

# AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA JUNTO À VIA DE CINTURA INTERNA

## **Nelson Barros**

Professor Associado

CEMAS, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UFP

nelson@ufp.pt

## **Ricardo Marques**

Bolseiro de Investigação

CEMAS, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UFP

## **Tânia Fontes**

Bolseira de pós-graduação

CEMAS, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UFP

## **RESUMO**

Com vista à modelação da qualidade do ar, junto à Via de Cintura Interna (VCI), no âmbito do Projecto ImpactAir procedeu-se à análise dos dados registados na estação meteorológica automática instalada no Nó do Amial, bem como à avaliação das condições de estabilidade atmosférica para o período compreendido entre Abril de 2004 e Abril de 2006.

Verifica-se que, em geral, de Verão predominam ventos de Noroeste e situações de instabilidade atmosférica e que, de Inverno, predominam ventos do quadrante Este e situações de estabilidade atmosférica neutra ou estável.

## **ABSTRACT**

Regarding the air quality modelling, near VCI (Oporto) highway, in the scope of ImpactAir project the meteorological data recorded by the Automatic Meteorological Station installed in Amial's highway intersection have been analyzed and the evaluation of the atmospheric stability has been done for the period between April 2004 and April 2006.

It was verified that in the summer, Northwest's direction winds and atmospheric instability situations predominate and, in the winter, the wind direction is predominantly from East quadrant, with neutral and stable stability conditions.

## 1. INTRODUÇÃO

O projecto *ImpactAir* "Impacte na qualidade do ar e na saúde das grandes linhas de tráfego urbano; O caso da VCI" (Ref<sup>o</sup> POC-TI/ESP/47806/2002), é pioneiro no estudo da qualidade do ar junto à Via de Cintura Interna (VCI) e impacte na saúde das populações residentes no local. O projecto está a ser desenvolvido numa parceria entre a Universidade Fernando Pessoa (CEMAS – Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais), o Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge e a Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, com o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Situada na cidade do Porto, a VCI é uma das vias com maior volume de tráfego da cidade servindo, quer o trânsito local, quer o trânsito de longo curso, através das interligações às autoestradas A1 (Porto-Lisboa), A3 (Porto-Braga) e A4 (Porto-Vila Real).

A avaliação da qualidade do ar junto à VCI está a ser efectuada pelo CEMAS, com recurso à modelação apoiada por campanhas de monitorização local. Estas campanhas têm a dupla função de identificar as áreas mais afectadas e apoiar a validação do modelo numérico (Barros *et al.*, 2004a, 2004b).

A modelação numérica tem como dados de entrada, não só a informação meteorológica ou dela derivada, como a direcção e velocidade do vento, temperatura e estabilidade atmosférica (classes de estabilidade de Pasquill-Gilford), como também informação relativa às emissões atmosféricas locais, essencialmente rodoviárias. Este último aspecto foi alvo de trabalho aprofundado, tendo para tal sido desenvolvido um modelo de emissões – LTE

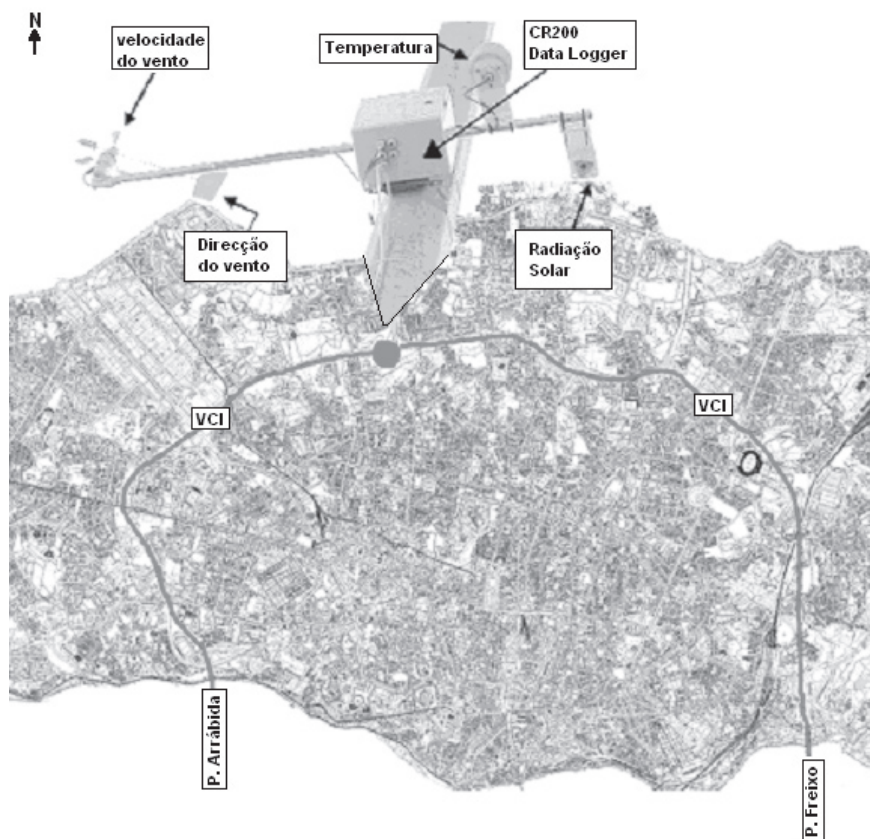
(Line Traffic Emissions) que, por sua vez, usou dados de contagem de tráfego reais efectuados na VCI com apoio do sistema de vídeo vigilância (Barros *et al.*, 2004c, 2004d).

