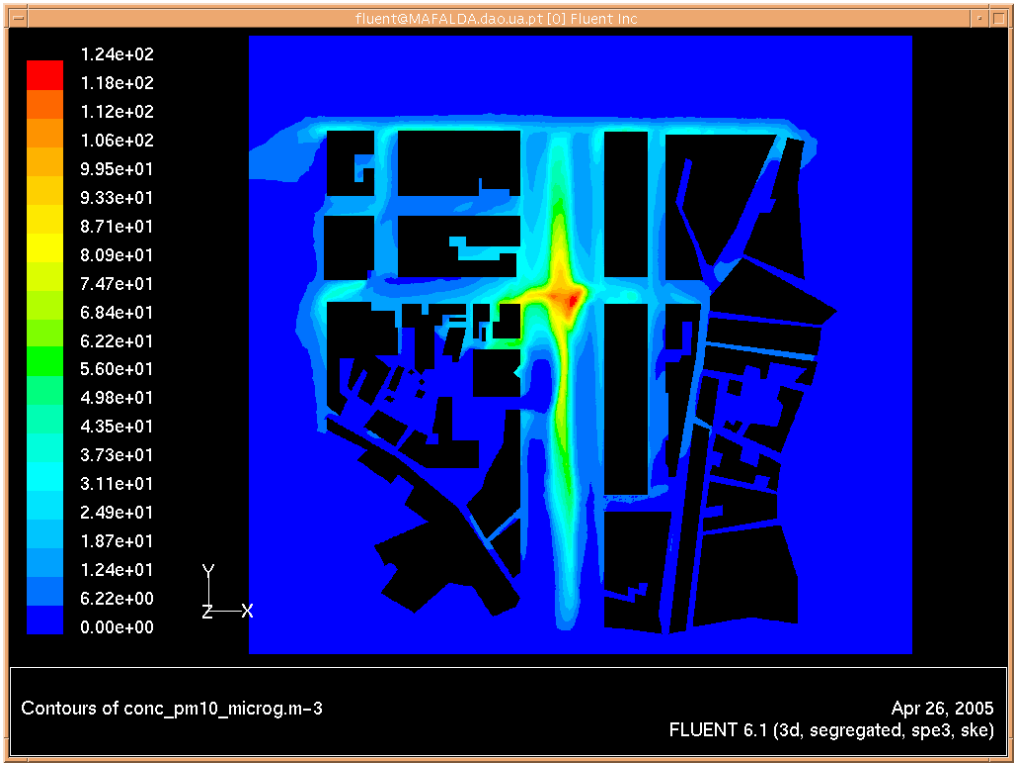


Figura B26 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 16 às 17 horas, do dia 20-5-2004

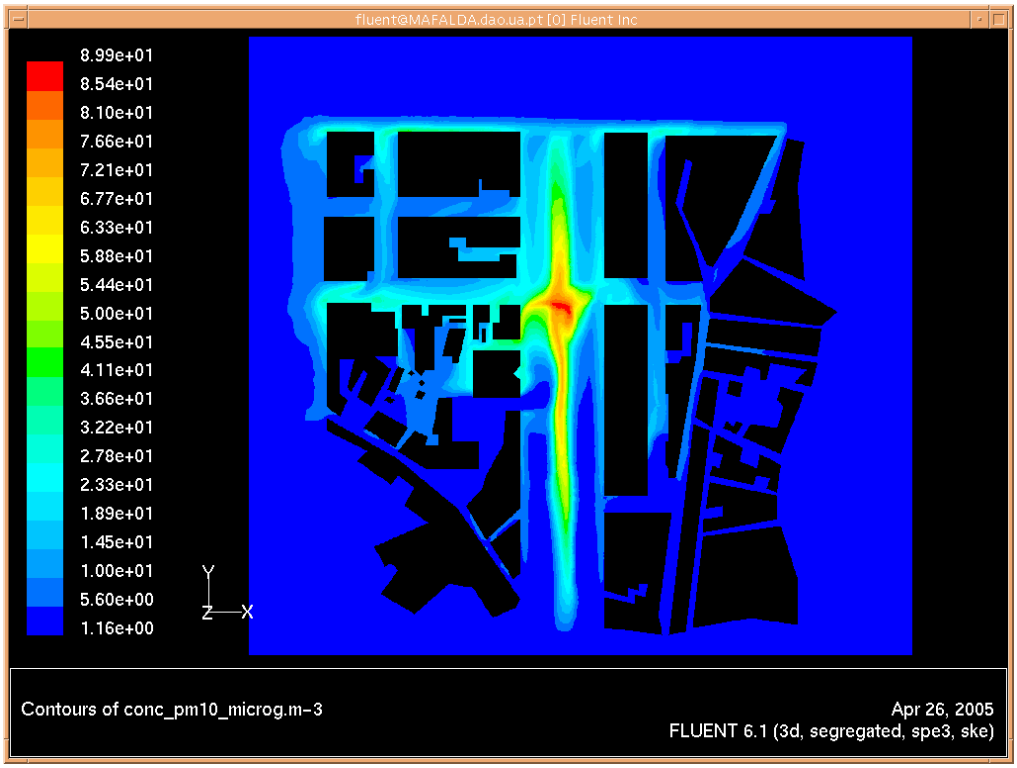


Figura B27 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 17 às 18 horas, do dia 20-5-2004