Este artigo tem por objectivo dar mais um contributo ao projecto "ImpactAir", no que respeita à análise dos dados meteorológicos da estação automática, instalada na VCI em Abril de 2004. O artigo está dividido, por um lado, na análise dos registos da referida estação meteorológica e, por outro, no cálculo das classes de estabilidade de Pasquill-Gilford necessárias à aplicação do modelo numérico de qualidade do ar.

## 2. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

A Estação Meteorológica Automática (EMA) foi instalada na VCI, junto ao Nó do Amial, 41° 10' 23,9" N e 8° 37' 21,57"W, a 10 metros de altura. Na escolha da localização e montagem da estação foram tidos em conta critérios da World Meteorological Organization (WMO, 1996), assim como aspectos associados à necessidade de representatividade para o domínio do projecto.

A estação meteorológica é composta por um sistema de aquisição de dados modulares que compreendem um conjunto de componentes interligados, apresentando-se equipada com 4 sensores e um Data Logger Campbell Scientific, CR200 para cálculo e armazenamento de informação, com capacidade para 32.000 registos (Figura 1). Os parâmetros medidos são: temperatura (°C), radiação solar ( $W.m^{-2}$ ), velocidade ( $m.s^{-1}$ ), e direcção do vento (graus).



**Figura 1:** Estação meteorológica automática, instalada na VCI.

A temperatura é medida por um sensor da Campbell Scientific 109, com a capacidade de medição entre os  $-50^{\circ}\text{C}$  e  $+70^{\circ}\text{C}$  apresentando um erro típico de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  de  $0$  a  $70^{\circ}\text{C}$  e de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para  $-50^{\circ}\text{C}$  (Campbell Scientific, inc, 2003).

A radiação é medida através de um pirnómetro LI-200SA desenhado para registar a radiação global, com um desvio máximo de 1% para  $3.000\text{ W.m}^{-2}$ , tendo a calibração sido efectuada com um Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) sob condições de luz diurna natural aceitando-se um erro típico abaixo dos 5% (<http://www.licor.com>).

A velocidade e direcção do vento são medidas por um anemómetro MetOne034 em alumínio, com capacidade de medida até  $44,7\text{ m.s}^{-1}$ , com um nível de exactidão de  $\pm 1,5\%$  e uma velocidade de arranque de  $0,447\text{ m.s}^{-1}$ .

Os sensores fazem a aquisição de dados em contínuo, sendo o cálculo da média de 10 em 10 minutos e a determinação e registo dos valores máximos e mínimos diários da temperatura, velocidade do vento e radiação, bem como o respectivo instante da ocorrência, feita pelo Data Logger. Para além destes parâmetros, é ainda calculado e registado pelo Data Log-

ger o desvio padrão da direcção do vento, cuja metodologia adoptada pelo fabricante tem por base a Equação 1 (Campbel Scientific, inc., 2001):

$$\sigma(\Theta) = \left[ \frac{N_1 \cdot (\sigma_{\Theta_1})^2 + N_2 \cdot (\sigma_{\Theta_2})^2 + \dots + N_m \cdot (\sigma_{\Theta_m})^2}{N} \right]^{1/2} \quad (\text{Equação 1})$$

onde,

$\sigma(\Theta)$  desvio padrão da direcção do vento;

$\sigma_{\Theta_1}$  sub-intervalos do desvio padrão da direcção do vento;

N Número de amostras realizadas para cada sub-intervalo.