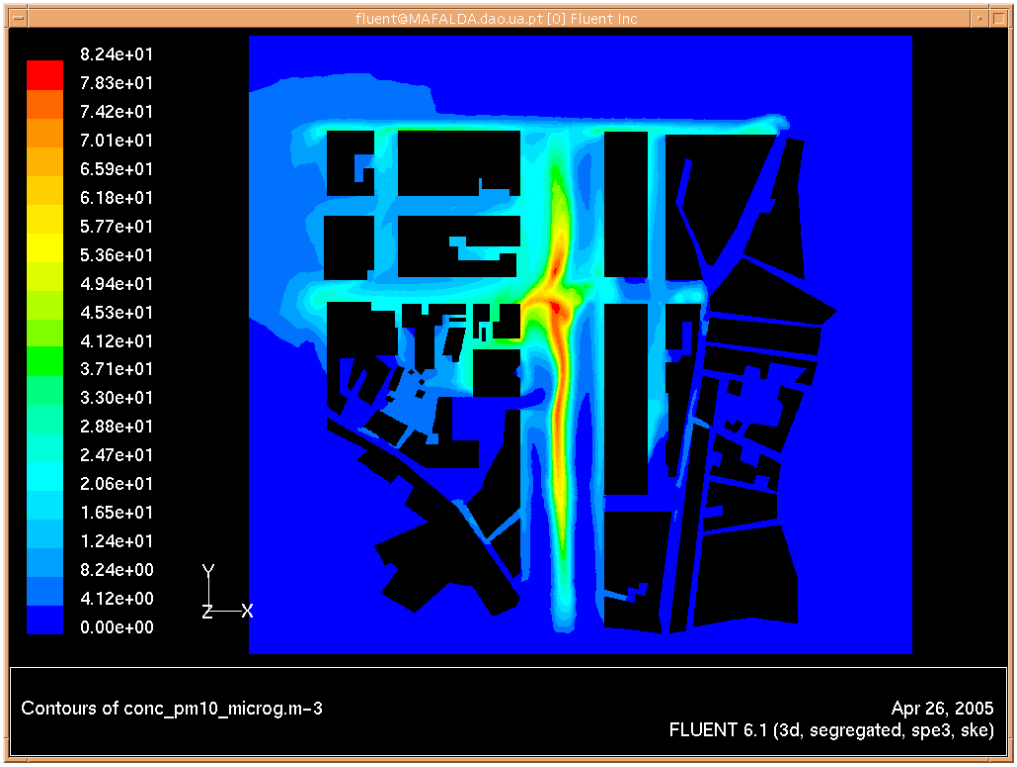


Figura B28 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 18 às 19 horas, do dia 20-5-2004

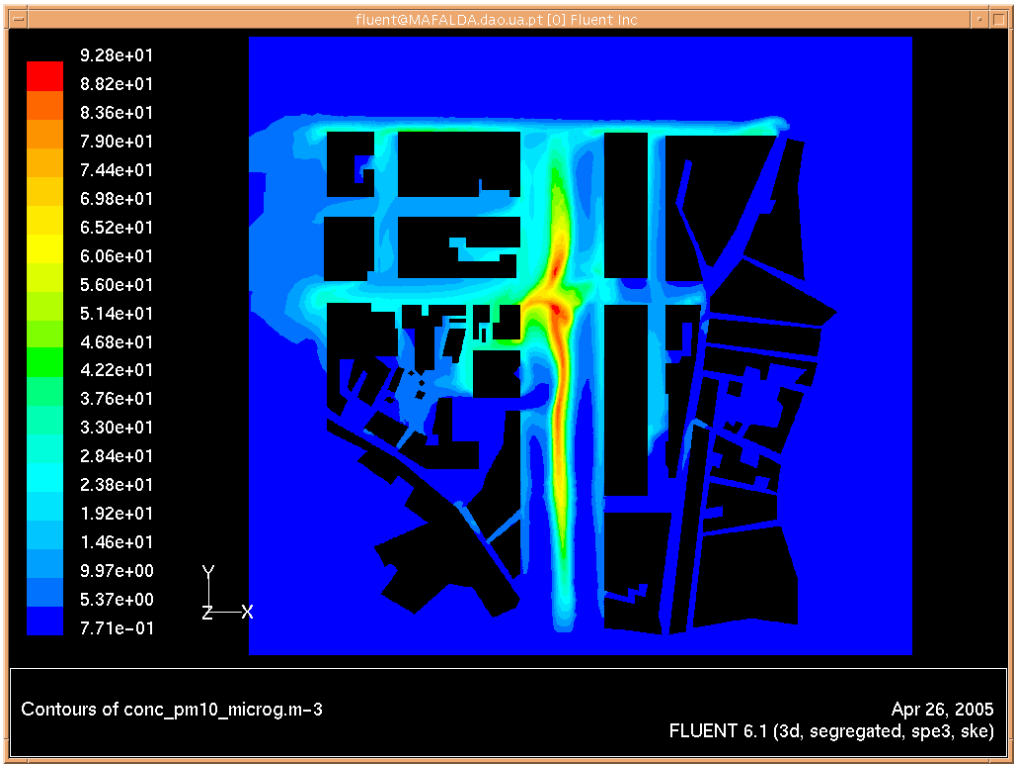


Figura B29 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 19 às 20 horas, do dia 20-5-2004

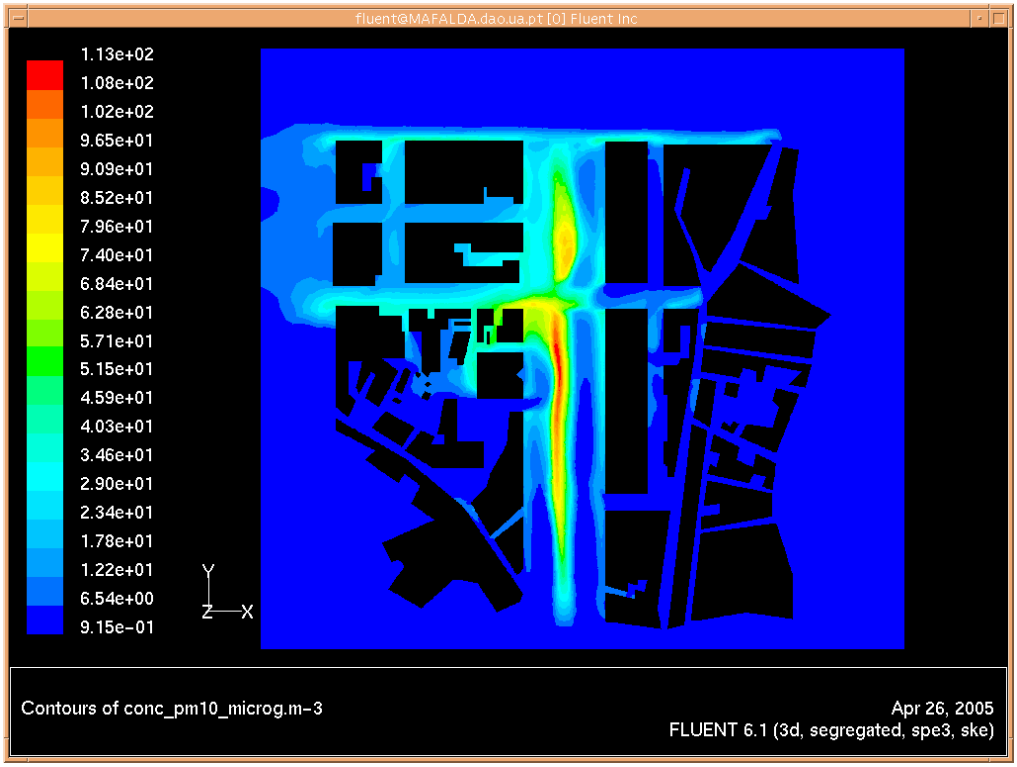


Figura B30 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 20 às 21 horas, do dia 20-5-2004