Esta informação é fundamental para a determinação das classes de estabilidade de Pasquill-Gilford.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia adoptada para o tratamento e análise dos dados recolhidos na estação meteorológica passa pela validação dos dados registados, cálculo de parâmetros estatísticos descritos anteriormente e outras variáveis necessárias ao projecto.

A validação dos dados meteorológicos segue uma metodologia desenvolvida pela Environmental Protection Agency (EPA), capaz de identificar dados suspeitos para posterior revisão e acção correctiva, caso necessário (EPA, 2000). Na Tabela I, são apresentados os critérios seguidos no processo de validação segundo esta metodologia.

Todos os valores, ou séries de valores, registados na EMA-Amial e identificados por esta metodologia, foram criteriosamente analisados e, se justificado, retirados da série original.

Com as séries de dados validadas, efectuou-se o cálculo das médias, máximos e mínimos, quer para todos os registos disponíveis, quer para períodos sazonais e mensais. No que respeita à sazonalidade, foram considerados dois períodos definidos como, "Verão" e "Inverno", associando-se para tal o semestre de Abril a Setembro ao primeiro e o semestre de Outubro a Março ao segundo.

Variável	Critério de selecção: assinala o dado se o valor:
Velocidade do vento	- é menor do que 0 ou maior que 25 m/s;
	- não varie mais do que 0,1 m/s para 3 horas consecutivas; - não varie mais do que 0,5 m/s para 12 horas consecutivas.
Direcção do vento	- é menor do que 0 ou maior que 360;
	- é menor do que 0 ou maior que 1 grau para mais do que 3 horas consecutivas; - não varie mais do que 10 graus para 18 horas consecutivas.
Temperatura	- é maior do que o máximo local;
	- é menor do que o mínimo local;
	- variar mais do que 5°C relativamente à hora anterior; - não varie mais do que 0,5 °C para 12 horas consecutivas.
Radiação	- é maior do que zero à noite;
	- é maior do que o máximo possível para a data e latitude.

**Tabela I:** Critérios de selecção de dados para posterior revisão (EPA, 2000).

O cálculo das médias segue o procedimento estatístico corrente, à excepção da média da direcção do vento, a qual apresenta algumas particularidades. A direcção do vento é uma função circular com valores entre 0 e 360 graus. A descontinuidade da direcção do vento no início/fim da escala requer um processamento específico para o cálculo de um valor médio válido. A média horária para a direcção do vento foi então calculada segundo um método descrito pela EPA (2000), tendo-se obtido desta forma o parâmetro desejado, partindo de dados de 10 minutos.

A estabilidade atmosférica (Pasquill-Gilford), utilizada na modelação da qualidade do ar, é estimada segundo o método  $\sigma_A$ , descrito pela EPA, o qual se baseia na combinação do desvio padrão da direcção do vento com a média escalar da velocidade do vento (EPA, 2000).

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos parâmetros meteorológicos revela-se importante uma vez que permite obter um conjunto de dados validados e caracterizar, em termos meteorológicos e de estabilidade atmosférica, o domínio de estudo. Este ponto aborda os resultados da validação dos dados registados na estação meteorológica e realiza uma análise individualizada dos parâmetros directamente medidos, assim como da estabilidade atmosférica calculada.

### 4.1. VALIDAÇÃO DOS DADOS

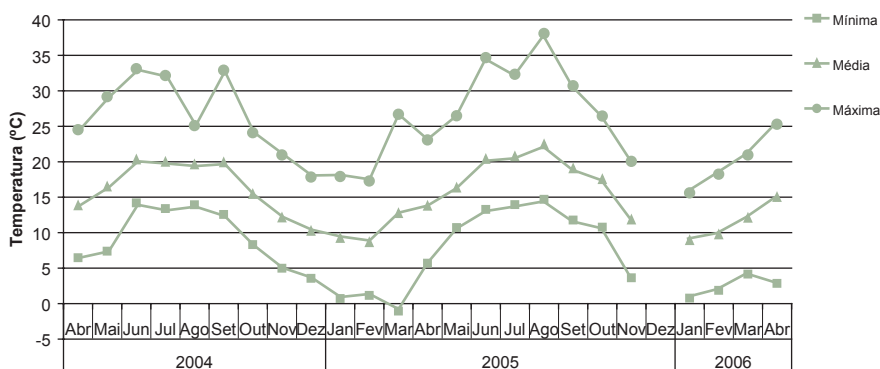
A validação dos dados meteorológicos é uma operação de extrema importância uma vez que é a partir desta fase que se pode ter confiança nos valores dos parâ-