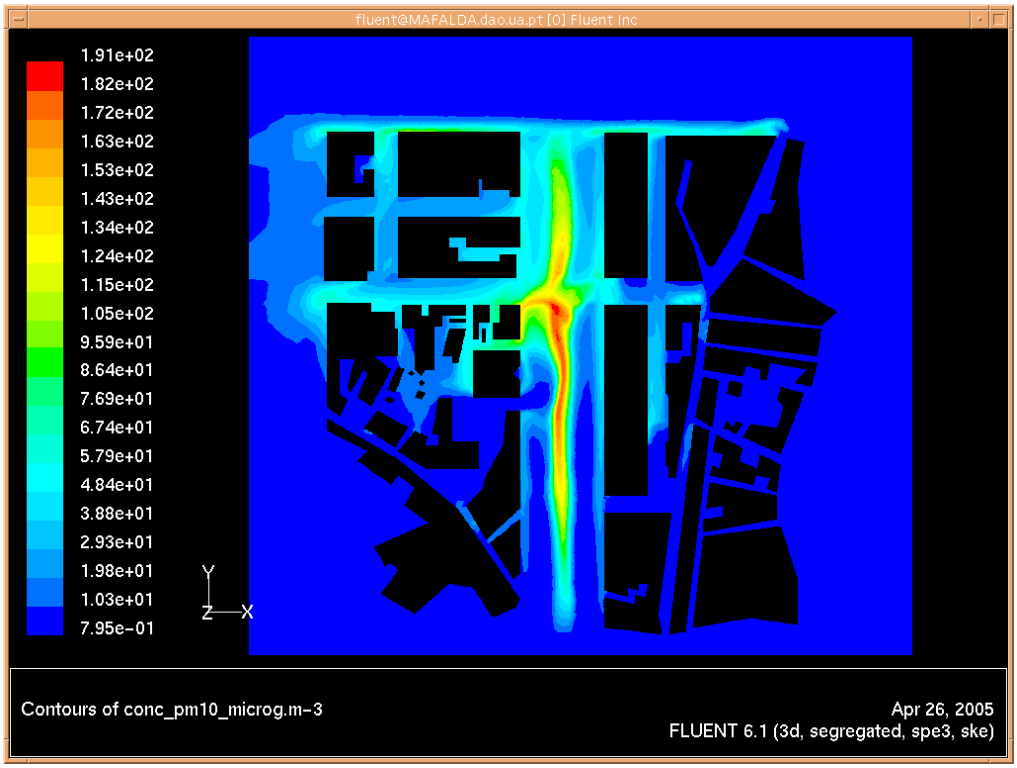


Figura B31 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 21 às 22 horas, do dia 20-5-2004

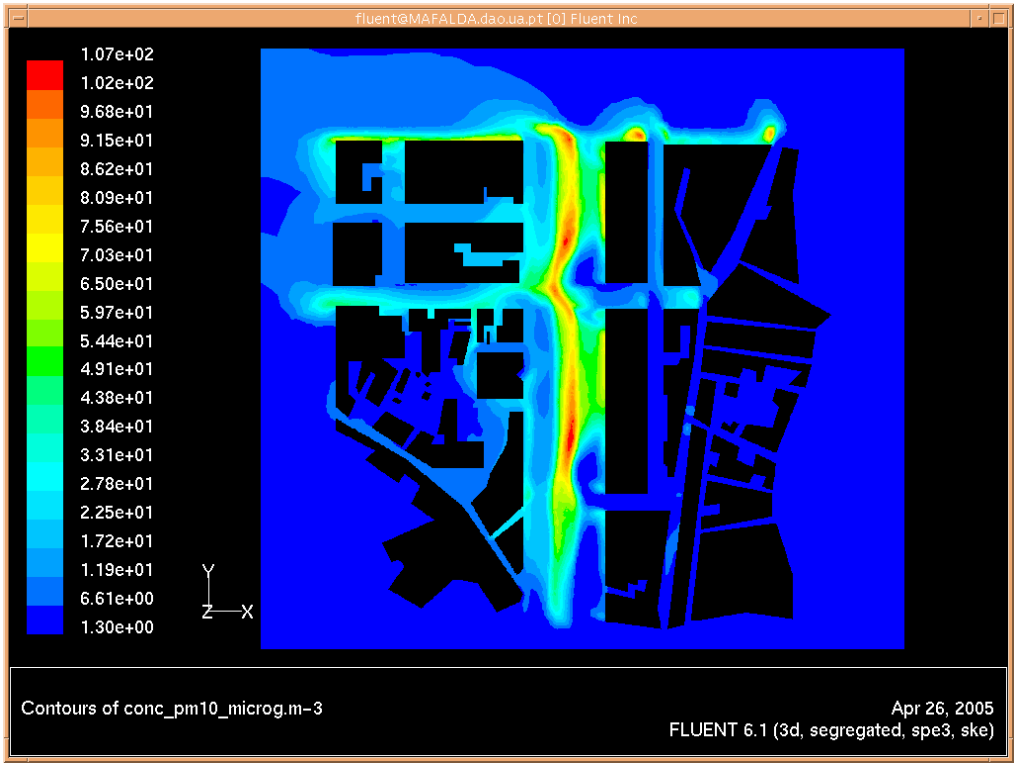


Figura B32 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 22 às 23 horas, do dia 20-5-2004