metros recolhidos. O resultado do estudo efectuado de acordo com a metodologia anteriormente apresentada (ver §3), aos dados recolhidos entre Abril de 2004 a Abril de 2006 revela percentagens de dados válidos, para qualquer dos parâmetros medidos, igual ou superior aos 90%, tendo sido para a temperatura de 94%, para a radiação de 95%, para a velocidade do vento de 90% e para a direcção do vento de 92%. De salientar que da percentagem de dados assinalados para revisão, 5% dizem respeito a períodos em que a estação esteve parada, eventualmente por interrupção do fornecimento de energia eléctrica, o que indicia que a percentagem de tempo em que os sensores estiveram não-conformes foi de: 1% para a temperatura, inferior a 1% para a radiação solar, 5% para a velocidade do vento e 3% para a direcção do vento. É de salientar que a maior lacuna de informação se registou em 2005, traduzida na ausência quase completa de informação durante o mês de Dezembro desse ano.

### 4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS REGISTADOS

A fase seguinte destina-se à análise dos parâmetros de temperatura, radiação solar, velocidade, direcção e desvio padrão da direcção do vento.

Observando a Figura 2, verifica-se, como seria de esperar, a existência de temperaturas mais altas para os meses de Verão relativamente aos meses de Inverno. Os valores extremos para o período considerado foram de  $-1,1^\circ\text{C}$  (Março de 2005) e  $38,1^\circ\text{C}$  (Agosto de 2005), representando uma amplitude térmica de  $39,2^\circ\text{C}$ . Em média a temperatura foi de  $15,3^\circ\text{C}$ , para todo o período em estudo, sendo de

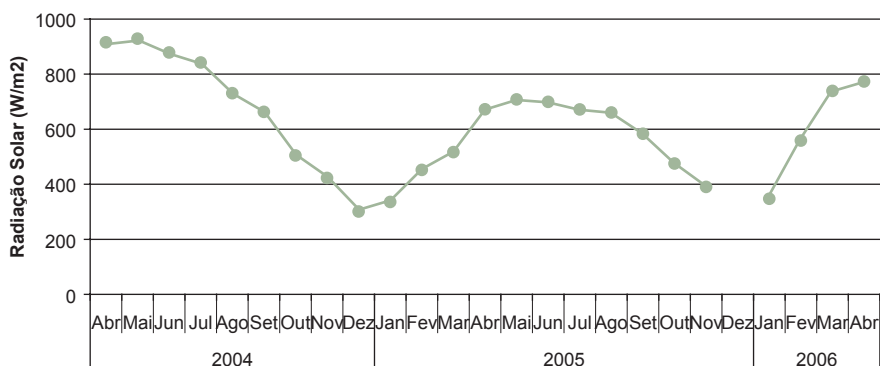


**Figura 2:** Variação da temperatura (mínima, média e máxima) para o período de estudo.

18,3° C no Verão de 2004 e 18,7° C no Verão de 2005. No Inverno de 2004/05 a temperatura média foi de 11,4° C e no Inverno de 2005/06 foi de 12,2° C.

Relativamente à radiação, como se pode observar na Figura 3, esta apresenta-se mais intensa entre Abril e Junho, decaindo para valores mínimos nos meses de Dezembro e Janeiro. Observa-se ainda que para o ano de 2004, o período entre Abril e Agosto apresenta em média valores superiores ao mesmo período em 2005. Quanto ao comportamento no período sazonal de Inverno não se registam comportamentos atípicos relevantes.