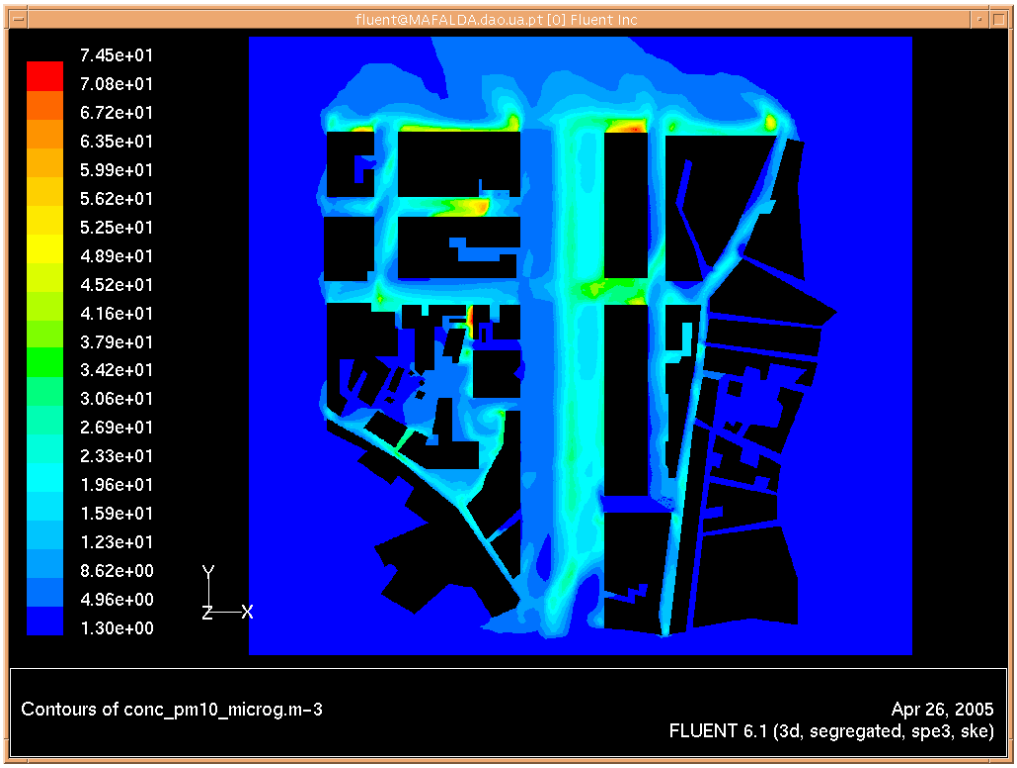


Figura B33 – Campo horizontal (a 3 m) de concentrações de PM_{10} (µg/m³), simulado pelo FLUENT para a Avenida da Liberdade, no período das 23 às 0 horas, do dia 20-5-2004

ÍNDICE GERAL

LISTA DE FIGURAS ____ *iii*

LISTA DE TABELAS ____ *ix*

LISTA DE ACRÓNIMOS ____ *xi*

1. INTRODUÇÃO ____ *1*

2. QUALIDADE DO AR URBANO ____ *4*

2.1. Atmosfera urbana ____ **5**

2.2. O veículo automóvel como fonte urbana de poluição atmosférica ____ **9**

2.3. Legislação aplicável ____ **13**

2.4. Critérios para a localização e representatividade das estações de qualidade do ar ____ **16**

3. CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE PARTÍCULAS EM LISBOA ____ *20*

3.1. Metodologia ____ **21**

3.2. Selecção e caracterização dos locais de medição ____ **23**

3.3. Dados Meteorológicos ____ **25**

3.4. Resultados e discussão ____ **25**

3.4.1. Eixo Norte-Sul ____ **30**

3.4.2. Segunda Circular ____ **32**

3.4.3. Av. Marechal Gomes da Costa ____ **34**

3.4.4. Saldanha ____ **36**

3.4.5. Avenida da Liberdade ____ **38**

4. CAMPANHA DE QUALIDADE DO AR EM ENTRECAMPOS ____ *40*

4.1. Metodologia ____ **40**

4.2. Selecção e caracterização dos locais de medição ____ **43**

4.3. Dados Meteorológicos ____ **45**

4.4. Apresentação e análise dos resultados ____ **46**

4.4.1. Dióxido de azoto 51

4.4.2. Monóxido de Carbono 57

4.4.3. Partículas: PM_{10} 59

5. CAMPANHA DE QUALIDADE DO AR NA AVENIDA DA LIBERDADE *64*

5.1. Metodologia 64

5.2. Selecção e caracterização dos locais de medição 66

5.3. Dados Meteorológicos 68

5.4. Apresentação e análise dos resultados 69

5.4.1. Dióxido de Azoto 73

5.4.2. Monóxido de carbono 76

5.4.3. Partículas (PM_{10}) 80

5.5. Aplicação do modelo FLUENT à Avenida da Liberdade - PM_{10} 85

5.5.1. Descrição do modelo numérico FLUENT 86

5.5.2. Metodologia 89

5.5.3. Resultados da simulação 92

6. CONCLUSÕES *95*

7. REFERÊNCIAS *98*

ANEXOS 103

ANEXO A - DETECÇÃO DE EVENTOS NATURAIS - MODELO IcoD 104

ANEXO B - APLICAÇÃO DO FLUENT À AVENIDA DA LIBERDADE 109

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: AMOSTRADOR DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DERENDA® LVS 3.1. 21

FIGURA 2: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO AMOSTRADOR UTILIZADO. 22

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM COM LVS. 24

FIGURA 4 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE INTENSIDADE DO VENTO (M/S), DE QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO (MM) E DE TEMPERATURA (ºC), ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004, MEDIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO AEROPORTO DE LISBOA. 25

FIGURA 5 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE PM_{10}, MEDIDOS A PARTIR DAS 9 HORAS DO DIA EM CAUSA, DURANTE 24 HORAS, NAS EQA URBANAS DE FUNDO DOS OLIVAIS, LOURES E REBOLEIRA, ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004; RESULTADOS OBTIDOS NOS LVS, REPRESENTADOS POR MARCAS COLORIDAS (ESQUERDA); E DIAGRAMA COM A LOCALIZAÇÃO DAS EQA DA REBOLEIRA, LOURES E OLIVAIS (DIREITA). 28

FIGURA 6 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE PM_{10}, MEDIDOS NO EIXO NORTE-SUL: CENTRO ISMALI (1) E ORDEM HOSPITALEIRA DE S. JOÃO DE DEUS (2), ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004 (INDICAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E DIRECÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO; DIAGRAMA DA VIA DE TRÁFEGO E RESPECTIVOS PONTOS DE MEDIÇÃO) (EM BAIXO); FOTOS DOS LOCAIS EM CAUSA, DEVIDAMENTE ENQUADRADOS ATRAVÉS DE UM ORTOFOTOMAPA (EM CIMA). 31