Entre as 11:00 e as 13:00h são registados os valores máximos de radiação solar, sendo o máximo efectivo registado de 929 W.m<sup>-2</sup>. Em média, durante o período em análise, a radiação foi de 451 W.m<sup>-2</sup>, sendo de 219,6 W.m<sup>-2</sup> no Verão de 2004 e 172,7 W.m<sup>-2</sup> no Verão de 2005. No Inverno de 2004/05 a radiação média foi de 76,7 W.m<sup>-2</sup> e no Inverno de 2005/06 foi de 76,3 W.m<sup>-2</sup>. No entanto, chama-se a atenção para o aparente desvio sistemático registado entre os meses de Abril a Setembro de 2004 e nos mesmos meses em 2005. Na verdade, verifica-se um decréscimo significativo de radiação, sem que para tal exista uma explicação plausível, o que poderá



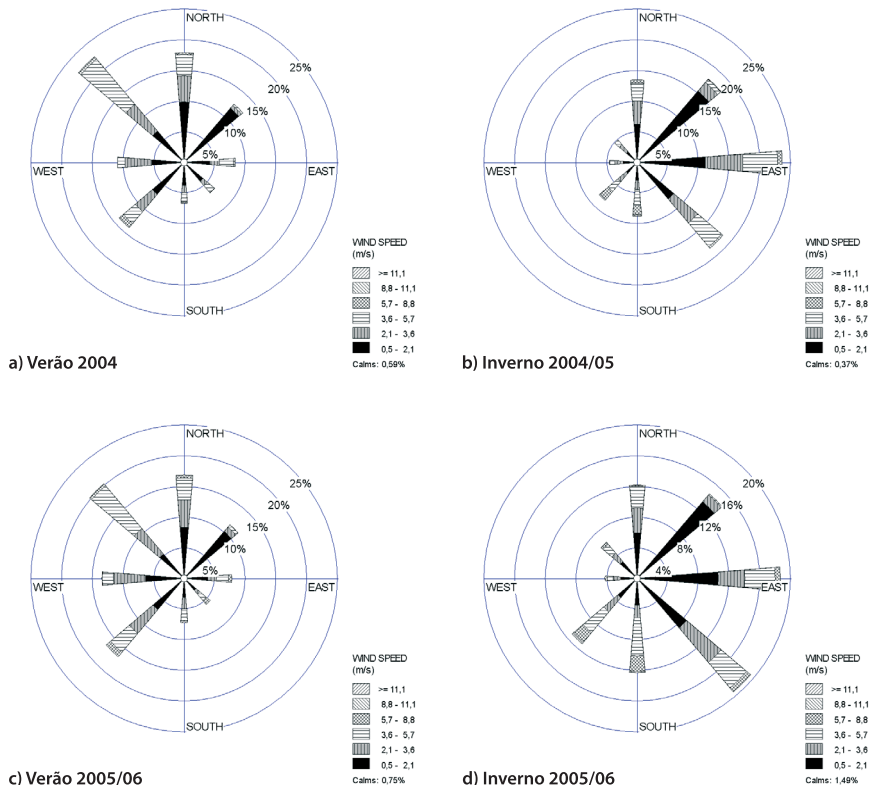
**Figura 3:** Variação dos máximos diários da radiação solar para o período de estudo.

indiciar a necessidade de intervenção para limpeza e calibração do sensor.

Relativamente à intensidade do vento, a média geral para os dois anos em estudo foi de  $2,72 \text{ m.s}^{-1}$ , sendo de  $2,57 \text{ m.s}^{-1}$  no Verão de 2004 e  $2,74 \text{ m.s}^{-1}$  no Verão de 2005. No Inverno de 2004/05 a velocidade média do vento foi de  $2,80 \text{ m.s}^{-1}$  e no Inverno de 2005/06 foi de  $2,83 \text{ m.s}^{-1}$ . A classe de velocidade mais alta, de 5,7 a  $8,8 \text{ m/s}$ , é atingida preferencialmente no semestre relativo ao Inverno com ventos que sopram de Sul e Sudoeste. O valor máximo registado verificou-se em Outubro de 2004, com  $11,61 \text{ m.s}^{-1}$ .

A análise dos dados mostra que durante o período de Verão, quer de 2004, quer de 2005, a direcção do vento predominante é de noroeste (NW), embora haja um contributo significativo de ventos de Norte e Sudoeste. Durante o Inverno a predominância é de Este (E), para o Inverno de 2004/05, e predominantemente de Sudeste (SE), para o Inverno de 2005/06 (Figura 4).