FIGURA 7 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE PM_{10}, MEDIDOS NA SEGUNDA CIRCULAR: POSTO DE LIMPEZA DA CML (1) E SANTA CASA DA MISERICÓRDIA (2), ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004 (INDICAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E DIRECÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO; DIAGRAMA DA VIA DE TRÁFEGO E RESPECTIVOS PONTOS DE MEDIÇÃO) (EM BAIXO); FOTOS DOS LOCAIS EM CAUSA, DEVIDAMENTE ENQUADRADOS ATRAVÉS DE UM ORTOFOTOMAPA (EM CIMA). 33

FIGURA 8 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE PM_{10}, MEDIDOS NA AVENIDA MARECHAL GOMES DA COSTA: AIRLIQUIDE (1) E METALURGIA LUSO – ITALIANA (2), ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004 (INDICAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E DIRECÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO; DIAGRAMA DA VIA DE TRÁFEGO E RESPECTIVOS PONTOS DE MEDIÇÃO) (EM BAIXO); FOTOS DOS LOCAIS EM CAUSA, DEVIDAMENTE ENQUADRADOS ATRAVÉS DE UM ORTOFOTOMAPA (EM CIMA). 35

FIGURA 9 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE PM_{10}, MEDIDOS NO SALDANHA: ARQUITECTO CABIDA (1) E SEGURANÇA SOCIAL (2), ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004 (INDICAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E DIRECÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO; DIAGRAMA DA VIA DE TRÁFEGO E RESPECTIVOS PONTOS DE MEDIÇÃO) (EM BAIXO); FOTOS DOS LOCAIS EM CAUSA, DEVIDAMENTE ENQUADRADOS ATRAVÉS DE UM ORTOFOTOMAPA (EM CIMA). 37

FIGURA 10 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE PM_{10}, MEDIDOS NA AVENIDA DA LIBERDADE: BIBLIOTECA DO MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS (1), "ESCRITÓRIO DE ADVOGADOS" (2) E EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE (3), ENTRE 30 DE JANEIRO E 4 DE FEVEREIRO DE 2004 (INDICAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E DIRECÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO; DIAGRAMA DA VIA DE TRÁFEGO E RESPECTIVOS PONTOS DE MEDIÇÃO) (EM BAIXO); FOTOS DOS LOCAIS EM CAUSA, DEVIDAMENTE ENQUADRADOS ATRAVÉS DE UM ORTOFOTOMAPA (EM CIMA). 39

FIGURA 11: UNIDADE MÓVEL DE QUALIDADE DO AR: SNIF AIR LAB (ESQUERDA) E EQA DE ENTRECAMPOS (DIREITA). 42

FIGURA 12 – ORTOFOTOMAPAS DE LISBOA E ZONA DE ENTRECAMPOS, COM A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E RESPECTIVOS PERÍODOS DE MEDIÇÃO; INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA EQA DE ENTRECAMPOS E PRINCIPAIS VIAS DE TRÁFEGO ADJACENTES. 44

FIGURA 13 – DIAGRAMA DA LOCALIZAÇÃO DO SNIF E EQA DE ENTRECAMPOS, NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 15 E 21 DE OUTUBRO (À ESQUERDA) E ENTRE 22 E 28 DE OUTUBRO DE 2004 (À DIREITA)..... 44

FIGURA 14 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE INTENSIDADE DE VENTO (M/S), DE QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO (MM) E DE TEMPERATURA (ºC), ENTRE 15 E 28 DE OUTUBRO DE 2004, PARÂMETROS MEDIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO AEROPORTO DE LISBOA..... 45

FIGURA 15 – ROSAS-DOS-VENTOS COM AS ORIENTAÇÕES MÉDIAS HORÁRIAS RELATIVAS AOS PERÍODOS ENTRE 15 A 21 (ESQUERDA) E 22 A 28 DE OUTUBRO DE 2004 (DIREITA), OBTIDAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO AEROPORTO DE LISBOA. 46

FIGURA 16 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} OBTIDAS NA EQA E SNIF, EM BASE TEMPORAL DIÁRIA (15 A 28 DE OUTUBRO DE 2004, ENTRECAMPOS) 46

FIGURA 17 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NO_2 OBTIDAS NA EQA E SNIF, EM BASE TEMPORAL HORÁRIA (15 A 28 DE OUTUBRO DE 2004, ENTRECAMPOS) 47

FIGURA 18 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CO OBTIDAS NA EQA E SNIF, EM BASE TEMPORAL OCTO-HORÁRIA (15 A 28 DE OUTUBRO DE 2004, ENTRECAMPOS). 47

FIGURA 19 – VALORES MÉDIOS PARA O PERÍODO DE 15 A 21 DE OUTUBRO, RELATIVOS AOS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DAS CONCENTRAÇÕES DE PM_{10}, CO, NO_2 E NO, OBTIDAS NA EQA E SNIF; INDICAÇÃO DO TRÁFEGO MÉDIO HORÁRIO, EM NÚMERO DE VEÍCULOS. 48

FIGURA 20 – VALORES MÉDIOS PARA O PERÍODO DE 22 A 28 DE OUTUBRO, RELATIVOS AOS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DAS CONCENTRAÇÕES DE PM_{10}, CO, NO_2 E NO, OBTIDAS NA EQA E SNIF; INDICAÇÃO DO TRÁFEGO MÉDIO HORÁRIO, EM NÚMERO DE VEÍCULOS. 49

FIGURA 23 – VALORES MÉDIOS DE NO_2 OBTIDOS ENTRE 15 E 28 DE OUTUBRO DE 2004, NA EQA DE ENTRECAMPOS, EM FUNÇÃO DA DIRECÇÃO DO VENTO; INDICAÇÃO DA PREDOMINÂNCIA DE CADA DIRECÇÃO DO VENTO, E A RELAÇÃO MÉDIA DOS QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO VERIFICADOS PARA CADA DIRECÇÃO DE VENTO, EXPRESSA EM PERCENTAGEM. 53

FIGURA 27 – VALORES MÉDIOS DE PM_{10} OBTIDOS ENTRE 15 E 21 DE OUTUBRO DE 2004, NA EQA DE ENTRECAMPOS E SNIF, EM FUNÇÃO DA DIRECÇÃO DO VENTO. INDICAÇÃO (EM %) DA PREDOMINÂNCIA DE CADA DIRECÇÃO DO VENTO, E DA RELAÇÃO MÉDIA DOS QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO OBSERVADOS PARA CADA DIRECÇÃO E INTENSIDADE DO VENTO (M/S)..... 60

FIGURA 28 – VALORES MÉDIOS DE PM_{10} OBTIDOS ENTRE 22 E 28 DE OUTUBRO DE 2004, NA EQA DE ENTRECAMPOS E SNIF, EM FUNÇÃO DA DIRECÇÃO DO VENTO. INDICAÇÃO (EM %) DA PREDOMINÂNCIA DE CADA DIRECÇÃO DO VENTO, E A RELAÇÃO MÉDIA DOS QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO OBSERVADOS PARA CADA DIRECÇÃO E INTENSIDADE DO VENTO (M/S)..... 60

FIGURA 30: UNIDADE MÓVEL DE QUALIDADE DO AR: SNIF AIR LAB (ESQUERDA) E EQA DA AV. LIBERDADE (DIREITA). 64

FIGURA 31 – DIAGRAMA DA LOCALIZAÇÃO DO SNIF (QUADRADO PREENCHIDO A COR VERMELHA) E EQA (AZUL) NA AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE AS 15 HORAS DE DIA 16 E AS 9 HORAS DE 19 DE MAIO (À ESQUERDA), E ENTRE AS 15 HORAS DE DIA 19 E AS 9 HORAS DE 21 DE MAIO DE 2004 (À DIREITA). 66

FIGURA 32 – ORTOFOTOMAPAS DE LISBOA (EM CIMA À DIREITA) E ZONA DA AVENIDA DA LIBERDADE, ENTRE O MARQUÊS DE POMBAL E OS RESTAURADORES, COM A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM, E RESPECTIVOS PERÍODOS DE MEDIÇÃO, INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA EQA DE ENTRECAMPOS E PRINCIPAIS VIAS DE TRÁFEGO ADJACENTES. 67

FIGURA 33 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE INTENSIDADE DE VENTO ($M.S^{-1}$), DE QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO (MM) E DE TEMPERATURA (ºC), ENTRE 16 E 21 DE MAIO DE 2004, PARÂMETROS MEDIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO AEROPORTO DE LISBOA (ESQUERDA); ROSA-DOS-VENTOS COM AS RESPECTIVAS ORIENTAÇÕES MÉDIAS HORÁRIAS DO VENTO (DIREITA). 68

FIGURA 34 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} OBTIDAS NA EQA E SNIF, EM BASE TEMPORAL DIÁRIA (17, 18 E 20 DE MAIO DE 2004, AVENIDA DA LIBERDADE). 70

FIGURA 35 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NO_2 OBTIDAS NA EQA E SNIF, EM BASE TEMPORAL HORÁRIA (19 A 21 DE MAIO DE 2004, AVENIDA DA LIBERDADE). 70

FIGURA 36 – EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CO OBTIDAS NA EQA E SNIF, EM BASE TEMPORAL OCTO-HORÁRIA (16 A 21 DE OUTUBRO DE 2004, AVENIDA DA LIBERDADE). 70

FIGURA 37 – VALORES MÉDIOS PARA O PERÍODO DE 16 A 19 DE MAIO, RELATIVOS AOS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DAS CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} E CO OBTIDAS NA EQA (NO DIAGRAMA, REPRESENTADO A COR AZUL) E SNIF (VERMELHO); INDICAÇÃO DO TRÁFEGO MÉDIO HORÁRIO, EM NÚMERO DE VEÍCULOS. 71

FIGURA 38 – VALORES MÉDIOS PARA O PERÍODO DE 19 A 21 DE MAIO, RELATIVOS AOS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DAS CONCENTRAÇÕES DE PM_{10}, CO, NO_2 E NO, OBTIDAS NA EQA E SNIF; INDICAÇÃO DO TRÁFEGO MÉDIO HORÁRIO, EM NÚMERO DE VEÍCULOS. 72

FIGURA 39 – VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DE NO_2 OBTIDOS A 20-5-2004 NA EQA (NO DIAGRAMA REPRESENTADA A AZUL) E SNIF (VERMELHO), NA AVENIDA DA LIBERDADE, COM INDICAÇÃO DA DIRECÇÃO MÉDIA DO VENTO NUMA BASE HORÁRIA E OS QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO (PERCENTAGEM DO MAIOR VALOR HORÁRIO, PARA ESTE DIA). 74

FIGURA 40 – VALORES MÉDIOS DE NO_2 OBTIDOS ENTRE 19 E 21 DE MAIO DE 2004, NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE E SNIF, EM FUNÇÃO DA DIRECÇÃO DO VENTO. INDICAÇÃO DA PREDOMINÂNCIA DE CADA DIRECÇÃO DO VENTO, E SUA INTENSIDADE (M/S), E A RELAÇÃO MÉDIA DOS QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO VERIFICADOS PARA CADA DIRECÇÃO DE VENTO, EXPRESSAS EM PERCENTAGEM. 75

FIGURA 41 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA OCTO-HORÁRIA DE CO OBTIDOS EM 18 DE MAIO (CIMA) E 20 DE MAIO DE 2004 (BAIXO), NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE E SNIF, E EVOLUÇÃO DOS QUANTITATIVOS MÉDIOS HORÁRIOS DE TRÁFEGO (10^{-2} %). AS FIGURAS INDICAM A DIRECÇÃO DO VENTO PREDOMINANTE NUMA BASE HORÁRIA E A LOCALIZAÇÃO DA EQA (AZUL) E SNIF (VERMELHO). 78

FIGURA 42 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA OCTO-HORÁRIA DE CO OBTIDOS ENTRE 16 E 21 DE MAIO DE 2004, NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE E DOS OLIVAIS (ESTAÇÃO URBANA DE FUNDO). 79

FIGURA 43 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA OCTO-HORÁRIA DE CO OBTIDOS ENTRE AS 18 HORAS DO DIA 16 DE MAIO DE 2004 E AS 6 HORAS DE 17 DE MAIO, OBTIDOS NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, SNIF E NAS EQA DOS OLIVAIS E LOURES (ESTAÇÕES URBANAS DE FUNDO). 79

FIGURA 44 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA HORÁRIA DE PM_{10} OBTIDOS ENTRE 16 E 21 DE MAIO DE 2004 NAS EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE E DOS OLIVAIS (ESTAÇÃO URBANA DE FUNDO)..... 81