Em média o desvio padrão da direcção do vento para todo o período em análise é de  $21^\circ$  ( $22,4^\circ$  em 2004,  $20,8^\circ$  em 2005 e  $19,0^\circ$  em 2006).



**Figura 4:** Velocidade e direcção do vento sazonal entre Abril de 2004 e Março de 2006.

### 4.3. CLASSES DE ESTABILIDADE DE PASQUILL-GILFORD

A estabilidade da atmosfera é a tendência que o ar atmosférico apresenta para diminuir ou aumentar o movimento vertical, ou alternativamente suprimir ou ampliar a turbulência existente. A estabilidade está relacionada não só com o perfil do vento como também com a distribuição de temperaturas em altura, mas geralmente é apenas esta última que é usada como indicador da estabilidade (Boube *et al.*, 1994). Quanto maior for a instabilidade atmosférica maior é a capacidade da atmosfera para a promoção da dispersão de poluentes.

As classes de estabilidade de Pasquill-Gilford surgem para simplificar a determinação da estabilidade atmosférica, tendo por base a velocidade do vento, insolação e cobertura nebulosa, facilmente registradas em observações de rotina (Boube *et al.*, 1994). No entanto, existem outras metodologias, como aquela que foi uti-

lizada neste trabalho baseada no desvio padrão da direção do vento e da média escalar da velocidade do vento (ver §3).

A divisão de Pasquill-Gilford é feita em seis classes começando em A, cuja classe é definida como instável, até F, classe estável, passando pelo D, classe neutra (Pasquill, 1976).

Como pode ser observado na Figura 5, o comportamento da estabilidade ao longo do ano mostra o mês de Dezembro de 2004 como o que apresenta maior frequência de ocorrência de condições de estabilidade e Junho, tanto para o ano de 2004 como para o de 2005, o mês de maior frequência de ocorrência de condições instáveis.

A comparação entre os períodos assinalados na Figura 6 (2004/05 e 2005/06) mostra que para a classe de estabilidade A (instável) não existe uma variação significativa. No que respeita às classes B, C, D e E, registam-se ligeiras subidas, para o Verão

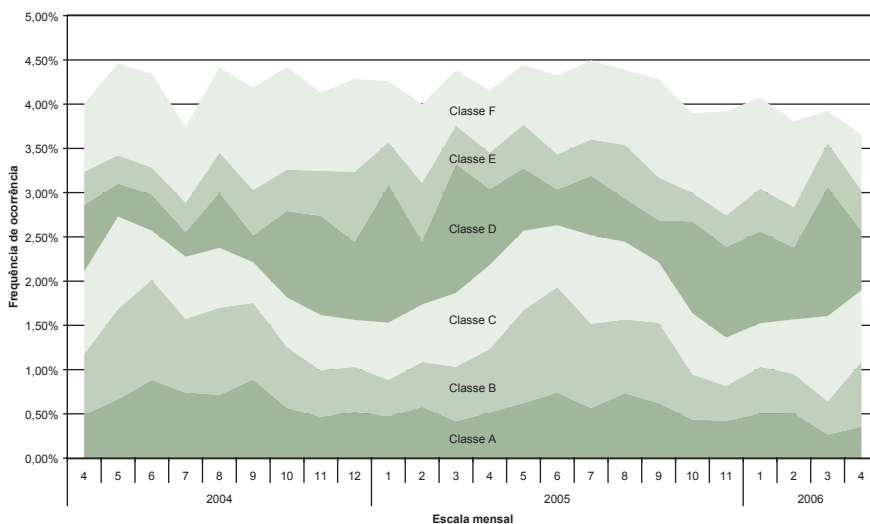


Figura 5: Frequência de ocorrência mensal por classe de estabilidade de Pasquill-Gilford.



**Figura 6:** Frequência de ocorrência (horas) sazonal por classe de estabilidade Pasquill-Gilford.

de 2005, da frequência de ocorrência de cada classe, ao passo que para a classe F (estável) se verifica um aumento da frequência de ocorrência destas condições para o Inverno de 2005/06. As condições de estabilidade neutra surgem preferencialmente na estação fria sofrendo uma diminuição no Inverno de 2004/05 relativamente ao de 2005/06.

## 5. CONCLUSÃO

No âmbito do projecto ImpactAir, foi instalada em Abril de 2004, junto ao nó do Amial da VCI, uma Estação Meteorológica Automática – EMA – Amial.