FIGURA 45 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO ICOD, COM O ÍNDICE DE AEROSSÓIS PARA OS DIAS 17-5-2004 (EM CIMA) E 20-5-2004 (EM BAIXO). 82

FIGURA 46 – VALORES MÉDIOS DE PM_{10} OBTIDOS NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE E SNIF, ENTRE 16 E 19 DE MAIO DE 2004 (EM CIMA), E ENTRE 19 E 21 DE MAIO (EM BAIXO), EM FUNÇÃO DA DIRECÇÃO DO VENTO; INDICAÇÃO (EM %) DA PREDOMINÂNCIA DE CADA DIRECÇÃO DO VENTO, E DA RELAÇÃO MÉDIA DOS QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO OBSERVADA PARA CADA DIRECÇÃO E INTENSIDADE DO VENTO (EIXO SECUNDÁRIO). 83

FIGURA 47 – ESTRUTURA BÁSICA DO PROGRAMA (ADAPTADO DE FLUENT INC., 2003). 86

FIGURA 48 – DOMÍNIO DE SIMULAÇÃO DA AVENIDA DA LIBERDADE (ADAPTADO DE AMORIM, 2003). 89

FIGURA 49 – MAPA DA REDE VIÁRIA DA ZONA DA AVENIDA DA LIBERDADE, ONDE INCIDE O DOMÍNIO DE SIMULAÇÃO. 90

FIGURA 50 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DE INTENSIDADE DE VENTO (M/S), DE QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO (MM) E DE DIRECÇÃO DO VENTO, ENTRE 19 E 20 DE MAIO DE 2004, PARÂMETROS MEDIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO AEROPORTO DE LISBOA..... 90

FIGURA 51 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA HORÁRIA DE PM_{10} OBTIDOS ENTRE AS 17H DO DIA 19 E AS 24H DO DIA 20 DE MAIO DE 2004 NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE.92

FIGURA 52 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA HORÁRIA DE PM_{10} OBTIDOS ENTRE AS 17H DO DIA 19 E AS 24H DO DIA 20 DE MAIO DE 2004, NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, SNIF E FLUENT (CORRESPONDENTE AO LOCAL ONDE SE SITUA A EQA). 93

FIGURA 53 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA HORÁRIA DE PM_{10}, PARA O MESMO PERÍODO DA FIGURA 52, NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, SNIF E FLUENT (VALORES ENCONTRADOS APÓS AFECTAÇÃO DAQUELES MEDIDOS NA EQA URBANA DE FUNDO DOS OLIVAIS)..... 93

FIGURA 54 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS VALORES DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA HORÁRIA DE CO OBTIDOS ENTRE AS 17H DO DIA 19 E AS 24H DO DIA 20 DE MAIO DE 2004, NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, SNIF E FLUENT (CORRESPONDENTE AO LOCAL ONDE SE SITUA A EQA). 94

FIGURA A1 – ÍNDICE DE AEROSSÓIS, ESTIMADO PELO MODELO ICOD, ENTRE OS DIAS 30-1-2004 E 4-2-2004 104

FIGURA A2 – ÍNDICE DE AEROSSÓIS, ESTIMADO PELO MODELO ICOD, ENTRE OS DIAS 16-5-2004 E 21-5-2004 105

FIGURA A3 – ÍNDICE DE AEROSSÓIS, ESTIMADO PELO MODELO ICOD, ENTRE OS DIAS 15-10-2004 E 20-10-2004 106

FIGURA A4 – ÍNDICE DE AEROSSÓIS, ESTIMADO PELO MODELO ICOD, ENTRE OS DIAS 21-10-2004 E 26-10-2004 107

FIGURA A5 – ÍNDICE DE AEROSSÓIS, ESTIMADO PELO MODELO ICOD, ENTRE OS DIAS 27-10-2004 E 28-10-2004 108

FIGURA B1 – CONTAGENS DE TRÁFEGO EFECTUADAS NA AVENIDA DA LIBERDADE NO DIA 23-9-2004..... 109

FIGURA B2 – PREVALÊNCIA DE VEÍCULOS LIGEIROS, PESADOS E MOTOCICLOS, EM CIRCULAÇÃO NA AVENIDA DA LIBERDADE NO DIA 23-9-2004 110

FIGURA B3 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 17 ÀS 18 HORAS, DO DIA 19-5-2004 111

FIGURA B4 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 18 ÀS 19 HORAS, DO DIA 19-5-2004 111

FIGURA B5 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 19 ÀS 20 HORAS, DO DIA 19-5-2004 112

FIGURA B6 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 20 ÀS 21 HORAS, DO DIA 19-5-2004 112

FIGURA B7 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (EM MG.M^{-3}), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 21 ÀS 22 HORAS, DO DIA 19-5-2004... 113

FIGURA B8 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 22 ÀS 23 HORAS, DO DIA 19-5-2004 113

FIGURA B9 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (EM MG.M^{-3}), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 23 ÀS 24 HORAS, DO DIA 19-5-2004... 114

FIGURA B10 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 0 ÀS 1 HORA, DO DIA 20-5-2004 114

FIGURA B11 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DA 1 ÀS 2 HORAS, DO DIA 20-5-2004 115

FIGURA B12 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 2 ÀS 3 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 115

FIGURA B13 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 3 ÀS 4 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 116

FIGURA B14 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 4 ÀS 5 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 116

FIGURA B15 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 5 ÀS 6 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 117

FIGURA B16 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 6 ÀS 7 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 117

FIGURA B17 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 7 ÀS 8 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 118

FIGURA B18 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 8 ÀS 9 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 118

FIGURA B19 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 9 ÀS 10 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 119

FIGURA B20 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 10 ÀS 11 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 119

FIGURA B21 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 11 ÀS 12 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 120

FIGURA B22 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 12 ÀS 13 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 120

FIGURA B23 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 13 ÀS 14 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 121

FIGURA B24 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 14 ÀS 15 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 121

FIGURA B25 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 15 ÀS 16 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 122

FIGURA B26 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 16 ÀS 17 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 122

FIGURA B27 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 17 ÀS 18 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 123

FIGURA B28 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 18 ÀS 19 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 123

FIGURA B29 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 19 ÀS 20 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 124

FIGURA B30 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 20 ÀS 21 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 124

FIGURA B31 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 21 ÀS 22 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 125

FIGURA B32 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 22 ÀS 23 HORAS, DO DIA 20-5-2004... 125

FIGURA B33 – CAMPO HORIZONTAL (A 3 M) DE CONCENTRAÇÕES DE PM_{10} (MG/M^3), SIMULADO PELO FLUENT PARA A AVENIDA DA LIBERDADE, NO PERÍODO DAS 23 ÀS 0 HORAS, DO DIA 20-5-2004..... 126

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CATEGORIAS DE VALORES DE RADIAÇÃO DE ENTRADA, SEGUNDO TURNER (1969). 7

TABELA 2 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DEFININDO OS TIPOS DE TURBULÊNCIA DE PASQUILL 7

TABELA 3 – VALORES NORMATIVOS PARA O CO. 14

TABELA 4 – VALORES NORMATIVOS PARA O NO_2. 15

TABELA 5 – VALORES NORMATIVOS PARA AS PM_{10}. 15

TABELA 6 – PONTOS DE AMOSTRAGEM COM LVS 24

TABELA 7 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10} (MG/M^3), OBTIDOS JUNTO DE VIAS DE TRÁFEGO EM LISBOA. 26

TABELA 8 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10} (MG/M3), OBTIDOS NA EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE E NO AMOSTRADOR DERENDA® LVS 3.1. 27

TABELA 9 – DESCRIÇÃO SUMÁRIA DOS EQUIPAMENTOS EXISTENTES NO SNIF. 41

TABELA 10 – VALORES DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (*R*), CORRESPONDENTES A VALORES (P) INFERIORES A 0,05, ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO OBTIDOS PARA O NO_2, NO, PM_{10}, CO E QUANTITATIVOS DE TRÁFEGO, RELATIVOS AO SNIF E ÀS EQA DE ENTRECAMPOS, ENTRE 15 E 21 DE OUTUBRO DE 2004 (VALOR DE CIMA, EM CADA CÉLULA), E ENTRE 22 E 28 DE OUTUBRO (VALOR DE BAIXO). 50

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE NO_2, E RESPECTIVOS DESVIOS-PADRÃO, REFERENTES ÀS MEDIÇÕES NO SNIF E DAS EQA DE ENTRECAMPOS, LOURES E OLIVAIS, ENTRE 15 E 28 DE OUTUBRO DE 2004. O N CORRESPONDE AO NÚMERO DE VALORES MÉDIOS VÁLIDOS. 57

TABELA 12 – VALORES DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), PARA VALORES DE "P" <0,05, ENTRE OS (N) VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE NO_2 RELATIVOS AO SNIF E ÀS EQA DE ENTRECAMPOS, LOURES E OLIVAIS, ENTRE 15 E 28 DE OUTUBRO DE 2004. 57

TABELA 13 – COMPARAÇÃO COM A LEGISLAÇÃO, DOS VALORES MÉDIOS DIÁRIOS RELATIVOS ÀS MEDIÇÕES DE PM_{10} EFECTUADAS NA EQA DE ENTRECAMPOS E NO SNIF, PARA CADA SEMANA DE CAMPANHA. 59

TABELA 14 –VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10}, E RESPECTIVOS DESVIOS-PADRÃO, REFERENTES ÀS MEDIÇÕES NO SNIF E DAS EQA DE ENTRECAMPOS, LOURES E OLIVAIS, ENTRE 15 E 28 DE OUTUBRO DE 2004. O N CORRESPONDE AO NÚMERO DE VALORES MÉDIOS VÁLIDOS. 63

TABELA 15 – VALORES DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), PARA VALORES DE "P" < 0,05, ENTRE OS (N) VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10} RELATIVOS AO SNIF E ÀS EQA DE ENTRECAMPOS, LOURES E OLIVAIS, ENTRE 15 E 28 DE OUTUBRO DE 2004. 63

TABELA 16 – PERÍODOS DE MEDIÇÃO DE PM_{10}, CO, NO_2, NO, SEGUNDO O LOCAL DE AMOSTRAGEM DO SNIF. 69

TABELA 17 – VALORES DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (*R*), (*P* < 0,05), ENTRE OS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO OBTIDOS PARA O NO_2, NO, PM_{10}, CO E QUANTIDADE DE VEÍCULOS, RELATIVOS AO SNIF E ÀS EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, ENTRE 16 E 19 DE MAIO DE 2004 (VALOR DE CIMA, EM CADA CÉLULA), E ENTRE 19 E 21 DE MAIO (VALOR DE BAIXO). 72

TABELA 18 – VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10} ENTRE 16 E 19 DE MAIO DE 2004 (VALOR DE CIMA) E ENTRE 19 E 21 DE MAIO (VALOR DE BAIXO), RELATIVOS AO SNIF E ÀS EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, LOURES E OLIVAIS, RESPECTIVOS DESVIOS-PADRÃO E NÚMERO DE VALORES MÉDIOS VÁLIDOS (N)..... 80

TABELA 19 – VALORES DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), PARA VALORES "P"<0,05, ENTRE OS (N) VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10} RELATIVOS AO SNIF E ÀS EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, LOURES E OLIVAIS, ENTRE 16 E 19 DE MAIO DE 2004 (VALOR DE CIMA) E ENTRE 19 E 21 DE MAIO (VALOR DE BAIXO). 81

TABELA 20 – VALORES DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), PARA VALORES "P"<0,05, ENTRE OS (N) VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE PM_{10} E CO ESTIMADOS PELO FLUENT E OS OBTIDOS NO SNIF E EQA DA AVENIDA DA LIBERDADE, 19-5-2004 (17H) E 20-5-2004 (24H). 95

LISTA DE ACRÓNIMOS

Designação	Significado
ACAP	Associação do Comércio Automóvel de Portugal
AML	Área Metropolitana de Lisboa
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CFD	Computação da Dinâmica de Fluidos (acr. inglês)
CLC	Camada Limite Convectiva
CML	Câmara Municipal de Lisboa
EQA	Estação de Qualidade do Ar
ICoD	*Insular Coastal Dynamics*
IM	Instituto de Meteorologia
LIA	Limite Inferior de Avaliação
LSA	Limite Superior de Avaliação
LVS	Amostrador de Baixo Volume (acr. inglês)
MT	Margem de Tolerância
OBD	Sistemas de Diagnóstico a Bordo (acr. inglês)
TREM	Modelo de Emissões de Transportes para fontes em linha (acr. inglês)
VL	Valor Limite