A validação dos dados registados pela EMA-Amial, demonstrou uma baixa incidência de situações de não-conformidade de acordo com os critérios da WMO, tipicamente inferior a 5%. No entanto, é de salientar a ausência de informação durante o mês de Dezembro de 2005, eventualmente por falta de energia eléctrica e um decréscimo sistemático nos valores de radiação de 2004 para 2005 e 2006, o que indicia uma necessidade de intervenção urgente para limpeza do piranómetro.

No que respeita à temperatura conclui-se que tem um comportamento dentro do esperado, mais frio para os períodos de Inverno e mais quente para os períodos de Verão. Também a estabilidade atmosférica segue um padrão esperado, com maior frequência de condições de estabilidade durante o Inverno e de instabilidade durante o Verão. Quanto à radiação solar, o padrão registado está próximo do esperado, embora tipicamente os meses de maior radiação solar, para a latitude à qual está situada a cidade do Porto, sejam os de Junho e Julho.

Nos parâmetros da velocidade e direcção do vento verificou-se que no Inverno é quando se registam as velocidades maiores, sendo a média de 2,72 m/s e o máximo de 11,61 m/s. Ao nível da direcção do vento conclui-se que de Verão, predominam essencialmente ventos do quadrante Norte com bastante frequência de Noroeste e predominantemente situações de instabilidade atmosférica. De Inverno o rumo de vento é predominantemente do quadrante Este e predominam situações de estabilidade atmosférica neutra ou estável.

Assim, serão de esperar condições de transporte e dispersão atmosférica mais limitadas de Inverno do que de Verão junto à Via de Cintura Interna o que poderá indicar maior probabilidade de problemas com a qualidade do ar no Inverno do que no Verão nesta zona da cidade.

## 6. AGRADECIMENTOS

À FCT, do Ministério da Ciência e Ensino Superior, e ao Fundo Social Europeu, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio o financiamento do projecto ImpactAir (Refª POCTI/ESP/47806/2002), no qual se integra o trabalho apresentado, bem como a bolsa de doutoramento de Tânia Fontes (Refª SFRH/BD/19027/2004).

Especial agradecimento à Câmara Municipal do Porto, em particular ao Gabinete de Ambiente, pelo apoio logístico na montagem da EMA-Amial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, N., Brás, C. e Fontes, T. (2004a). IMPACTAIR: Impacte na Qualidade do Ar e na Saúde, das Grandes Linhas de Tráfego Urbano. O Caso da VCI. *In: Actas da 8ª Conferência Nacional de Ambiente*, UNL, Lisboa, 27-29/10/2004, pp. 68-70.

Barros, N., Brás, C. e Fontes, T. (2004b). Impacte na Qualidade do Ar e na Saúde Pública das Grandes Linhas de Tráfego: O caso da VCI – Projecto ImpactAir. *In: Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa*, Nº 1, 139-142.

Barros, N., Fontes, T., Brás, C. e Cunha, L. M. (2004c). As Grandes Linhas de Tráfego Urbanas: O Caso da VCI na Cidade do Porto. *In: Actas da 8ª Conferência Nacional de Ambiente*, UNL, Lisboa, 27-29/10/2004, pp. 404-405.

Barros, N., Brás, C. e Fontes, T. (2004d). Comparação das Emissões do Tráfego Rodoviário por Análise dos Factores de Emissão. *In: Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa*, Nº1, pp. 29-39.

Bouble, R., Fox, D., Turner, D. e Stern, A. (1994). *Fundamentals of Air Pollution*, 3<sup>rd</sup> edition. San Diego, Academic Press- Elsevier, pp 250-257.

Campbell Scientific, inc (2001). *CR10X Reference Manual*. Utah, Campbell Scientific.

Campbell Scientific, inc (2003). *Instructions Manual Model 109 Temperature Probe*. Utah, Campbell Scientific.

EPA (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modelling Applications. [Em linha]. Disponível em <http://www.epa.gov/scram001/guidance/met/mmgrma.pdf> [Consultado em 23/06/2006]

LI-COR Biosciences. [Em linha]. Disponível em <http://www.licor.com> [Consultado em 25/06/2006]

Pasquill, F. (1976). *Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling. Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values*. U.S. EPA-600/4-76-030b. North Carolina, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.

WMO (1996). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, 6th ed. World Meteorological Organization, Nº. 8.